

**PC.M 2000** (c) 1997-2000 AEDES Software per Ingegneria Civile s.a.s.

## **PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI IN MURATURA**

### **AVVERTENZE E CONDIZIONI D'USO**

La AEDES Software s.a.s. si riserva il diritto di apportare miglioramenti o modifiche al programma PC.M 2000, descritto nella documentazione ad esso associata, in qualsiasi momento e senza preavviso.

La documentazione annessa a PC.M 2000 potrebbe contenere informazioni tecniche inconsistenti od errori tipografici. Le correzioni relative saranno incluse nelle versioni di aggiornamento.

PC.M 2000 è di esclusiva proprietà della AEDES e viene concesso in uso non esclusivo secondo i termini e le condizioni riportati nel contratto di licenza d'uso. L'utente non avrà diritto ad utilizzare PC.M 2000 fino a quando non avrà sottoscritto la suddetta licenza d'uso.

L'utente è responsabile della scelta di PC.M 2000 al fine del raggiungimento dei risultati voluti, nonché dell'installazione, dell'uso dello stesso e dei relativi risultati.

Le sole garanzie fornite dalla AEDES in merito a PC.M 2000 sono quelle riportate nella licenza d'uso. La AEDES non garantisce che le funzioni contenute in PC.M 2000 soddisfino le esigenze dell'utente o funzionino in tutte le combinazioni che possono essere scelte per l'uso da parte dell'utente.

I nomi dei prodotti citati nella documentazione di PC.M 2000 possono essere marchi di fabbrica o marchi registrati dalle rispettive società.

*Questo software, come tutti i programmi della AEDES, si propone di costituire un supporto tecnico capace di unire la rigosità e completezza della trattazione teorica all'applicazione pratica progettuale, al fine di aiutare il progettista nella corretta analisi dell'intervento strutturale.*

*Osservazioni e suggerimenti saranno graditi e verranno esaminati ed accolti per proseguire con i miglioramenti e gli ampliamenti dell'opera nelle successive edizioni.*

## **Ringraziamenti**

Si ringraziano:

il Prof. Ing. Claudio Messina, per il prezioso sostegno alla redazione dell'opera e l'importante contributo ai test di utilizzo del software;

i seguenti colleghi, che hanno fornito documentazione tecnica e grafica per gli esempi di studio e progettazione:

Dott. Ing. Fabio Teodori, Gualdo Tadino (PG);

Geom. Mario Mischianti e Geom. Flavio Coccia, Gualdo Tadino (PG);

Dott. Ing. Giorgio Bellesi, Macerata;

Dott. Ing. Elisabetta Giugnoli, Colle di Val d'Elsa (SI);

Dott. Ing. Salvatore Castorina, Roma;

Dott. Ing. Pierfrancesco Zanchetta, Pesian di Prato (UD).

Si ringrazia inoltre:

MA.CE.VI. srl, Viciomaggio (AR).

**PC.M 2000** (c) 1997-2000 AEDES Software per Ingegneria Civile s.a.s.

## **PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI IN MMURATURA**

### **B. MANUALE D'USO DI PC.M 2000 8**

#### **B.1. INTRODUZIONE 8**

- B.1.1. GENERALITA' 8
- B.1.2. AMBIENTE DI LAVORO 10
- B.1.3. GESTIONE DELLE TABELLE DATI 11

#### **B.2. MENU COMUNI 13**

- B.2.1. Menu FINESTRA 13
- B.2.2. Menu GUIDA 13

#### **B.3. FINESTRA EDIFICIO 14**

- B.3.1. Dati EDIFICIO 14
- B.3.2. Menu FILE 15
  - B.3.2.1. PARAMETRI DI STAMPA 16
    - B.3.2.1.1. SCHEDA 'INTRODUZIONI' 17
    - B.3.2.1.2. SCHEDA 'DATI' 18
    - B.3.2.1.3. SCHEDA 'ANALISI STATICA' 19
    - B.3.2.1.4. SCHEDA 'ANALISI SISMICA' 20
- B.3.3. Menu ESEGUI 21
  - B.3.3.1. PARAMETRI DI CALCOLO 23
    - B.3.3.1.1. SCHEDA 'ANALISI STATICA' 24
    - B.3.3.1.2. SCHEDA 'ANALISI SISMICA' 26
    - B.3.3.1.3. SCHEDA 'PARAMETRI VARI (1)' 29
      - B.3.3.1.3.1. PRESSOFLESSIONE PER AZIONI ORTOGONALI, SCHEMATIZZAZIONE A PIASTRA 32
      - B.3.3.1.3.2. PRESSOFLESSIONE PER AZIONI COMPLANARI, LIMITAZIONE ALLE PARETI SNELLE 35
    - B.3.3.1.4. SCHEDA 'PARAMETRI VARI (2)' 37
      - B.3.3.1.4.1. TAGLIANTI SISMICI PER FONDAZIONI SU PIANI SFALSATI 38
    - B.3.3.1.5. SCHEDA 'MURATURA ARMATA' 40
    - B.3.3.1.6. SCHEDA 'AVANZATE' 41
  - B.3.3.2. RAPPORTO DI ELABORAZIONE 42
    - B.3.3.2.1. ANALISI DELLE CONDIZIONI DI REGOLARITA' 44
    - B.3.3.2.2. SOGLIE DI VULNERABILITÀ 45
    - B.3.3.2.3. RIEPILOGO VERIFICHE SISMICHE: COEFFICIENTI "C" 46
- B.3.4. Menu OPZIONI 46
  - B.3.4.1. BARRA DEGLI STRUMENTI 47

#### **B.4. FINESTRA PIANI 48**

- B.4.1. Dati PIANI 48
  - B.4.1.1. ALTEZZE DEI PIANI E DELLE PARETI, E QUOTA DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO DELLE FORZE SISMICHE 49

#### **B.5. FINESTRA PARETI 53**

- B.5.1. Dati PARETI 53
- B.5.2. SCHEMATIZZAZIONE DELLE PARETI 61
  - B.5.2.1. DEFINIZIONE DELLO SCHEMA RESISTENTE 62
  - B.5.2.2. ALLINEAMENTI 64
  - B.5.2.3. MASCHI MURARI 67
  - B.5.2.4. STRISCE 69
  - B.5.2.5. ELEMENTI DI SOTTOFINESTRA 70
  - B.5.2.6. PILASTRI IN ACCIAIO 71
  - B.5.2.7. PARETI IN CEMENTO ARMATO 72
  - B.5.2.8. PILASTRI IN CEMENTO ARMATO 72
  - B.5.2.9. TRAVI 72
  - B.5.2.10. PARETI IN MURATURA ARMATA 73
  - B.5.2.11. SETTI 73
  - B.5.2.12. PARETI A SEZIONE TRASVERSALE POLIGONALE 77

B.5.2.12.1. GESTIONE DEI VERTICI DELLE POLIGONALI: FINESTRA VERTICI	79
B.5.2.12.2. PARETI NON RETTANGOLARI E RETTANGOLI RAPPRESENTATIVI	80
B.5.2.13. IL CASO DEI PIANI SFALSATI	81
B.5.3. Menu ESEGUI	81
B.5.4. Menu MODIFICA	82
B.5.5. Menu SPOSTA	85
B.5.6. Menu COPIA	86
B.5.7. Menu UNIFICA	86
B.5.8. Menu OPZIONI	86
B.5.9. Menu EDIT	90
B.5.10. Menu DISEGNA	91
<b>B.6. FINESTRA FONDAZIONI</b>	<b>92</b>
B.6.1. Dati FONDAZIONI	92
B.6.2. Menu ESEGUI	95
B.6.3. Menu MODIFICA	95
B.6.4. Menu UNIFICA	97
B.6.5. Menu OPZIONI	97
B.6.6. Menu EDIT	98
B.6.7. Menu DISEGNA	99
<b>B.7. FINESTRA SOLAI</b>	<b>100</b>
B.7.1. Dati SOLAI	100
B.7.2. SCHEMATIZZAZIONE DEI SOLAI	102
B.7.3. Menu ESEGUI	104
B.7.4. Menu MODIFICA	104
B.7.5. Menu SPOSTA	105
B.7.6. Menu COPIA	105
B.7.7. Menu UNIFICA	105
B.7.8. Menu OPZIONI	105
B.7.9. Menu DISEGNA	107
<b>B.8. ALTRE FINESTRE</b>	<b>108</b>
B.8.1. TABELLE DI RIFERIMENTO	108
B.8.1.1. FINESTRA TABELLA MATERIALI	108
B.8.1.1.1. Dati TABELLA MATERIALI	108
B.8.1.1.2. MURATURE PARTICOLARI PER IL CALCOLO DELLA VULNERABILITA'	109
B.8.1.1.2. Menu MODIFICA	109
B.8.1.1.3. Menu OPZIONI	110
B.8.1.2. FINESTRA TABELLA SOLAI	110
B.8.1.2.1. Dati TABELLA SOLAI	110
B.8.1.2.2. Menu MODIFICA	111
B.8.1.2.3. Menu OPZIONI	111
B.8.2. FINESTRA RELAZIONE	111
B.8.2.1. Menu FILE	112
B.8.2.2. Menu OPZIONI: LEGENDA RELAZIONE	112
<b>B.9. ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>113</b>
B.9.1. CARICHI STATICI	113
B.9.1.1. CARICHI DAI PIANI SUPERIORI	113
B.9.1.2. CARICHI DEI SOLAI	115
B.9.1.2.1. SOLAI A LASTRA	115
B.9.1.2.2. SOLAI MONODIREZIONALI	116
B.9.1.2.3. SOLAI BIDIREZIONALI	117
B.9.1.2.4. SOLAI A VOLTA	117
B.9.1.3. CARICHI DIRETTAMENTE INSERITI	119
B.9.1.4. CARICHI SU TRAVI	119
B.9.1.5. VENTO	119
B.9.2. CARICHI SISMICI	121
B.9.2.1. CALCOLO DI MASSE E FORZE SISMICHE	121
<b>B.10. RISULTATI DELL'ELABORAZIONE</b>	<b>123</b>
B.10.1. RISULTATI ELABORAZIONE ANALISI STATICA	123
B.10.1.1. PARETI: CARICHI DA SOLAI E PESI PROPRI	123
B.10.1.2. PARETI: CARICHI DAL PIANO SOVRASTANTE	123

---



---

B.10.1.3. PIANI: CARICHI VERTICALI E ORIZZONTALI (Vento)	124
B.10.1.4. PARETI: CARICHI ORIZZONTALI (Vento, Spinte del terreno)	125
B.10.1.5. TENSIONI MEDIE DI COMPRESSIONE	125
B.10.1.6. VERIFICA STATICA IN FONDAZIONE	126
B.10.1.7. VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO	126
B.10.1.8. DIMENSIONAMENTO SEMPLIFICATO secondo D.M. 20.11.1987	127
B.10.1.9. VERIFICA STATICA A COMPRESSIONE secondo D.M. 20.11.1987	128
B.10.1.10. VERIFICA STATICA A PRESSOFLESSIONE secondo D.M. 20.11.1987	129
B.10.1.11. VERIFICA STATICA A TAGLIO secondo D.M. 20.11.1987	131
B.10.2. RISULTATI ELABORAZIONE ANALISI SISMICA	133
B.10.2.1. FORZE SISMICHE	133
B.10.2.2. COEFFICIENTI SISMICI	134
B.10.2.3. DIMENSIONAMENTO SEMPLIFICATO secondo D.M. 16.1.1996	135
B.10.2.4. VERIFICA SISMICA IN FONDAZIONE	136
B.10.2.5. CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO	137
B.10.2.6. VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO	138
B.10.2.7. VERIFICA SISMICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI ORTOGONALI secondo D.M. 20.11.1987	138
B.10.2.8. VERIFICA SISMICA a PRESSOFLESSIONE PER AZIONI ORTOGONALI secondo Circ. n°21745 del 30.7.1981	141
B.10.2.9. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: D.M. 20.11.1987: PIANI RIGIDI	144
B.10.2.10. VERIFICA SISMICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI NEL PIANO: D.M. 20.11.1987: PIANI RIGIDI	147
B.10.2.11. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: Circ. n°21745 del 30.7.1981: PIANI RIGIDI: METODO POR	149
B.10.2.12. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: Circ. n°21745 del 30.7.1981: PIANI RIGIDI: METODO PORFLEX	153
B.10.2.13. VERIFICA SISMICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI NEL PIANO: Circ. n°21745 del 30.7.1981: PIANI RIGIDI	158
B.10.2.14. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: D.M. 20.11.1987: PIANI DEFORMABILI	159
B.10.2.15. VERIFICA SISMICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI NEL PIANO: D.M. 20.11.1987: PIANI DEFORMABILI	162
B.10.2.16. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: Circ. n°21745 del 30.7.1981: PIANI DEFORMABILI	164
B.10.2.17. VERIFICA SISMICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI NEL PIANO: Circ. n°21745 del 30.7.1981: PIANI DEFORMABILI	167
B.10.2.18. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: VERIFICA SEMPLIFICATA: METODO VeT	168
B.10.2.19. VERIFICA SISMICA: ATTUAZIONE LEGGE 61/98	169
B.10.2.20. ANALISI SISMICA MURATURA ARMATA	170
B.10.2.21. ANALISI SISMICA MURATURA ARMATA: VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE E A TAGLIO	173
B.10.2.22. RISULTATI PER ELEMENTI IN C.A. / ACCIAIO	176
B.11. GRAFICA	177
B.11.1. Menu OPZIONI	178
B.11.1.1. TIPO DI DISEGNO	178
B.11.1.2. PARAMETRI DI DISEGNO	180
B.11.1.2.1. SCHEDA 'DATI'	180
B.11.1.2.2. SCHEDA 'ELABORAZIONI'	181
B.11.1.2.3. SCHEDA 'IMMAGINE'	182
B.11.1.2.4. SCHEDA 'FORZE E TENSIONI'	183
B.11.1.2.5. SCHEDA 'ANALISI'	184
B.11.1.2.6. TIPI DI RAPPRESENTAZIONE PER VERIFICHE A TAGLIO	185
B.11.1.2.6.1. FORZE E COEFFICIENTI	186
B.11.1.2.6.2. PIANTE DELLE PARETI	187
B.11.1.2.6.3. DEFORMATE SISMICHE	188
B.11.1.2.6.4. QUADRO DELLE LESIONI SISMICHE	189
B.11.1.2.6.5. DIAGRAMMI FORZA-SPOSTAMENTO	192
B.11.1.2.6.6. DOMINI DI RESISTENZA	193

---

B.11.1.2.7. RAPPRESENTAZIONE DEI COEFFICIENTI SISMICI 'C'	194
B.11.2. Menu IMMAGINE	196
B.11.3. Menu SPOSTA	198
B.11.4. Menu ANIMAZIONE per la finestra grafica 2D	198
B.11.5. Menu ANIMAZIONE per la finestra grafica 3D	199
B.11.6. CONTROLLI 2D	199
B.11.6.1. INSERIMENTO GRAFICO DEI SOLAI	200
B.11.6.2. INFORMAZIONI SUL TIPO DI DISEGNO CORRENTE	200
B.11.6.3. INTERAZIONE CON AEDES-CAD®	
PER GESTIONE DATI IN MODALITA' GRAFICA	201
B.11.7. CONTROLLI 3D	201
B.11.8. Finestra LEGENDA	202
<b>B.12. FILES DXF</b>	<b>203</b>
B.12.1. INPUT DA FILE DXF	203
B.12.2. OUTPUT SU FILES DXF	205
<b>B.13. SUGGERIMENTI SULL'USO INFORMATICO</b>	<b>207</b>
B.13.1. COME FARE PER...	207
B.13.1.1. SALVARE UNA SCHERMATA	207
B.13.1.2. SELEZIONARE TESTO IN UNA FINESTRA E COPIARLO ALTROVE	207
B.13.1.3. EVIDENZIARE CON UN CLIC GRAFICO I DATI DI UNA PARETE	208
B.13.1.4. VISUALIZZARE SOLO UN GRUPPO DI PARETI ('FILTRO')	208
B.13.1.5. CREARE UNA PARETE PARALLELA AD UN'ALTRA	208
B.13.1.6. CONSULTARE I RISULTATI NON SOLO SU GRAFICA, MA ANCHE SU TESTO	208
B.13.1.7. MODIFICARE LE COLONNE VISUALIZZATE NELLE TABELLE	209
B.13.1.8. ESSERE SICURI DI AVER DEFINITO CORRETTI ALLINEAMENTI	209
B.13.1.9. INTRODURRE NUOVI MATERIALI E ASSEGNARLI A PARETI	209
B.13.1.10. VELOCIZZARE L'INSERIMENTO DELLE MAGLIE DI SOLAIO	209
B.13.1.11. ESSERE SICURI DI AVER BEN DEFINITO	
MAGLIE DI SOLAIO E PERIMETRI DI PIANO	209
B.13.1.12. VISUALIZZARE LE LESIONI SISMICHE	210
B.13.1.13. INSERIRE NELLA RELAZIONE LE FIGURE DELLE FINESTRE GRAFICHE	210
B.13.1.14. NON FARE ERRORI NEI DATI DELLE PARETI	210
B.13.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA'	212
B.13.2.1. NUMERI STRANI NELLE TABELLE DATI	212
B.13.2.2. ERRORE durante la fase: 'DIMENSIONAMENTO SEMPLIFICATO	
secondo D.M.16.1.1996'	212
B.13.2.3. ERRORE durante la fase:	
'CALCOLO DEI CARICHI E DELLE AREE DI INFLUENZA'	212
B.13.2.4. ERRORE NELL'ESECUZIONE DI UN DISEGNO	212
B.13.2.5. CONSIGLI SULL'INPUT DA FILE DXF	212
B.13.2.6. BARRA DEGLI STRUMENTI INCOMPLETA	213
B.13.2.7. FINESTRE SOVRAPPOSTE	213
B.13.2.8. IMPOSSIBILE INSTALLARE PC.M 2000 IN ALTRE DIRECTORY	213
B.13.2.9. IMPOSSIBILE APRIRE PIÙ ISTANZE DI PC.M 2000	213
<b>B.14. SUGGERIMENTI SULL'USO INGEGNERISTICO</b>	<b>214</b>
B.14.1. COME FARE PER...	214
B.14.1.1. ELEMENTI MURARI A SEZIONE TRASVERSALE NON RETTANGOLARE	214
B.14.1.2. MURATURE MISTE NON RICONOSCIBILI NELLE TIPOLOGIE DI NORMATIVA	214
B.14.1.3. INDIVIDUARE I 'SETTI' SIGNIFICATIVI	
PER LE VERIFICHE AD AZIONI ORTOGONALI	214
B.14.1.4. SCHEMATIZZARE I BALCONI	215
B.14.1.5. IL CASO DI EDIFICI CONTIGUI	215
B.14.1.6. PIANI SFALSATI	215
B.14.1.7. FONDAZIONI SFALSATE	216
B.14.1.8. CONSOLIDARE IN PRATICA UN EDIFICIO	216
B.14.1.9. COSA SONO I 'VINCOLI EFFICACI' ED I 'TIRI'	217
B.14.1.10. CONSIDERARE LE SPINTE DALLE VOLTE E DALLE COPERTURE	217
B.14.1.11. CONSIDERARE LA SPINTA DEL TERRENO	217
B.14.1.12. VERIFICARE SE IL COEFFICIENTE 'C' ALLO STATO DI PROGETTO	
AUMENTA PIU' DEL 10% RISPETTO AL VALORE DI RIFERIMENTO	218
B.14.1.13. IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI COPERTURA	219

---

B.14.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA'	219
B.14.2.1. NON SI RIESCE A RAGGIUNGERE LA VERIFICA DELLO STATO DI PROGETTO	219
B.14.2.2. ANALISI SISMICA SODDISFATTA, MA ANALISI STATICA NO	219
B.14.2.3. VALORI NEGATIVI NEI COEFFICIENTI 'C' DEL RAPPORTO DI ELABORAZIONE	220
B.14.2.4. VALORE ZERO (0.000) DI 'C' NELLE VERIFICHE PER AZIONI ORTOGONALI NEL RAPPORTO DI ELABORAZIONE	220
B.13.2.5. PERCHE' SI ESEGUE SEMPRE IL DIMENSIONAMENTO SEMPLIFICATO secondo D.M. 16.1.1996 ?	220
B.14.2.6. VERIFICA IN FONDAZIONE NON SODDISFATTA	220
B.14.2.7. NON SI POSSONO SCHEMATIZZARE, IN UNO STESSO IMPALCATO, CAMPI DI SOLAIO RIGIDI E CAMPI DEFORMABILI	220
B.14.2.8. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI COMPLANARI NON SODDISFATTA	221

## B. MANUALE D'USO DI PC.M 2000

### B.1. INTRODUZIONE

#### B.1.1. GENERALITA'

**PC.M 2000** è un software di **analisi strutturale** per edifici in muratura nuovi ed esistenti, **completo** di tutte le fasi di **introduzione dati**, **elaborazioni di calcolo**, **trattamento dei risultati** anche sotto forma di **post-elaborazioni grafiche**. PC.M 2000 colloquia con i programmi di CAD sia per la fase di input, sia per l'output (restituzione dei disegni elaborati), e con i word-processor quali Microsoft Word per la compilazione della relazione di calcolo.

**Le principali caratteristiche di PC.M 2000 sono:**

**Dal punto di vista ingegneristico:**

\* Per **Edifici in Muratura Ordinaria e Armata**, Nuovi ed Esistenti, posti in Zona Sismica e Non. Dall'esperienza dell'Autore (Ing. Francesco Pugi), particolare attenzione al **consolidamento** e alla **riqualificazione del patrimonio edilizio esistente**.

\* Conforme alla **Normativa vigente**, fra cui: Legge 61 del 30.3.1998 e Direttive tecniche D.G.R. Umbria 5180/98 e D.G.R. Marche 2153/98; D.M. 20.11.1987; D.M. 16.1.1996 con Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997; D.M. 2.7.1981 con Circ. 21745 del 30.7.1981.

\* Metodi Statici e Sismici per edifici in muratura, nuovi ed esistenti. Tutti i tipi di **Verifiche Globali** e di **Verifiche Locali**, per azioni complanari e ortogonali, e per tutte le Combinazioni di Carico previste dalla Normativa (Tensioni Ammissibili e Stati Limite): Verifiche di resistenza alle Azioni Ortogonali (Ribaltamento e PressoFlessione dei setti che si sviluppano sull'intera altezza dell'edificio); Verifiche di resistenza alle Azioni nel Piano; Verifiche della Resistenza dei Collegamenti; Verifiche in Fondazione.

\* Per le Verifiche per **Azioni Ortogonali**:

1) **Verifica a Ribaltamento** eseguita rispetto a tutte le cerniere di piano a partire dai piani più alti fino al piano più basso; forze considerate:

- azioni ribaltanti:

spinte dalle coperture (calcolate nel programma a partire dalla pendenza del solaio di copertura); azioni sismiche distribuite in altezza (dovute ai pesi propri) e concentrate provenienti dal solaio nel caso di vincoli inefficaci; spinte dalle volte, automaticamente calcolate a partire dalle maglie di solaio, agenti all'effettiva posizione d'imposta (sotto solaio); altre forze, permanenti e accidentali, definibili a piacere dall'utente;

- azioni stabilizzanti:

tiri (ad esempio da catene, cordoli, controventi); pesi propri delle pareti; carichi di solaio, con eccentricità definita dalla distribuzione triangolare della reazione d'appoggio; la verifica a Ribaltamento viene eseguita sia in Analisi Statica sia in Analisi Sismica (quindi può essere condotta anche per la verifica di stabilità di edifici esistenti posti in *zona non sismica*);

2) **Verifica a PressoFlessione** eseguita secondo due modalità:

- a trave continua sull'intera altezza, incastrata alla base, schematizzando gli appoggi in corrispondenza di vincoli efficaci (nel caso di completa assenza di vincoli efficaci, come frequentemente accade per Stati Attuali, viene considerata una mensola); i carichi sono tutti quelli presenti nella Verifica a Ribaltamento, inclusi i momenti concentrati per disassamento di pareti (rastremazioni in altezza) e per appoggio dei solai;

- a trave di interpiano vincolata in sommità e alla base (calcolo tradizionale), con vincolamento graduabile da appoggio a incastro.

\* L'Analisi Sismica procede:

**1) Verificando la struttura con tutte le verifiche attivate** (cioè i metodi coerenti con la schematizzazione e le scelte effettuate), sotto l'azione della forza sismica di riferimento (di fronte alla quale si può adottare un coefficiente di sicurezza: ad esempio, 0.65 per la ricostruzione in Umbria e Marche);

**2) Calcolando i coefficienti sismici C** massimi ammissibili per ogni tipo di verifica attivata, definendo così i domini di resistenza secondo ciascuna modalità di verifica; quindi, assumendo il minimo fra tutti i C così determinati come il coefficiente indicativo dell'edificio: C<sub>0</sub> se allo Stato Attuale; C<sub>fin</sub> se allo Stato di Progetto. Confronti fra C<sub>0</sub> e C<sub>fin</sub> ed **elaborazione delle Schede di accompagnamento ai progetti** richieste dalle disposizioni delle Regioni Umbria e Marche.

\* Diagrammi Forza-Spostamento, Domini di Resistenza, Metodi Por e PorFlex e Verifica a **Solai Deformabili** per impalcati non rigidi. Possibilità di **piani rigidi e piani deformabili** all'interno dello stesso edificio. Azioni orizzontali in direzioni variabili, per la valutazione dei massimi effetti.

L'unico software con **visualizzazione delle Lesioni prodotte dall'evento sismico**: ciò consente una reale comprensione fisica del modello strutturale. Algoritmi testati con successo dall'Autore, collaboratore fra l'altro dell'Istituto Geofisico Toscano, a partire dall'evento sismico in Lunigiana, ottobre 1995, fino alle più recenti applicazioni in Umbria e Marche, come verificato da numerosi utenti.

\* Nel caso di piani rigidi e di applicazione della Circ.21745, la **Verifica PorFlex consente di tenere conto, come prescritto dalla Normativa**, degli effetti flessionali, molto spesso *fondamentali per la corretta analisi della resistenza globale, sia per i nuovi edifici antisismici*, sia per gli edifici esistenti. Oltre alle pareti, il programma considera la resistenza delle 'strisce', porzioni di muratura poste sopra le aperture, sedi di possibili lesioni a flessione e/o a taglio.

\* **Fondazioni**: analisi statica e sismica, con tre tipi di scarico sul terreno: per carichi locali; con diffusione uniforme; fondazioni su piano rigido, con determinazione del nocciolo d'inerzia e del centro di pressione. Travi di fondazione anche a T rovescio. Fondazioni a **platea**. Mappe tensionali dettagliate, con scala a colori dei livelli di tensione e legenda.

\* **Analisi automatica dei carichi** sulle pareti (**carichi verticali, spinta delle terre, vento, masse e forze sismiche**), con il semplice inserimento delle maglie di solaio, delimitate da pareti, pilastri o travi. Maglie di solaio definite per allineamenti (fil di riferimento): togliendo o modificando una o più pareti, resta invariata la definizione della maglia.

Oltre ai classici solai monodirezionali, anche bidirezionali (con parte di carico sulle pareti parallele all'orditura), a lastra e a volta, comunque orditi. Calcolo automatico delle Eccentricità dei carichi verticali. Calcolo automatico delle spinte delle volte, direttamente utilizzate nelle verifiche di resistenza per Azioni Ortogonali. Gestione accurata dei casi di **edifici contigui** che richiedano la considerazione di quota parte delle masse adiacenti all'unità analizzata. Calcolo degli **Spostamenti relativi e assoluti** per la definizione dei corretti giunti strutturali. Animazione della Deformazione sismica e del quadro fessurativo.

\* **Elementi Strutturali**: Pareti, Maschi Murari, Strisce ed elementi di Sottofinestra, Travi, Elementi in Muratura Nuova o Esistente ed in Cemento Armato o Acciaio, Piani in C.a. / Acciaio (Interrati o in Sopraelevazione), Fondazioni anche su piani sfalsati, Solai definiti per maglie. **Vincoli nel piano e ortogonali completamente definibili dall'Utente**: oltre al classico doppio incastro nel piano e doppio appoggio in direzione ortogonale, tutte le gradazioni di semincastro, definibili anche singolarmente per ogni elemento resistente.

\* **Strutture miste**: elementi in c.a. / acciaio presenti insieme alle murature, oppure in interi piani (sopraelevazioni, interrati); incremento automatico del 50% per la forza sismica agente sul piano in c.a. o acciaio in sopraelevazione (punto C.5.4. D.M.16.1.1996).

\* **Tutti i tipi di materiali schematizzabili** secondo Normativa già disponibili; possibilità di definizione di nuovi tipi. Analogamente, definizione dei tipi di solaio di riferimento per il rapido input delle maglie di solaio.

\* **Gestione accurata dei casi di Piani Sfalsati**: immediata definizione delle fondazioni su più livelli; effettive altezze di calcolo per l'analisi per azioni complanari; corretto computo dei taglianti sismici per i piani (semi)interrati.

Possibilità di **Assemblaggio delle pareti: frazionando i maschi** costituenti una parete lungo un allineamento, è **possibile considerare la rigidezza complessiva senza quindi alterare il calcolo**. Ciò consente, ad esempio, l'immediato confronto risolutivo fra operare o meno l'interruzione dei maschi al fine di individuare le strisce continue dalle fondazioni alla sommità.

Inoltre, **ciascuna parete può essere o meno collaborante** alla resistenza statica (pareti portanti) e/o sismica (pareti di controvento): immediato fare più prove escludendo e reincludendo la partecipazione di alcuni elementi (per esempio: gli elementi in c.a., che secondo la Normativa vigente dovrebbero essere trascurati ai fini della rigidezza sismica).

#### **Dal punto di vista informatico e gestionale:**

\* **Input grafico da file DXF** o tabellare, con **visualizzazione interattiva in 2D e prospettiva reale 3D**. Nel file DXF possono essere schematizzate pareti e/o solai. Algoritmi innovativi per considerare **pareti a sezione trasversale qualsiasi** (polilinee anche non rettangolari), disponibili per effettuare una migliore descrizione delle sezioni murarie portanti a partire dai rilievi architettonici.

Animazioni per punti di vista, esplosioni, allineamenti, alternanza delle direzioni di analisi. Prospetti.

Tutte le **elaborazioni grafiche in 2D e 3D (fino a 70 tipi di disegno)** sono parametrizzabili ed esportabili su DXF, compatibili con i programmi di CAD: *ciò che vedi è ciò che ottieni su CAD!* Esportazione anche su bitmap: *semplicissimo corredare di disegni la Relazione di Calcolo!*

\* **Comandi Undo (=Annulla) / Redo (=Ripristina)** *ad infiniti livelli* per la fase di modifica e/o correzione dei dati nel corso dell'input. Interfaccia grafica di Windows con **barra degli strumenti** per l'esecuzione rapida di tutti i principali comandi.

\* **Oltre 60 Parametri di Calcolo** selezionabili a piacere dall'Utente (e comunque preimpostati per chi desidera eseguire rapidi calcoli standard) in modo da lasciare al progettista il **controllo** dell'analisi strutturale.

\* **Relazione di calcolo** su files TXT e RTF, compatibile con word-processor (come Microsoft Word), già formattata e pronta per la stampa. Completa di descrizione dei metodi di calcolo utilizzati. Visualizzazione della Relazione e possibilità di gestione del testo all'interno di PC.M 2000.

\* Al pacchetto viene allegato il **volume "Progettazione di Costruzioni in Muratura"**, edito da ALINEA Editrice, contenente la Teoria degli edifici in muratura, **completo di vari esempi di studio e di progettazione tratti dalla pratica professionale** (elaborati con PC.M da Utenti del software). Il volume, in 320 pagg., costituisce un importante supporto tecnico, e contiene numerosi riferimenti alle metodologie e alle problematiche reali riguardanti l'analisi strutturale degli edifici in muratura, esistenti e nuovi, in muratura ordinaria e armata.

\* **Guida in linea** su testo e ipertesto, completa di **Manuale d'uso ed Esempi Applicativi**, con numerose illustrazioni, consultabile con Adobe Acrobat Reader®. Guida Rapida all'installazione.

\* Come per tutti i software AEDES, **supporto tecnico su Internet**, al sito: [www.aedes.it](http://www.aedes.it), dove apposite pagine sono dedicate alle **FAQ** (domande e risposte più frequenti).


#### **B.1.2. AMBIENTE DI LAVORO**

PC.M opera con una disposizione di finestre ottimizzata (nel seguito: disposizione di default), che l'utente può comunque variare come preferisce. Come ogni altro programma progettato per il sistema operativo Windows, PC.M può essere aperto contemporaneamente ad altri software; pertanto l'effettivo aspetto dello schermo, nel corso dell'uso di PC.M, dipende dalla configurazione in quel momento determinata dall'utente.

Nella schermata di default di PC.M, sotto al titolo e alla barra dei menu sono presenti:

- la **barra degli Strumenti**, che consente l'esecuzione rapida di molti dei comandi principali di PC.M;

- la **barra dei Messaggi di Stato**, dove vengono riportati i riferimenti alle più significative operazioni svolte durante la sessione di lavoro con PC.M;
  - le due **finestre grafiche 2D e 3D**, ognuna dotata, sotto alla barra del titolo, di propri pulsanti grafici riguardanti alcune delle principali funzionalità grafiche;
  - le **finestre di testo** per l'inserimento di dati e di tabelle. Le finestre di testo sono le seguenti: **Edificio, Piani, Pareti, Fondazioni, Solai, Tabella di riferimento Materiali, Tabella di riferimento Solai**.  
Ad esse si aggiunge la finestra **Relazione**, dove si visualizza il testo della relazione elaborata sia per la fase di Stampa sia per le Informazioni riguardanti il disegno correntemente visualizzato nella grafica 2D. Queste finestre sono ognuna dotata di proprio menu.
- Vi è infine la finestra **Vertici**, che può essere attivata esclusivamente dal campo 'Coord. vert.' di input della tabella dei Dati Pareti, per l'edizione delle coordinate dei vertici delle sezioni trasversali delle pareti.

La **finestra Edificio** è la **principale**: essa contiene i comandi fondamentali di creazione, apertura e salvataggio di edifici, ed il comando di uscita dal programma. *Ogni sessione di PC.M inizia con l'attivazione della finestra Edificio*, e termina con la sua chiusura attraverso l'apposito comando Esci (CTRL + Q) del menu File, equivalente all'uso del pulsante grafico .

- In PC.M vengono inoltre utilizzate **finestre di dialogo**, per richiedere l'inserimento dei dati necessari per continuare le operazioni, o per visualizzare informazioni. Questo tipo di finestre non è dotato di specifici menu.
- **Stampa su file** (RTF o TXT), dove si selezionano i capitoli da stampare nella relazione di calcolo; si ricorda che PC.M non invia direttamente il testo di relazione alla stampante, ma crea un file (di tipo RTF o TXT) da gestire con word-processor;
  - **Parametri di Calcolo**, dove si inseriscono e selezionano i parametri in base ai quali verrà eseguito il calcolo;
  - **Tipo di Disegno** (2D o 3D), dove si sceglie il tipo di disegno che si vuole eseguire nella finestra grafica attiva;
  - **Parametri di Disegno**, dove si selezionano le opzioni di rappresentazione grafica inerenti il tipo di disegno correntemente visualizzato nella finestra grafica attiva;
  - **Rapporto di elaborazione**, dove - al termine del calcolo - si riportano i risultati di tutte le verifiche eseguite; da tale finestra si può accedere alle informazioni sull'attuazione della Legge 61/98 (riepilogo dei coefficienti "C");
  - **finestre di utilità**, dove si visualizzano calcoli specifici (spinta da coperture, il tiro dei tiranti, la verifica degli ancoraggi) o messaggi di rilievo (elenco allineamenti, check-up dei dati prima dell'esecuzione del calcolo);
  - **Legenda**, che può assumere modalità grafica (se invocata da disegni delle finestre 2D e 3D; per ogni tipo di disegno fornisce le modalità di 'lettura' della grafica rappresentata) o di testo (se invocata dalla finestra Relazione in seguito al comando di 'Richiesta Informazioni').

E' infine presente la finestra della **Guida in linea** che richiama files di Adobe Acrobat Reader®.

Una **finestra** è '**aperta**' quando è stata chiamata e non è stata ancora chiusa.

La **finestra 'corrente'** è la finestra attiva (si dice anche che ha il fuoco), cioè quella che riceve i comandi: il suo bordo del titolo appare in evidenza, mentre i bordi del titolo di tutte le altre finestre contemporaneamente aperte vengono posti in luminosità ridotta.

I **dati** sono inseriti nelle rispettive finestre, attraverso l'inserimento nei campi (finestra Edificio o finestra Parametri di Calcolo) o il riempimento delle tabelle. Le tabelle vengono parzialmente riempite in via automatica attraverso l'input da file DXF.

I **comandi** di PC.M vengono generalmente assegnati tramite i menu associati alle finestre. Ogni finestra ha il proprio gruppo di menu, inerenti le particolari funzionalità richieste durante l'attivazione della finestra stessa. Vi sono alcuni menu comuni a più finestre.

### B.1.3. GESTIONE DELLE TABELLE DATI

In PC.M, i dati Piani, Pareti, Fondazioni, Solai sono gestiti attraverso tabelle, o **griglie**, editabili.

Le tabelle si compongono di righe (numero di elementi) e di colonne (parametri caratteristici). La posizione corrente del dato (intersezione di righe e colonne) viene definita dalla cella, ed è evidenziata da un rettangolo



nero attorno al dato, mentre l'elemento corrente (riga) è indicato da una freccia sulla sinistra, accanto al numero progressivo.

Il testo viene inserito e/o modificato semplicemente iniziando a digitare: la cella si attiva, i comandi di menu vengono temporaneamente disattivati ed il campo di editazione si comporta come una normale casella di testo. L'editazione viene anche attivata eseguendo un clic con il mouse all'interno della cella, oppure premendo il tasto F2.

Per confermare il testo, al termine della digitazione, spostare la cella con i tasti freccia, oppure confermare con INVIO (una nuova conferma con INVIO sposta la cella al campo successivo), oppure fare clic su altre celle, o sulla barra di scorrimento della griglia.

Premendo ESC, l'editazione viene disattivata ed i comandi di menu tornano disponibili.

Premendo ESC senza aver precedentemente confermato con INVIO, il testo digitato viene rimosso ed il dato riacquista il valore precedente.

Alcuni dati hanno la forma semplice di attivo / disattivo e vengono rappresentati graficamente: con una icona rossa, se disattivo; con una icona verde spuntata, se attivo. Per modificare lo stato del dato, è sufficiente farvi sopra clic, oppure spostarvi la cella e premere un qualsiasi tasto.

Ogni griglia è automaticamente ridimensionabile in base alla larghezza ed altezza della finestra che la contiene. Alcune operazioni di ridimensionamento possono generare la ricompilazione della tabella, richiedendo alcuni istanti (in dipendenza delle caratteristiche di elaborazione del processore di sistema).

Le colonne sono evidenziate in colori diversi a seconda del loro significato. Per esempio, le colonne dati che si riferiscono alla Geometria delle pareti hanno colore diverso dalle colonne riferite ai Materiali.

Le tabelle sono normalmente consultabili con le consuete operazioni delle griglie: utilizzare le barre di scorrimento per scorrere dati posti oltre la visualizzazione corrente della tabella.

Ogni griglia può essere aggiornata aggiungendo, inserendo o eliminando elementi attraverso i comandi del menu Modifica. Altri comandi (ad esempio, Copia del menu Edit della finestra Pareti) possono produrre una variazione del numero degli elementi (righe) della tabella.

Le colonne delle finestre Pareti, Fondazioni, Solai possono essere selezionate, indipendentemente l'una dall'altra, e nascoste per una gestione più rapida dei dati che interessano; in ogni momento, un apposito comando del menu Opzioni consente la rivisualizzazione della tabella completa. Nel caso dei Dati Pareti, la tabella si presenta particolarmente complessa; per una gestione più rapida dei dati fondamentali, è disponibile un apposito comando del menu Opzioni per la visualizzazione della tabella in forma ridotta.

Tutte le colonne sono inoltre ridimensionabili: è così possibile impostare la configurazione corrente della tabella in modo da visualizzare solo le colonne desiderate.

Nelle tabelle Dati Pareti, Dati Fondazioni e Dati Solai è possibile **selezionare una o più pareti** (o una o più fondazioni, o uno o più solai) facendo clic sulla colonna grigia interposta, sulla sinistra, fra il numero della parete e la prima colonna di dati. La selezione può altresì essere effettuata con appositi comandi di filtraggio delle pareti (o delle fondazioni) (comando Seleziona, menu Modifica, finestra Dati Pareti o Fondazioni) e con comandi grafici (comando Seleziona, menu Immagine, finestra Grafica 2D). Le pareti (o fondazioni o solai) selezionate sono utili per vari comandi che possono essere applicati a gruppi di pareti (o fondazioni o solai); ad esempio, dopo aver selezionato un insieme di pareti (o fondazioni o solai), si può limitare il disegno alla sola selezione per meglio evidenziarle.



## B.2. MENU COMUNI

### B.2.1. Menu FINESTRA

Il **menu Finestra** consente la chiamata dalla finestra corrente ad altre finestre di PC.M. Il fuoco viene spostato sulla finestra chiamata, che viene aperta e diviene la finestra corrente. La finestra precedente non viene chiusa; essa può restare coperta dalla finestra chiamata: eventualmente, spostando (attraverso il trascinamento col mouse) le finestre sullo schermo, è possibile visualizzare contemporaneamente tutte le finestre aperte. Oltre alle chiamate ad altre finestre, nel menu Finestra sono presenti i seguenti comandi:

**Sovrapponi** = Sovrappone le finestre aperte, in modo da evidenziare per ognuna la barra del titolo: facendo clic sopra di essa, si attiva la finestra.

**Affianca** = Affianca le finestre aperte. Anche in questo caso, facendo clic sulla parte evidenziata di una finestra, se ne ottiene l'attivazione.


**Disponi** = Ottimizza la disposizione delle finestre di PC.M, secondo le modalità di default più convenienti per la gestione del programma. In alto, vengono affiancate le due finestre grafiche 2D (a sinistra) e 3D (a destra); in basso la finestra di testo corrente (le altre eventualmente aperte restano sotto la finestra attiva). In pratica, si ripristina la disposizione di finestre presentata all'avvio da PC.M.  
In ogni momento, quindi, anche dopo aver spostato e/o ridimensionato alcune finestre, è possibile richiamare la disposizione ottimale.

### B.2.2. Menu GUIDA

**Guida in linea ( F1 )** [ Barra degli Strumenti: ? ] = Apre la finestra della Guida in linea di PC.M.

**Informazioni su PC.M** = Visualizza il nome del programma e le informazioni di copyright.

### B.3. FINESTRA EDIFICIO

La **finestra Edificio** è la **principale**: essa contiene i comandi fondamentali di creazione, apertura e salvataggio di edifici, ed il comando di uscita dal programma. *Ogni sessione di PC.M inizia con l'attivazione della finestra Edificio*, e termina con la sua chiusura tramite il comando Esci (CTRL + Q) del menu File, equivalente all'uso del pulsante grafico .

**PC.M 2000 è installato nella directory (obbligatoria) C:\PCM2000**, mentre gli **Edifici** dell'Utente vengono **archiviati**, in un formato proprio del programma, **nella sottodirectory C:\PCM2000\EDIFICI**.

Per un Edificio di nome 'NomeEdificio', PC.M crea inoltre due sottodirectory:

C:\PCM2000\SERVIZIO\NomeEdificio

all'interno della quale vengono collocati files temporanei ad uso interno di PC.M, e

C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio

**contenente i files di testo (RTF e TXT) e grafici (DXF e BMP) elaborati da PC.M.**

Analogamente alla directory \EDIFICI, sono presenti altre due directory dedicate agli esempi forniti in dotazione a PC.M:

\ES-APPRENDI, contenente gli esempi di apprendimento,

\ES-PROGETTI, contenente gli esempi di studio e progettazione.

La directory C:\PCM2000\SERVIZIO è normalmente utilizzata soltanto durante la sessione di lavoro con PC.M.

La directory C:\PCM2000\OUTPUT può essere periodicamente svuotata, laddove non interessino più i files grafici e di testo elaborati in precedenza da PC.M.

L'assenza delle directory C:\PCM2000\SERVIZIO e C:\PCM2000\OUTPUT non interferisce con il normale funzionamento del programma: PC.M 2000 infatti provvede da solo alla loro creazione quando necessario.

Nel seguito, per 'archivio' si intende un Edificio salvato nel formato PC.M nella sottodirectory C:\PCM2000\EDIFICI.

Il nome dell'archivio (o equivalentemente: dell'Edificio) è riportato nella barra del titolo, in alto sullo schermo, accanto al nome del programma.

Le operazioni di archiviazione (o salvataggio), di apertura di archivi esistenti e di creazione di nuovi Edifici, vengono effettuate da PC.M attraverso i comandi del menu File della finestra Edificio.

Dai comandi del menu File è possibile, inoltre, elaborare e stampare la relazione di calcolo.

#### B.3.1. Dati EDIFICIO

**Esistente** o **Nuovo** = Identificazione del tipo di edificio. PC.M considera di default l'edificio come esistente.

Viene inoltre evidenziato, in un'apposita etichetta colorata, se si tratta di 'Edificio Esistente in Muratura Ordinaria' (colore verde), oppure di 'Edificio Nuovo' in Muratura Ordinaria (colore giallo) o in Muratura Armata (colore celeste).

Perché l'edificio sia qualificato come 'Muratura Ordinaria', è sufficiente che vi sia una parete in muratura appunto ordinaria (cioè, con tipologia diversa da 'A' nei Dati Pareti).

**Numero di piani** = Numero di piani dell'edificio.

Per "**Piano 1**" si intende il piano di calcolo a quota minore, ossia - normalmente - il piano che spicca dalle fondazioni. Infatti il terreno trasmette l'accelerazione sismica alle fondazioni, e queste a loro volta all'organismo strutturale edificio ad esse sovrastante. Il Piano 1 coincide in pratica col Piano Terreno, escluso il caso che sia presente un Piano Interrato: quest'ultimo può essere considerato, a tutti gli effetti, un piano di calcolo; per esso si possono valutare gli effetti della spinta delle terre sulle pareti portanti.

Il valore di default, proposto da PC.M, è: Numero di piani = 1.

La variazione del numero dei piani effettuata in corso di modifica dati richiede la conferma con INVIO.


**Commento** = Testo opzionale associato all'edificio, allo scopo di identificarne le caratteristiche.

### B.3.2. Menu FILE

Le operazioni di archiviazione (o salvataggio), di apertura di archivi esistenti e di creazione di nuovi Edifici, vengono effettuate da PC.M attraverso i comandi del Menu File.

Dai comandi del Menu File è possibile, inoltre, elaborare e stampare la relazione di calcolo.

**Nuovo** = Reinizializza i dati correnti, impostando la creazione di un nuovo Edificio.

**Apri** ( **CTRL + F12** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Apre un archivio esistente, localizzato nella directory determinata dalla selezione effettuata su uno dei tre gruppi di archivi possibili: edifici personali dell'Utente, edifici di esempio per l'apprendimento (in dotazione di PC.M), edifici di esempio per lo studio e la progettazione (anch'essi in dotazione di PC.M).

Il gruppo di archivi selezionato è determinato dal corrispondente comando di menu attivato (riconoscibile dalla 'spunta' ✓ alla sua sinistra):

- **Edifici**

- **Esempi di Apprendimento**

- **Esempi di Studio e Progettazione**

Alle tre selezioni competono tre percorsi di ubicazione degli archivi distinti; rispettivamente:

C:\ PCM2000\EDIFICI

C:\ PCM2000\ES-APPRENDI

C:\ PCM2000\ES-PROGETTI


Ognuna delle tre scelte disattiva le altre due. Per default, è attivo il gruppo: **Edifici**, e quindi viene fatto riferimento agli archivi posti in C:\ PCM2000\EDIFICI.

L'archivio può essere in uno dei seguenti formati (individuato dal nome dell'estensione del file):

- PCM (qualunque versione);

- DXF (se appositamente generato da programma di CAD ai fini dell'input in PCM);

- AEM (software per MS-DOS dello stesso Autore di PC.M). Per importare i files dati di AEM, è necessario che in C:\ PCM2000\EDIFICI siano stati copiati i files: \*.AEM, \*.Di (DE,DP,D0,D1,...,Dn), \*.Si (S1,...,Sn).


**Salva** ( **MAIUSC + F12** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Salva l'Edificio corrente, di nome 'NomeEdificio', con nome del file: NomeEdificio.PCM, posto nella directory del gruppo di archivi selezionato: per default, C:\ PCM2000\EDIFICI.

Il formato PCM del file dati prevede l'archiviazione di tutti i dati collegati all'Edificio.


Pur essendo il formato PCM in caratteri ASCII e quindi editabile, non si dovrebbero modificare i dati direttamente con un editor ASCII: le sequenze di formattazione (spazi e ritorni a capo interposti fra i valori dei dati) potrebbero essere alterate con successiva impossibilità di corretta riapertura in PC.M.

Il comando Salva del menu File è presente anche nelle altre finestre di input dati (Piani, Pareti, Fondazioni, Solai) in modo da consentire il salvataggio dei dati correnti direttamente dalla finestra attiva, senza l'obbligo di attivare la finestra Edificio.

**Salva con nome** = Richiede il nome dell'Edificio prima di archivarlo. Consente di salvare l'Edificio corrente con un altro nome, creando quindi un altro archivio. Effettuato il salvataggio con il nome specificato, questo è il nome che viene assunto come corrente.

**Stampa** [ Barra degli Strumenti:  ] = Apre la finestra di dialogo dei Parametri di Stampa, dove si selezionano i dati e/o i risultati che saranno utilizzati per comporre la relazione di calcolo attraverso la stampa su file RTF o TXT. Alla descrizione della finestra 'Parametri di Stampa' è dedicato il paragrafo seguente: B.3.2.1.

Il file generato può essere aperto esternamente con i programmi di word-processor o trattamento testi, oppure può essere visualizzato internamente a PC.M attivando la finestra Relazione: questa seconda modalità è molto utile ad esempio per consultare numericamente dati e risultati nel corso della sessione di lavoro con PC.M.

Dati e Risultati sono direttamente visualizzabili anche utilizzando il comando grafico 2D 'Informazioni' (  ), che utilizza una relazione ad uso interno di PC.M (e quindi può essere di fatto superfluo eseguire manualmente la generazione della relazione per l'uso temporaneo di consultazione durante la sessione di lavoro con PC.M).

**Stampa su file RTF** = Se attivato, il file di relazione che verrà generato dal comando Stampa, sarà un file di testo di estensione RTF. Il file, scritto nella sottodirectory:

C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio

può essere aperto da un qualunque word-processor in grado di importare files nel formato RTF (es. Microsoft Word).

Il testo di un file RTF contiene già le formattazioni atte alla efficace presentazione del documento: ad esempio, grassetti e sottolineature, tipi di carattere, ecc. ed è quindi particolarmente orientato ad una rapida gestione della visualizzazione e della stampa dei dati e dei risultati. Ovviamente, l'utente può effettuare sul testo, all'interno del word-processor, tutte le variazioni di stili e proprietà che desidera.

**Stampa su file TXT** = Se attivato, il file di relazione che verrà generato dal comando Stampa, sarà un file di testo ASCII, di estensione TXT. Il file, scritto nella sottodirectory:

C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio

può essere aperto da un qualunque editor in grado di importare files di testo (es. Write, WordPad).



Il testo del file ASCII non presenta alcuna formattazione. Le caratteristiche del testo possono essere rielaborate dall'utente attraverso gli stili e le proprietà disponibili nel programma utilizzato per l'apertura e la gestione del file TXT.

**Parametri di Stampa standard** = Reinizializza i parametri di stampa che determineranno la composizione della relazione di calcolo, utilizzando le impostazioni predefinite di PC.M.

**Ripeti Stampa** = Se attivato, il comando consentirà - al lancio dell'operazione di Stampa, per esempio facendo clic sull'apposito pulsante della Barra degli Strumenti - la ripetizione della più recente operazione di stampa, permettendo un più rapido aggiornamento della relazione di calcolo in caso di modifiche progressive effettuate sull'edificio.

**Mostra Relazione di Calcolo** = Se attivato, consentirà - al termine dell'operazione di stampa - di visualizzare automaticamente la finestra Relazione senza necessità di invocarla dal menu Finestra. Associato al comando 'Ripeti Stampa', questo comando permette di visualizzare immediatamente relazioni elaborate in seguito a modifiche progressive effettuate sull'edificio.

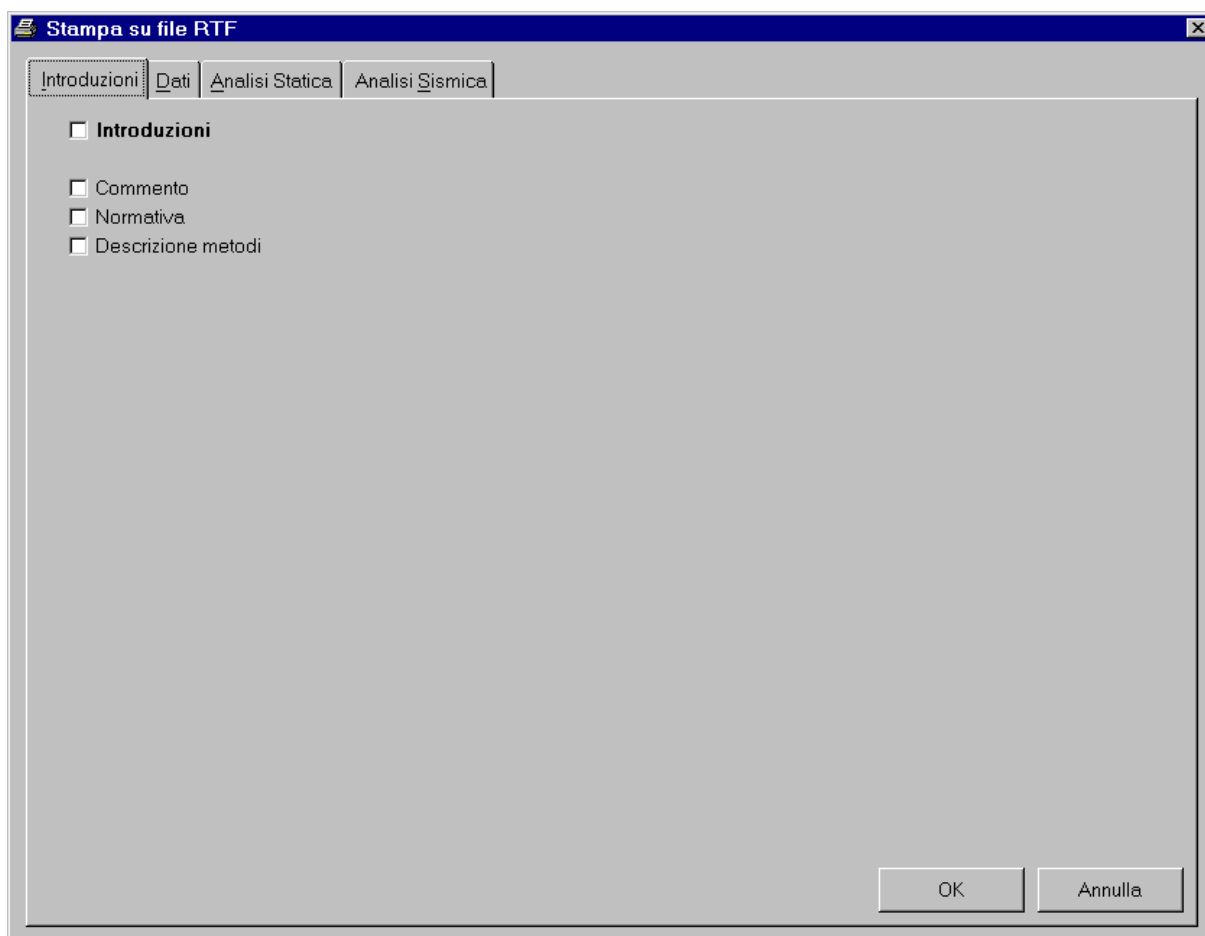
**1, 2, 3, 4** = Questi comandi, se presenti, costituiscono la lista dei files recenti, ossia gli ultimi 4 edifici analizzati. Ognuno di questi comandi permette l'apertura diretta del file dell'edificio corrispondente.

**Esci ( **CTRL + Q** )** = Questo comando pone termine alla sessione di lavoro con PC.M, ed è equivalente all'utilizzo del pulsante grafico  posto nell'angolo in alto a sinistra della finestra Edificio stessa. L'uscita attraverso il comando di menu richiede sempre la conferma; l'uscita attraverso il pulsante grafico  è invece immediata, qualora ovviamente non vi siano modifiche in corso che richiedano il salvataggio della struttura corrente.

### **B.3.2.1. PARAMETRI DI STAMPA**

I parametri di impostazione della Relazione di calcolo possono essere selezionati in **quattro schede (Introduzioni, Dati, Analisi Statica, Analisi Sismica)**. Confermando con OK, verrà proposto il nome del file contenente la relazione (normalmente RELAZ, modificabile a piacere), che verrà scritto in C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio). Confermando ancora con OK, avrà inizio la fase di scrittura del file, terminata la quale sarà possibile visualizzarne il contenuto attraverso la finestra Relazione (attivabile dal comando del menu Finestra).

## B.3.2.1.1. SCHEDA 'INTRODUZIONI'



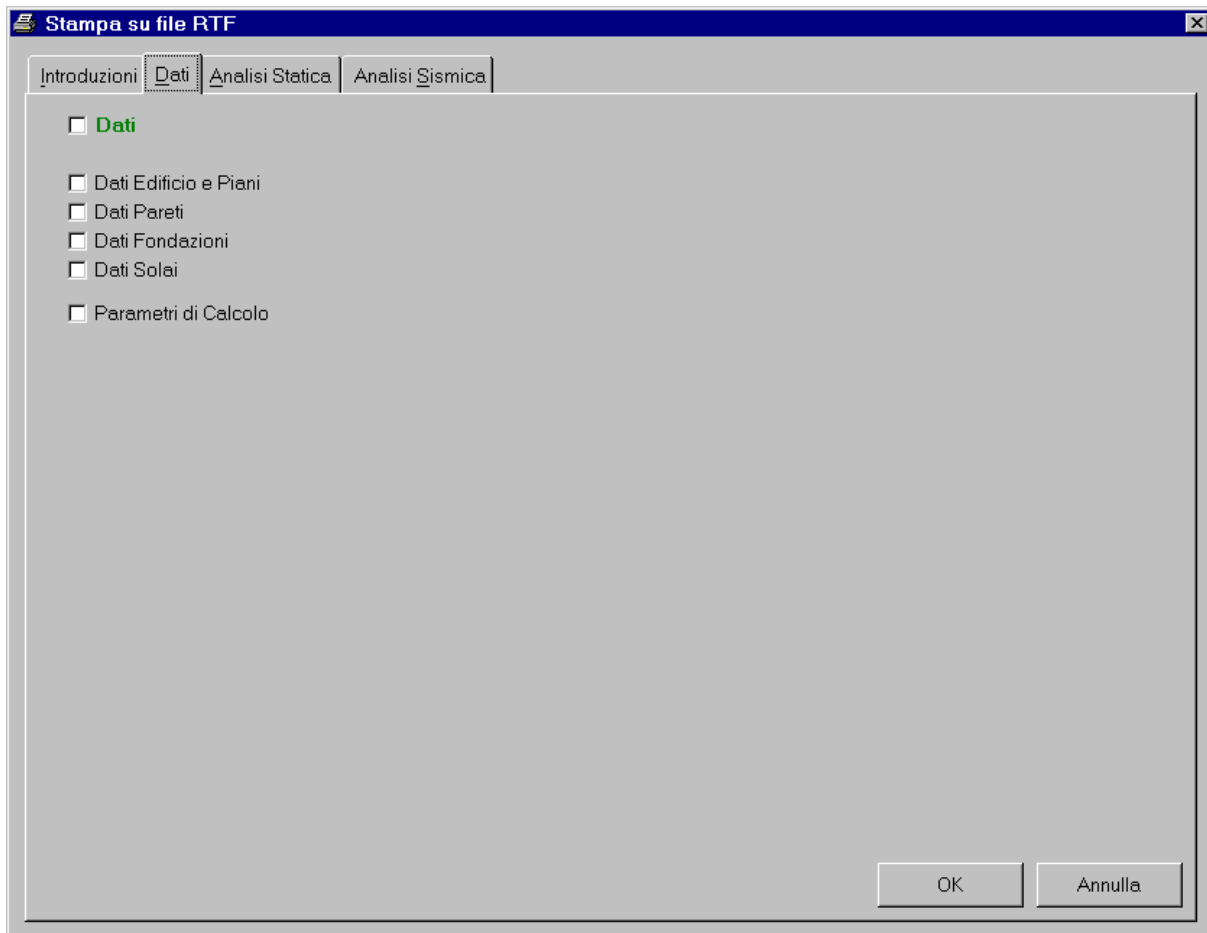
**Fig. 1.** Parametri di Stampa: scheda 'Introduzioni'.

Selezionando l'opzione '**Introduzioni**', vengono automaticamente selezionati tutti gli argomenti contenuti nella scheda.

Il '**Commento**' è quello riportato nella finestra Dati Edificio.

La '**Descrizione metodi**' consente di associare, ad ogni tipo di dati o risultati che verranno inclusi nella Relazione (in base alle selezioni effettuate nelle altre schede), la descrizione sintetica del metodo di calcolo e la simbologia utilizzati.

B.3.2.1.2. SCHEDA 'DATI'



**Fig. 2.** Parametri di Stampa: scheda 'Dati'.

Selezionando l'opzione '**Dati**', vengono automaticamente selezionati tutti gli argomenti contenuti nella scheda.

## B.3.2.1.3. SCHEDA 'ANALISI STATICA'

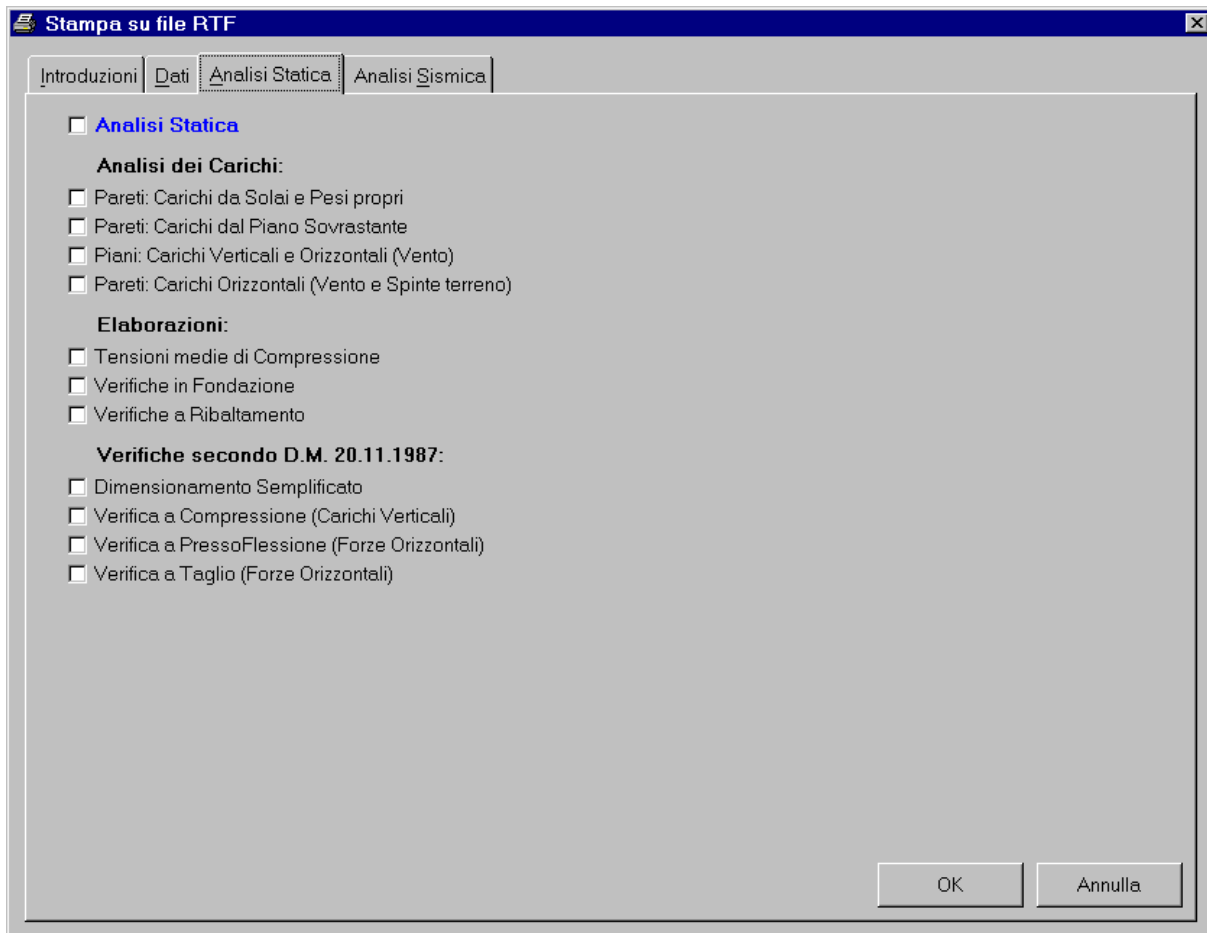


Fig. 3. Parametri di Stampa: scheda 'Analisi Statica'.

Selezionando l'opzione '**Analisi Statica**', vengono automaticamente selezionati tutti gli argomenti disponibili contenuti nella scheda.

Se l'Analisi Statica dell'edificio corrente non è stata ancora elaborata, nessuna opzione di questa finestra sarà selezionabile. Se è stata eseguita, sicuramente sono disponibili i primi due gruppi (Analisi dei Carichi e Elaborazioni), mentre il terzo gruppo (Verifiche secondo D.M. 20.11.1987) è disponibile soltanto se le verifiche statiche del D.M. 20.11.1987 sono state eseguite: certamente eseguite lo sono nel caso di edifici nuovi (in muratura ordinaria o armata); nel caso di edifici esistenti, le verifiche statiche del D.M. 20.11.1987 possono essere state trascurate utilizzando l'apposita opzione della finestra 'Parametri di Calcolo', scheda 'Analisi Statica'.

Le opzioni non disponibili compaiono in luminosità ridotta.

Selezionando l'opzione: 'Pareti: Carichi da Solai e Pesi propri', vengono riportati in relazione anche **area, perimetro e carichi totali per ogni maglia di solaio**. Aree e carichi totali permettono immediati raffronti con valutazioni manuali delle varie zone di carico; i perimetri possono essere utili, ad esempio, per lo sviluppo lineare complessivo di cordoli che delimitano il contorno della maglia di solaio.

## B.3.2.1.4. SCHEDA 'ANALISI SISMICA'

**Stampa su file RTF**

Introduzioni | Dati | Analisi Statica | **Analisi Sismica**

☐ **Analisi Sismica**

☐ Forze Sismiche

☐ Coefficienti Sismici

☐ Dimensionamento Semplificato (D.M.16.1.1996)

☐ Verifiche in Fondazione

☐ Caratteristiche dell'Edificio

**Verifica di resistenza alle Azioni Ortogonali:**

☐ Verifiche a Ribaltamento

☐ D.M. 20.11.1987: Verifica a PressoFlessione

☐ Circ. n°21745 del 30.7.1981: Verifica a PressoFlessione

**Verifica di resistenza alle Azioni nel Piano:**

**- Piani Rigidi:**

☐ D.M. 20.11.1987: Verifica a Taglio

☐ Verifica a PressoFlessione

☐ Circ. n°21745 del 30.7.1981: Verifica a Taglio: Metodo Por

☐ Verifica a Taglio: Metodo PorFlex

☐ Verifica a PressoFlessione

Per Metodi Por e PorFlex:

☐ Stampa ridotta (solo Stati Limite Elastico e Ultimo)

**- Piani Deformabili:**

☐ D.M. 20.11.1987: Verifica a Taglio

☐ Verifica a PressoFlessione

☐ Circ. n°21745 del 30.7.1981: Verifica a Taglio

☐ Verifica a PressoFlessione

**- Verifica Semplificata:**

☐ Metodo VeT (Verifica a Taglio)

**Attuazione Legge 61/98:**

Analisi delle Condizioni di Regolarità: Calcolo del Coefficiente di

☐ Resistenza Convenzionale; Riepilogo Verifiche Sismiche (Coefficienti "C") [ Schede 3, 3c, 4c D.G.R. Umbria 5180/98 ]

**Analisi Sismica Muratura Armata:**

☐ Verifica a Taglio ☐ Verifica a PressoFlessione

OK Annulla

Fig. 4. Parametri di Stampa: scheda 'Analisi Sismica'.

Selezionando l'opzione 'Analisi Sismica', vengono automaticamente selezionati tutti gli argomenti disponibili contenuti nella scheda.

Se l'Analisi Sismica dell'edificio corrente non è stata ancora elaborata, nessuna opzione di questa finestra sarà selezionabile. Se è stata eseguita, le opzioni selezionabili corrisponderanno ai metodi di calcolo effettivamente applicati, in base alle impostazioni dei 'Parametri di Calcolo' (ad esempio, metodi del D.M. 20.11.1987 piuttosto che della Circ.21745 del 30.7.1981).

Le opzioni non disponibili compaiono in luminosità ridotta.

Selezionando l'opzione 'Attuazione Legge 61/98', verranno stampate in Relazione le tre sezioni seguenti:

1. **Analisi delle Condizioni di Regolarità** (dove controllare, ad esempio, i rapporti di rigidezza e di resistenza fra i piani);

2. **Calcolo del 'C' convenzionale;**

3. **Riepilogo delle Verifiche Sismiche, attraverso i coefficienti 'C'.** I coefficienti 'C' si riferiranno allo Stato corrente dell'edificio. Se si tratta di uno Stato Attuale, oppure di uno Stato di Progetto senza collegamento ad un corrispondente Stato Attuale (con specifica assente o non valida nel campo di input che richiede la struttura di confronto, vd.: Parametri di Calcolo, 'Parametri Vari (1)', Stato dell'edificio esistente)), allora alcuni dei coefficienti C sono nulli per default. Se si tratta invece di uno Stato di Progetto correttamente collegato allo Stato Attuale, tutti i coefficienti saranno quelli effettivi.

Il Riepilogo delle Verifiche Sismiche è direttamente consultabile anche dalla finestra del 'Rapporto di elaborazione' (par. B.3.3.2.), scegliendo il pulsante di comando: 'Sismica: Attuazione Legge 61/98'.



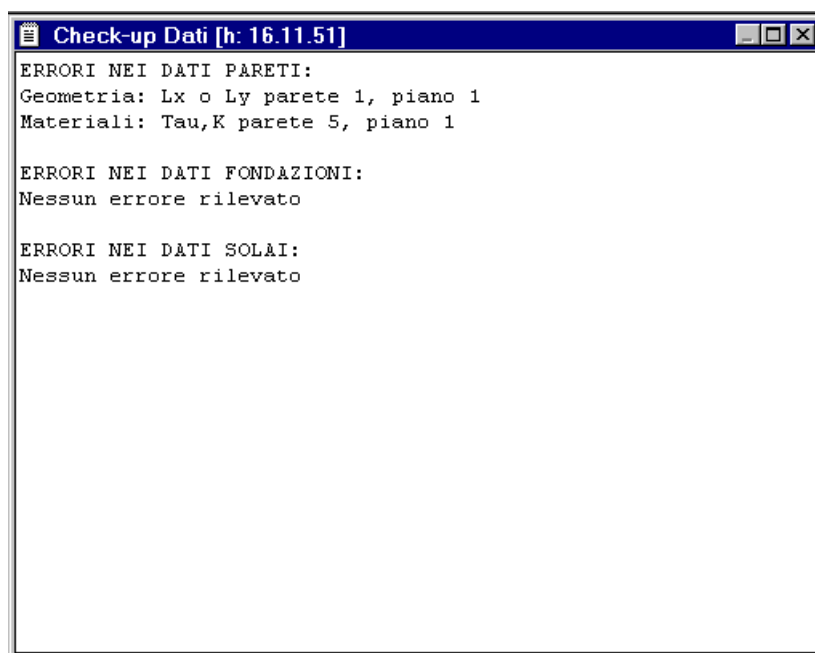
### B.3.3. Menu ESEGUI

In PC.M, per l'edificio corrente vengono eseguiti tutti i calcoli coerenti con le scelte effettuate. Ad esempio, avendo scelto l'analisi sismica secondo la Circ.21745 del 30.7.1981, non verranno eseguite le verifiche secondo il D.M. 20.11.1987.

Le verifiche non eseguite risulteranno in luminosità ridotta nel 'Rapporto di elaborazione'; alle verifiche eseguite, invece, corrisponderà un'indicazione positiva qualora la verifica sia soddisfatta (casella di colore verde) o una negativa altrimenti (casella rossa).

L'Analisi Statica e l'Analisi Sismica vengono effettivamente eseguite soltanto quando i dati sono stati completati: eventuali dati incompleti potrebbero interrompere l'esecuzione dell'analisi.

Prima di eseguire una qualunque analisi, PC.M provvede all'archiviazione automatica della configurazione corrente che si sta inviando al calcolo, ed al **check-up** dei dati. I risultati del check-up vengono presentati in una finestra di dialogo, di cui riportiamo un esempio in figura seguente.




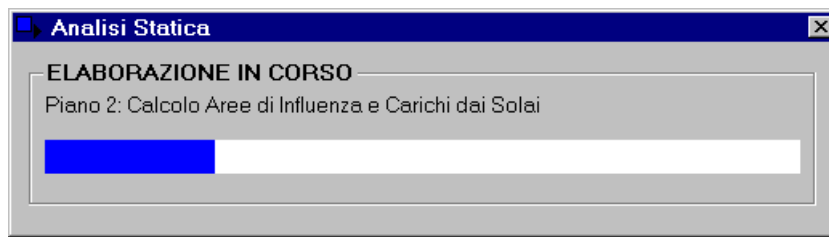
**Fig. 5.** Risultati del Check-up.

Qualora il check-up abbia rilevato errori, l'elaborazione di calcolo non viene eseguita. Si dovranno correggere gli errori rilevati, per eseguire con successo l'analisi.

Non tutti gli errori nei dati possono essere rilevati dal check-up: alcune incongruenze introdotte dall'utente possono non impedire l'inizio dell'elaborazione, ma provocare successivamente un'interruzione dell'elaborazione stessa. In caso di interruzione, PC.M genera un **messaggio di errore** che individua la fase di calcolo che non è stato possibile portare a termine: in casi di questo tipo, si controllino accuratamente la completezza e la correttezza dei dati inseriti.


Per ogni edificio, è necessario specificare obbligatoriamente i dati Edificio, Piani, Pareti, Fondazioni, Solai, secondo le specifiche descritte in dettaglio in questa Guida. L'assenza di alcuni di questi dati rende impossibile l'esecuzione dei calcoli.


**Analisi Statica ( F7 )** [ Barra degli Strumenti:  ] = Esegue l'Analisi Statica dell'edificio. In un'apposita finestra, viene presentata la barra di avanzamento (in colore blu), indicatrice delle fasi successive di analisi:



**Fig. 6.** Barra di avanzamento, indicatrice delle fasi successive di analisi.

Analoga finestra corrisponde all'Analisi Sismica (con barra in colore rosso).


Al termine dell'elaborazione, nella medesima finestra viene riportato il messaggio di **"Scrittura dati e risultati"** e la barra di avanzamento, in colore verde, corrisponde alla memorizzazione su file di dati e risultati: questa operazione viene eseguita in modo da poter rispondere immediatamente alle richieste di informazione sui disegni (Grafica 2D, pulsante grafico ) , presentando dati e risultati sotto forma di testo, per una loro consultazione dettagliata.

**Analisi Sismica ( F8 )** [ Barra degli Strumenti:  ] = Esegue l'Analisi Sismica dell'edificio. Prima dell'esecuzione della fase sismica vera e propria, viene comunque rieseguita l'Analisi Statica.

I comandi di esecuzione analisi (Analisi Statica e Analisi Sismica) del menu Esegui sono presenti anche nelle altre finestre di input dati (Piani, Pareti, Fondazioni, Solai) in modo da consentire l'esecuzione (o ri-esecuzione) dei calcoli direttamente dalla finestra attiva, senza l'obbligo di attivare la finestra Edificio. L'uso dei pulsanti grafici della barra degli Strumenti è comunque la via più rapida per l'esecuzione del comando.

**- pause per visualizzazione fasi di analisi** = Se attivato, consente un 'rallentamento' dell'avanzamento della barra indicatrice delle fasi successive dell'analisi, in corso di elaborazione. Poiché ad ogni fase corrisponde un 'titolo' (per esempio: Metodo Por, Verifica Fondazioni, ecc.) che indica il tipo di calcolo in corso, il rallentamento rende leggibili i titoli delle fasi successive. Per default, il comando è disattivato.

**- non mostrare messaggi intermedi** = Se attivato, nasconde eventuali i messaggi intermedi durante la fase di elaborazione. Nel caso di assenza dei Setti (ciò avviene normalmente nel calcolo degli edifici nuovi), selezionando questa opzione dal menu Esegui della finestra Edificio si evita il messaggio di impossibilità di esecuzione delle Verifiche a Ribaltamento, che altrimenti compare sia durante la fase statica, sia durante la fase sismica. Per default, il comando è attivato.

**Mostra Rapporto di Elaborazione** [ Barra degli Strumenti:  ] = Visualizza la finestra dove vengono presentati i risultati delle analisi: sinteticamente, alle verifiche è associato il colore verde se sono soddisfatte, il rosso altrimenti.


Se è stata eseguita solamente l'Analisi Statica, tutte le verifiche sismiche sono visualizzate in luminosità ridotta. Oltre all'informazione sulle verifiche soddisfatte o meno, vengono anche evidenziati i coefficienti 'C' dei domini di resistenza delle varie verifiche (il 'C' di una particolare verifica indica il valore del coefficiente sismico - e quindi della forza sismica - oltre il quale la verifica non è più soddisfatta).

Eventuali modifiche dei dati che richiedano un ricalcolo dell'edificio hanno l'effetto di cancellare l'eventuale precedente 'Rapporto di elaborazione'.

Il 'Rapporto di elaborazione' è funzionale ad una visualizzazione schematica immediata dei risultati; ovviamente per un approfondimento dettagliato del comportamento dell'edificio sotto le azioni in input, occorre utilizzare le rappresentazioni grafiche di PC.M, con le corrispondenti informazioni numeriche dettagliate, e le stampe delle relazioni.

Il 'Rapporto di elaborazione' viene mostrato automaticamente al termine di ogni esecuzione dei calcoli, se è attivo il comando di menu **'- automaticamente dopo l'elaborazione'**. Quando si riesegnano più volte i calcoli, in seguito per esempio a modifiche successive, magari volendo visualizzare immediatamente nelle finestre grafiche i corrispondenti risultati, la disattivazione della presentazione automatica del 'Rapporto di elaborazione' velocizza la visualizzazione dei risultati.

Il 'Rapporto di elaborazione' viene descritto in dettaglio al paragrafo B.3.3.2.

**Parametri di Calcolo ( F11 )** [ Barra degli Strumenti:  ] = Apre la finestra di dialogo corrispondente, dove si selezionano le opzioni secondo le quali eseguire l'analisi. Nel paragrafo seguente, i Parametri di Calcolo vengono descritti in dettaglio.

**Parametri di Calcolo standard** = Reinizializza i parametri di calcolo, utilizzando le impostazioni predefinite di PC.M.

### **B.3.3.1. PARAMETRI DI CALCOLO**

Nella finestra di dialogo 'Parametri di Calcolo' si possono specificare i valori di alcuni parametri che determinano lo svolgimento dei calcoli di PC.M. PC.M presenta, per questi parametri, valori di default che possono essere cambiati qualora si desideri impostare diversamente il calcolo. Per l'Edificio corrente, essi vengono archiviati insieme a tutti gli altri dati, e quindi ripristinati quando tale Edificio viene riaperto. Dopo eventuali modifiche, per confermare l'insieme dei dati visualizzati, selezionare il pulsante di comando 'OK'. Con il pulsante di comando 'Annulla' vengono invece annullate le eventuali modifiche apportate, ritornando ai valori dei parametri precedenti l'apertura della finestra di dialogo.

La finestra 'Parametri di Calcolo' si compone di **sei schede (Analisi Statica, Analisi Sismica, Parametri Vari (1), Parametri Vari (2), Muratura Armata, Avanzate)**; nei paragrafi seguenti analizziamo in dettaglio ciascuna scheda.

## B.3.3.1.1. SCHEDA 'ANALISI STATICA'

**Parametri di Calcolo**

Analisi Statica | Analisi Sismica | Parametri Vari (1) | Parametri Vari (2) | Muratura Armata | Avanzate

**Schema statico per Analisi Fondazioni**

☐ Carichi Locali (fondazioni non collaboranti tra loro)

☐ Tensioni uniformi sotto fondazioni con uguale Sigla

☒ Fondazioni su Piano Rigido (travi o platea)

**Azione del Vento**

(valori in kg/mq)

Pressione =       Depressione =

**Per Edifici Esistenti**

Trascurabilità delle Verifiche Statiche secondo il D.M. 20.11.1987: Verifiche a Compressione [ per

☒ Carichi Verticali ]; Verifiche a PressoFlessione e a Taglio [ per Carichi Orizzontali da Vento ] ( verifiche obbligatorie per gli edifici nuovi )

Fig. 7. Parametri di Calcolo: scheda 'Analisi Statica'.

\* **Schema statico per Analisi Fondazioni** = Indica la modalità di analisi delle fondazioni: Carichi Locali (fondazioni non collaboranti tra loro), oppure: Fondazioni su Piano Rigido (travi o platea).

Nel caso di **Carichi Locali**, ogni parete trasmette alla fondazione il proprio carico statico, indipendentemente dalle altre.

E' possibile selezionare l'opzione: "**Tensioni uniformi** sotto fondazioni con uguale Sigla". L'attribuzione della stessa Sigla a più elementi di fondazione, e la contemporanea selezione di questo parametro, consentono l'uniformizzazione della tensione sotto tali fondazioni.

Nel caso di **Piano Rigido**, il piano di fondazione viene considerato rigido ('sezione' di fondazione, formata dalle impronte di tutte le fondazioni). Pertanto, il carico totale dell'edificio è visto come una risultante applicata nel centro di pressione (baricentro dei carichi verticali), che determina un piano di tensione sotto le fondazioni. In questo caso, è anche possibile la determinazione del nocciolo d'inerzia.

In ogni caso, gli effetti sismici sulla fondazione sono valutati considerando l'effetto flessionale (momento ribaltante prodotto dalla risultante delle forze sismiche, considerando il coefficiente  $\beta_2=1$ ) sulla 'sezione' di fondazione, la quale viene analizzata con gli algoritmi della Geometria delle Masse, al fine di determinare le

direzioni principali, ovvero gli assi Csi:  $\xi$ , Eta:  $\eta$ , intorno ai quali si ha la minima e la massima inerzia. L'effetto sismico verrà valutato nelle due direzioni, e nei due versi (+Csi, -Csi; +Eta, -Eta).

\* **Carichi G,Q e Forze F specificati nei Dati Piani** = Indica se i carichi che sono stati inseriti direttamente nella tabella Dati Piani sono aggiuntivi o sostitutivi rispetto a quelli calcolati automaticamente dalle maglie di solaio. I carichi direttamente inseriti nei Dati Pareti sono, invece, sempre aggiuntivi.

\* **Azione del Vento: Pressione, Depressione** = Indica il valore dell'azione del vento. Tale informazione viene riportata solo nel caso che le Verifiche Statiche secondo il D.M. 20.11.1987 siano attivate: in caso negativo, infatti, l'azione del vento non riveste alcun ruolo nell'analisi dell'edificio.

\* **Per Edifici Esistenti: Trascurabilità delle Verifiche Statiche secondo il D.M. 20.11.1987** = Indica se vengono eseguite le Verifiche a Compressione [ per Carichi Verticali ]; Verifiche a PressoFlessione e a Taglio [ per Carichi Orizzontali da Vento ]. Queste verifiche, obbligatorie per gli edifici nuovi, possono essere trascurate nel caso di analisi sismica di edifici esistenti qualora si stimi che le sollecitazioni prodotte da forze orizzontali di natura sismica siano superiori rispetto alle corrispondenti dovute a vento. Peraltro, l'azione del vento non viene cumulata con l'azione sismica ( $\psi=0$ , punto B.8.2.).

## B.3.3.1.2. SCHEDA 'ANALISI SISMICA'

**Parametri di Calcolo**

Analisi Statica | **Analisi Sismica** | Parametri Vari (1) | Parametri Vari (2) | Muratura Armata | Avanzate

**Riferimento Normativo per le Verifiche Sismiche**

☐ D.M. 20.11.1987  
"Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento"

☒ Circ. Min. LL.PP. n°21745 del 30.7.1981  
"Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma"

**Azioni Sismiche**

Grado di Sismicità S =

Coefficiente di Intensità Sismica di riferimento:  
 $C_{rif} = (S - 2) / 100 = 0.07$

Coefficiente di Sicurezza nei confronti dell'Adeguamento Sismico C,Sic =

[ = 1.00 per interventi di Adeguamento;  
= 0.65 per interventi di Miglioramento secondo la Legge 61 del 30.3.1998 ]

Risultato:  $C_{Sic} * C_{rif} = 0.046$

Coefficiente di Risposta R =

Coefficiente di Fondazione (eps, Fa) =

Coefficiente di Struttura (beta).1 =

Coefficiente di Struttura (beta).2 =

Coefficiente di Protezione I =

Risultante delle forze sismiche:  $F = K * W$   
Dai Coefficienti Sismici specificati, risulta:  
 $K = C * R * (eps) * (beta).1 * (beta).2 * I = 0.182$

Quota di riferimento per il calcolo dei coefficienti di distribuzione delle forze di piano (rispetto allo 0.00 assoluto = intradosso del piano di fondazione) =

**Definizione Masse di Piano**

A B C

☒ Piani Completi (A)  
☐ Fasce Medie (B)  
☐ Fasce Medie (C)

☒ Trascurabilità masse agenti sul piano di fondazione [ per schemi (A) e (C) ]

**Per Verifiche a Taglio**

**Sezione di calcolo**  
( Per tutte le Verifiche a Taglio, Statiche e Sismiche )

☐ In sommità della parete  
☐ A metà altezza (consigliato) ☒ Alla base della parete

**Per Verifiche Sismiche secondo Circ.n°21745 del 30.7.1981**

☐ Multiplicatore 0.9 per Taglio Ultimo (p.3.1. Append. alla Circ.)  
☒ Por / PorFlex : Stato Limite Ultimo al Collasso prima parete

**Direzioni di Analisi Sismica**

Angolo con asse X (  $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$  )  
(verifica per  $\alpha^\circ$  e per  $\alpha^\circ + 90^\circ$ ):  $\alpha^\circ =$

[  $\alpha^\circ = 90^\circ$  E;  $\alpha^\circ + 90^\circ = 0^\circ$  N ]

Passo angolare per Dominio di Resistenza (  $1^\circ \leq \text{passo} \leq 45^\circ$  ):  
per: Circ.'81 rigidi (Por) e deform.:  per: Circ.'81 rigidi (PorFlex)=   
D.M.'87 rigidi e deform.=

OK Annulla

Fig. 8. Parametri di Calcolo: scheda 'Analisi Sismica'.

\* **Riferimento Normativo per le Verifiche Sismiche** = Indica se si è optato per l'analisi secondo la Circ. Min. LL.PP. n°21745 del 30.7.1981 oppure secondo il D.M. 20.11.1987.

\* **Azioni Sismiche** (Coefficienti Sismici):

**Grado di Sismicità S** = Ha valore 6, 9 o 12 a seconda della classificazione sismica del Comune dove l'edificio corrente è ubicato.

**Coefficiente di Intensità Sismica di riferimento  $C_{rif} = (S-2) / 100$**  = Coefficiente di intensità sismica di riferimento. Non è un dato in input: esso deriva direttamente dal valore del Grado di Sismicità S.

**Coefficiente di Sicurezza nei confronti dell'Adeguamento Sismico C,Sic** = Permette di definire un grado di sicurezza nei confronti dell'Adeguamento Sismico.

Per i consueti interventi di Adeguamento: C,Sic=1.00.

Per interventi di Miglioramento secondo la Legge 61 del 30.3.1998: C,Sic=0.65. Il prodotto: **C,Sic \* C,Rif** indica il valore del coefficiente C corrispondente all'azione sismica che l'edificio deve essere in grado di sostenere con tutte le verifiche soddisfatte (si intendono le verifiche significative per la configurazione in esame;

alcuni metodi, infatti, possono essere o meno applicati a seconda della schematizzazione dell'edificio: ad esempio, il Metodo Por non verrà eseguito nel caso di edificio con impalcati tutti deformabili).

**Coefficiente di Risposta R** = Coefficiente di risposta, dipendente dal periodo fondamentale di vibrazione. Per le strutture in muratura, normalmente  $R = 1$ .

**Coefficiente di Fondazione (eps:  $\epsilon$ , Fa)** = Assume valore  $\geq 1.00$  in dipendenza delle caratteristiche geotecniche del terreno. Si ricorda che per terreni compressibili, questo coefficiente può essere aumentato fino ad 1.30. Il suo valore sarà comunque, ovviamente, quello ritenuto più opportuno dal progettista conformemente alle informazioni di tipo geologico-geotecnico sul terreno di fondazione dell'edificio; oppure, sarà definito dalla microzonazione della zona di ubicazione dell'edificio.

**Coefficienti di Struttura  $\beta_1$  e  $\beta_2$**  = I coefficienti di struttura, secondo la Normativa vigente, assumono normalmente seguenti valori:

- per gli edifici esistenti:

$\beta_1 = 2$ , tiene conto delle caratteristiche di duttilità delle costruzioni in muratura;

$\beta_2 = 2$ , tiene conto delle modalità di verifica a rottura.

Il valore:  $\beta = \beta_1 * \beta_2 = 4$  è inoltre prescritto dalla Circ.Min.LL.PP. n.21745 del 30.7.1981, punto 3.1.1, in accordo quindi con il metodo di verifica sismica, dove si adotta una ipotesi di comportamento elasto-plastico con controllo della duttilità;

- per gli edifici nuovi:

$\beta_1 = 2$ ,

$\beta_2 = 1$ : (punto C.5.2., Circ.Min.LL.PP. n.65 del 10.4.1997) questa scelta è coerente con la riduzione a 1/3 della resistenza caratteristica a taglio valutata secondo il D.M. 20.11.1987.

Questi valori devono essere specificati per gli edifici nuovi in muratura ordinaria e in muratura armata: PC.M provvederà automaticamente, in caso di edificio in muratura armata, ad applicare i corretti coefficienti di struttura ( $\beta = 1.4$  o  $1.5$ ); e automatica è anche la valutazione di  $b$  in caso di presenza di un piano interamente in c.a. o acciaio.

**Coefficiente di Protezione I** = Per le opere la cui resistenza al sisma sia di importanza primaria per le necessità della protezione civile, deve porsi:  $I = 1.4$ . Per le opere che presentano un particolare rischio per le loro caratteristiche d'uso, si pone:  $I = 1.2$ . In tutti gli altri casi, si assume  $I = 1.0$ .

**K** = Coefficiente moltiplicatore della massa sismica per ottenere la risultante delle forze sismiche:

$F = K W = C * R * (\text{eps}) * (\beta_1) * (\beta_2) * I * W$ , e dunque:  $K = C * R * (\text{eps}) * (\beta_1) * (\beta_2) * I$ .

Non è un dato in input; esso deriva direttamente dai valori dei parametri precedenti.

**Quota di riferimento** per il calcolo dei coefficienti di distribuzione delle forze di piano (rispetto allo 0.00 assoluto = intradosso del piano di fondazione) = Se 0.00, la quota di riferimento coincide con l'intradosso delle fondazioni (valutato tramite le altezze 'H piano' specificate nei Dati Piani). Se si desidera, ad esempio, far iniziare il computo delle azioni sismiche a partire dal piano terra (in presenza di un piano interrato alto 2.70 m.), sarà sufficiente specificare: 2.70 per la Quota di riferimento.

\* **Definizione Masse di Piano** = In corrispondenza di un certo impalcato, la massa competente viene determinata con riferimento:

- o all'intera altezza delle pareti su cui l'impalcato stesso si imposta (piani completi),

- oppure a metà altezza sovrastante e metà sottostante (fasce medie): in questo caso, al piano 1 (generalmente il piano terreno) le masse possono o meno includere la totalità dell'altezza delle pareti dall'imposta sulle fondazioni.

E' possibile considerare o meno le masse agenti sul piano di fondazione.

\* **Per Verifiche a Taglio: Sezione di calcolo** = Questa opzione riguarda tutte le verifiche a taglio, sia Statiche che Sismiche. La sollecitazione di taglio (azione orizzontale competente alla parete) non dipende da questa scelta; cambia invece la tensione normale, e conseguentemente la resistenza a taglio della parete. E' possibile eseguire la verifica in sommità, a metà altezza o alla base della parete, includendo o meno, quindi, la totalità o parte del peso proprio.

\* **Per Verifiche a Taglio: Per Verifiche Sismiche secondo Circ.n°21745 del 30.7.1981** = Si considerano i seguenti parametri:

- **Moltiplicatore 0.9 per Taglio Ultimo** = Permette la riduzione del valore del Taglio Ultimo, operando a favore

di sicurezza (punto 3.1. Appendice alla Circ.).

**- Por/PorFlex: Stato Limite Ultimo al Collasso della Prima Parete** = In caso affermativo, lo Stato Limite di Collasso della prima parete viene comunque identificato con lo Stato Limite Ultimo.

Si osservi che nell'applicare il calcolo tipo Por il collasso della prima parete può non coincidere con il limite ultimo: ciò accade qualora la forza reattiva continui a crescere, nel corso del procedimento passo-passo, anche dopo quel collasso. In tal caso, quindi, si manifesta uno Stato Limite di Collasso Prima Parete e successivamente un distinto Stato Limite Ultimo (che si verifica al collasso di altre pareti).

\* **Per Verifiche a Taglio: Direzioni di Analisi Sismica** = E' richiesto in input l'**angolo** che la direzione di verifica sismica forma con l'asse +X ( $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ ). Si ricorda che la verifica sismica viene sempre eseguita con riferimento a due direzioni tra loro ortogonali. Nel caso di verifica nelle direzioni X e Y assunte come sistema di riferimento globale (e quindi si specifica:  $\alpha=0^\circ$ ), si ha la verifica per  $\alpha=0^\circ$  e per  $\alpha+90^\circ=90^\circ$ .

Viene inoltre richiesto il **passo angolare per la determinazione del Dominio di Resistenza**. Questo parametro definisce il passo secondo cui viene suddiviso l'angolo giro per la costruzione del Dominio di Resistenza, per il metodo di analisi globale a taglio utilizzato. Per il Metodo PorFlex, data la complessità dei calcoli, viene richiesto un valore specifico, che può quindi essere ad esempio più elevato dell'altro.

Per ognuna delle direzioni individuate da tale scansione, viene eseguita la verifica a taglio globale; l'unione dei valori dei coefficienti di sicurezza determina una figura geometrica definita, appunto, Dominio di Resistenza. Nel caso del Por il dominio si articola in tre regioni (zona elastica - in verde, zona di fessurazione - in giallo, e zona di collasso - in rosso).



## B.3.3.1.3. SCHEDA 'PARAMETRI VARI (1)'

**Parametri di Calcolo**

Analisi Statica | Analisi Sismica | **Parametri Vari (1)** | Parametri Vari (2) | Muratura Armata | Avanzate

**Stato dell'edificio esistente**

☐ Stato di fatto (Attuale, o Iniziale) (edifici esistenti), oppure: unico Stato analizzato (ad es.: edifici nuovi)

☒ Stato modificato (di Progetto, o Finale) (ed. esistenti). Nome del file dell'edificio allo Stato Iniziale (con il quale si confrontano i risultati del calcolo):

PG-AT-81

**Orientamento Nord dell'edificio**

Angolo  $n^\circ$  rispetto all'asse +X ( $0^\circ \leq n^\circ < 360^\circ$ , antiorario) = 90

**Per Azioni Orizzontali**

☐ Contributo Rigidezza Trasversale

☐ Contributo Elementi in C.a.-Acciaio

☒ Assemblaggio pareti con uguali Sigla, Allineamento

☐ Mensole Accoppiate (Vento, Muratura Armata)

**Per Verif. a Taglio: D.M.20.11.1987; Mur. Armata**

Prescindere dalla Parzializzazione:

☐ In nessun caso

☐ Sulle pareti scariche ( $N=0$  in sommità)

☒ Su tutte le pareti

**Per Azioni Ortogonali**

Verifiche a Compressione secondo D.M. 20.11.1987 e Verifiche Sismiche a PressoFlessione per Azioni Ortogonali: Per le pareti vincolate ai piani, verificate sull'altezza di interpiano:

☒ Eseguire le verifiche solo nelle sezioni di Mezzeria (non in Sommità e alla Base)  
[ per la Mezzeria, si usa sempre il denominatore specificato per ogni singola parete nei Dati Pareti ]

☐ Schematizzazione a Piastra (vincolamento sup.e inf., e appoggi laterali ai muri di irrigidimento trasversali)

**Eseguire le Verifiche Sismiche a PressoFlessione su:**

☐ Pareti non appartenenti a Setti ( $h$  = interpiano)

☒ Pareti appartenenti a Setti ( $h$  = interpiano)

☐ Setti (verifica a 'trave continua' con appoggi in corrispondenza dei piani con vincoli efficaci)

**Per Azioni Complanari**

Per Verifiche Sismiche a PressoFlessione per Azioni Complanari, secondo Circ.n°21745 del 30.7.1981, considerare la muratura:

☒ Interamente Reagente a Trazione e a Compressione

☐ Parzializzata, con zona Reagente a Trazione fino al limite di resistenza a trazione

Per le Verifiche Statiche e Sismiche, è possibile limitare l'analisi del comportamento a PressoFlessione al caso di pareti snelle [ secondo Tassios, quando:  $(h/b) > 2$  ]:

☐ Sottoporre a Verifica solo le pareti snelle, aventi rapporto  $(h/b)$  superiore a: 2.0

OK Annulla

Fig. 9. Parametri di Calcolo: scheda 'Parametri Vari (1)'.

\* **Stato dell'edificio esistente** = Per un edificio esistente, si definisce se si tratta di uno Stato Attuale o di uno Stato di Progetto. Nel caso di Stato di Progetto, per effettuare il confronto con lo Stato Attuale (ad esempio, per confrontare i coefficienti 'C' nell'ambito degli interventi di ricostruzione in Umbria e Marche) occorre specificare il nome del file di riferimento dell'edificio allo Stato Attuale (da tale file verranno recuperati i valori di confronto).

Nel caso di un edificio nuovo, si fa corrispondere l'unico modello analizzato ad uno 'Stato di fatto' in modo da svincolare il calcolo da confronti con altri modelli.

\* **Orientamento Nord dell'edificio** = Angolo  $n^\circ$  rispetto all'asse +X ( $0^\circ \leq n^\circ < 360^\circ$ , antiorario).

Si osservi che tutti i risultati sismici sono espressi anche in coordinate geografiche, in base all'angolo Nord. In tal modo il risultato non viene riferito al sistema XY adottato (puramente convenzionale), ma alla sua reale ubicazione geografica. Per esempio, ipotizzando il Nord a  $90^\circ$  per un certo, può risultare che la direzione più sfavorevole è a  $44:45^\circ$  NE: un'onda sismica proveniente da tale direzione investirebbe l'edificio chiamandone in causa la minima resistenza a taglio, avrebbe cioè l'effetto di sollecitazione maggiore.

Collegando il luogo di ubicazione dell'edificio alle più vicine zone sismogenetiche, è interessante osservare se le direzioni più probabili per un futuro evento sismico possono venire a coincidere con quelle di minor resistenza del fabbricato.

Per eventi già verificatisi, un esito positivo a questa indagine può giustificare un quadro fessurativo particolarmente rilevante.

\* **Per Azioni Orizzontali:** è possibile che siano attivati i seguenti parametri:

**Contributo Rigidezza Trasversale** = Se non trascurabile, le pareti vengono considerate dotate di rigidezza trasversale durante le verifiche Por/PorFlex. Ciò significa, ad esempio, che una parete posta lungo X presenta rigidezza non nulla anche per azione orizzontale in direzione Y (cioè ad essa ortogonale).

**Contributo Elementi in C.a.-Acciaio** = In caso affermativo, la rigidezza che compete agli eventuali elementi verticali di controvento in c.a. e/o in acciaio viene computata nel calcolo; altrimenti, la resistenza alle azioni orizzontali viene affidata alla sola muratura. Selezionando / deselezionando questo parametro è possibile, al di là comunque del rispetto della Normativa (che in generale, nel caso di Strutture miste prescrive che le azioni sismiche siano integralmente affidate alle murature), analizzare il contributo effettivo degli elementi in c.a. / acciaio. Anche qualora il calcolo formale definitivo debba prescindere dal contributo degli elementi in c.a. o acciaio, si ritiene importante - nel corso dello studio del progetto - valutarne, ad esempio, le forze che corrisponderebbero ad una loro compartecipazione oppure la capacità di spostare il centro delle rigidezze (certamente notevole nel caso di pareti di taglio in c.a.)

**Assemblaggio pareti con uguale Sigla, Allineamento** = Nel caso di pareti aventi uguale Sigla, poste lungo uno stesso Allineamento, la rigidezza viene ottenuta dall'assemblaggio, allo scopo di non perdere l'informazione strutturale della continuità.

L'opzione di 'Assemblaggio delle pareti' va comunque usata con cognizione di causa, facendo sempre attenzione a quali pareti, lungo lo stesso allineamento, hanno la stessa sigla. Generando pareti fisicamente separate ma con ugual sigla si potrebbe, ad esempio, assemblare due pareti in realtà non contigue.

Per tale motivo, nei Parametri di Calcolo dell'edificio di default, questa opzione di assemblaggio è inizialmente disattivata.

**Schema a Mensole Accoppiate (Vento, Muratura Armata)** = Per il calcolo del momento sismico, negli edifici in **muratura armata** è possibile utilizzare lo schema di 'Mensole Accoppiate', secondo il quale le pareti a tutt'altezza dell'edificio vengono riviste come 'mensole', tra loro collaboranti, incastrate alla fondazione e con estremo libero alla sommità dell'edificio.

In tal caso, la componente flessionale della rigidezza viene assunta automaticamente pari a  $3 (3EJ/h^3)$ ; diversamente, si utilizza il valore competente al vincolo flessionale specificato nei Dati Pareti.

In entrambi i casi, le altezze  $h$  utilizzate nel calcolo della rigidezza sono le altezze di interpiano: questa scelta può sembrare incoerente con il caso di schema a 'Mensole Accoppiate', dove potrebbe essere considerata l'altezza complessiva della parete (quindi, al piano 1 di calcolo - normalmente, il piano terra - un'altezza coincidente con l'intera altezza dell'edificio). In realtà, per trattare casi di edifici aventi configurazioni plano-altimetriche non perfettamente corrispondenti tra i vari piani (per esempio: corpi volumetrici superiori arretrati rispetto ai sottostanti, fondazioni su piani sfalsati), è preferibile adottare come riferimento, per ogni parete, l'altezza della parete al piano di calcolo considerato. Trattandosi di azioni complanari, viene utilizzata l'altezza di calcolo 'H calc' come specificata in input nei Dati Pareti.

Si osservi che qualora l'edificio sia perfettamente regolare (piani coincidenti ai vari piani, fondazioni tutte alla stessa quota) la ripartizione dell'azione sismica effettuata sulle pareti in base alle rigidezze, comporta gli stessi risultati sia facendo riferimento all'altezza totale della parete sia a quella di interpiano (le altezze variano tutte secondo la stessa legge e quindi conducono a coefficienti di ripartizione coincidenti).

Per un certo piano, il tagliante sismico è dato dalla sommatoria delle forze sismiche di piano sovrastanti, fino al piano considerato. L'azione sismica viene ripartita tra le pareti, generando una forza orizzontale complanare alla parete. Nello schema di 'Mensole Accoppiate', il momento sismico competente al piano è calcolato come momento prodotto dalle forze sismiche sovrastanti; l'azione flessionale nelle pareti si ottiene dalla ripartizione di tale momento.

Nel caso degli edifici su **piani sfalsati**, nel calcolo del momento agente a un certo piano, per i piani superiori si escluderanno le parti di carico fondato superiormente. Infatti, l'azione sismica è proporzionale alle masse oscillanti e quindi è possibile ipotizzare che i carichi fondati superiormente non influiscano sulle sollecitazioni trasmesse ai piani inferiori.

Nel caso che non sia scelto lo schema di "Mensole Accoppiate", la parete viene vista flessionalmente vincolata nel piano, con schema corrispondente al dato sul vincolo flessionale specificato nei Dati Pareti.

Questa possibilità di diversa schematizzazione riguarda anche il calcolo a **Vento** dell'edificio (analisi statica secondo D.M. 20.11.1987). In tal caso, per edifici su piani sfalsati non vengono operati riduzioni dovute a parti superiori fondate, in quanto l'azione non è proporzionale alle masse ma alle superfici direttamente investite: questa scelta è a favore di sicurezza, in quanto sarebbe possibile anche ipotizzare che l'azione del vento corrispondente a zone di edificio fondate superiormente si scarichi sulle fondazioni superiori senza influire sulle sollecitazioni dei piani sottostanti.

\* **Per Verifiche a Taglio: D.M. 20.11.1987; Muratura Armata** = E' possibile prescindere dalla parzializzazione: in nessun caso, oppure sulle pareti scariche (aventi sforzo normale nullo in sommità), oppure su tutte le pareti.

Le Verifiche a PressoFlessione prevedono la possibilità di parzializzazione delle sezioni trasversali delle pareti murarie, con definizione di una zona reagente a compressione (dove si controlla il massimo valore della tensione nella muratura) e, nel caso della muratura armata, di una zona tesa dove le armature sono soggette a trazione. Se non si prescinde dalla parzializzazione, le Verifiche a Taglio sono svolte considerando la tensione tangenziale media calcolata distribuendo la forza orizzontale sulla parte reagente della sezione trasversale; diversamente, la tensione viene calcolata sull'intera sezione trasversale.

Il fatto di prescindere dalla parzializzazione sulle pareti scariche risolve un problema che altrimenti conduce alla non verifica di un'ampia classe di edifici. Infatti, all'ultimo piano di un edificio (può anch'essere l'unico piano fuori terra di una modesta costruzione), le pareti parallele all'orditura del solaio di copertura non sono caricate da sforzo normale. N è quindi nullo nella loro sezione di sommità. Poiché comunque le pareti assorbono una quota parte dell'azione orizzontale di piano (vento o sisma), cui corrisponde un momento flettente, ciò comporta un'impossibilità di equilibrio a causa della mancanza di resistenza a trazione (D.M. 20.11.1987), e quindi un'impossibilità di definizione dell'area reagente per la verifica a taglio.

Ovviamente questa circostanza si può verificare se nella scheda 'Analisi Sismica' dei 'Parametri di Calcolo' la sezione di calcolo per le verifiche a taglio è scelta coincidente con la sommità della parete.

\* **Per Azioni Ortogonali.** Per Verifiche a Compressione secondo D.M. 20.11.1987 e per Verifiche Sismiche a PressoFlessione per Azioni Ortogonali (pareti vincolate ai piani, verificate sull'altezza  $h$  = interpiano): è possibile eseguire le verifiche solo nelle sezioni di Mezzeria, utilizzando il denominatore specificato per ogni singola parete nei Dati Pareti, prescindendo quindi dagli effetti flessionali in sommità e alla base.

E' inoltre possibile **eseguire le Verifiche Sismiche a PressoFlessione** su:

- Pareti non appartenenti a Setti ( $h$  = interpiano)
- Pareti appartenenti a Setti ( $h$  = interpiano)
- Setti (verifica a 'trave continua' a tutta altezza dell'edificio, con appoggi in corrispondenza dei piani con vincoli efficaci).

C'è infine la possibilità di considerare il **comportamento a piastra** delle pareti sollecitate da azioni orizzontali agenti ortogonalmente rispetto al proprio piano medio. Lo schema a piastra, generato dal considerare la parete vincolata non solo superiormente e inferiormente, ma anche ai lati (nel caso siano presenti gli irrigidimenti trasversali), conduce a una riduzione dell'eccentricità convenzionale del carico agente o equivalentemente a una riduzione del momento in direzione verticale.

Alle **Azioni Ortogonali** è dedicato il **paragrafo B.3.3.1.3.1.**, dove alcune considerazioni applicative evidenziano il significato della schematizzazione a piastra.

\* **Per Azioni Complanari:** Per le **Verifiche Sismiche a PressoFlessione per Azioni Complanari secondo Circ.n°21745 del 30.7.1981**, il calcolo può essere eseguito in una delle seguenti due ipotesi:

- (a) Sezione interamente reagente a trazione e a compressione;
- (b) Sezione parzializzata, con zona reagente a trazione fino al limite di resistenza a trazione.

Nel caso (a) si adotta l'ipotesi di comportamento lineare a sezione interamente reagente; le massime tensioni di trazione e di compressione devono essere confrontate con i rispettivi valori di riferimento.

Nel caso (b) si considera la sezione interamente reagente a patto che la massima tensione di trazione non superi la resistenza a trazione: oltre tale valore, la sezione si parzializza; la massima tensione di trazione resta pari alla resistenza a trazione, mentre la massima tensione di compressione deve essere confrontata con la corrispondente resistenza.

Per quanto riguarda la parzializzazione delle **sezioni parzialmente reagenti a trazione**, per murature a bassa esistenza caratteristica a compressione è probabile che il limite di resistenza della sezione si attinga a compressione, con sezione ancora tutta reagente (pur parzialmente tesa), prima che si parzializzi (cioè prima che vi sia una zona a tensione di trazione superiore alla resistenza a trazione, e quindi non reagente). In tal caso, il coefficiente C corrispondente alla Verifica a PressoFlessione Complanare può non aumentare passando dall'ipotesi di sezione totalmente reagente a sezione parzialmente reagente a trazione. Dove invece la resistenza caratteristica a compressione è più elevata, il beneficio dello schema di parziale resistenza a trazione è evidente (incremento del dominio di resistenza, ossia del coefficiente sismico C che può essere incassato in sicurezza dalla parete).

Per tutte le verifiche a PressoFlessione per Azioni Complanari (statiche [vento, D.M. 20.11.1987] e sismiche [D.M. 20.11.1987 e Circ.n°21745 del 30.7.1981]), un apposito parametro dà la possibilità di **condurre la verifica solo sulle pareti aventi una snellezza superiore ad un minimo prefissato** a piacere. Un valore consigliato per il minimo di snellezza che possa generare effetti flessionali è: 2.00 (Tassios, [7]).

Per quanto riguarda le conseguenze nel calcolo di tale scelta, si ottengono Verifiche a PressoFlessione Complanare più facilmente soddisfatte, perché estese a un numero limitato di pareti.

Ciò significa, che dal punto di vista Sismico i coefficienti C corrispondenti ai domini di resistenza delle Verifiche a PressoFlessione per Azioni Complanari (secondo il D.M. 20.11.1987 o la Circolare n.21745 del 30.7.1981, per entrambi nei casi di piani rigidi o deformabili) aumentano, conducendo a risultati più favorevoli e aiutando così a superare l'ostacolo dell'intrinseca difficoltà di soddisfazione di questa verifica, peraltro prevista esplicitamente dall'attuazione della Legge 61/98.

Alle **Azioni Complanari** è dedicato il **paragrafo B.3.3.1.3.2.**, dove alcune considerazioni applicative evidenziano il significato della limitazione della verifica alle sole pareti snelle.

#### **B.3.3.1.3.1. PRESSOFLESSIONE PER AZIONI ORTOGONALI, SCHEMATIZZAZIONE A PIASTRA**

Uno dei punti problematici della verifica degli edifici in muratura è la verifica locale della parete per Azioni Ortogonali, prevista:

- sia nell'ambito statico dal D.M. 20.11.1987, e quindi sicuramente obbligatoria per gli edifici nuovi (almeno per quelli non verificati a Dimensionamento Semplificato),
- sia nell'ambito sismico dal D.M. 16.1.1996.

Le verifiche basate sul D.M. 20.11.1987 ignorano la resistenza a trazione; quelle sismiche condotte secondo la Circ.21745 del 30.7.1981 prevedono una minima resistenza a trazione.

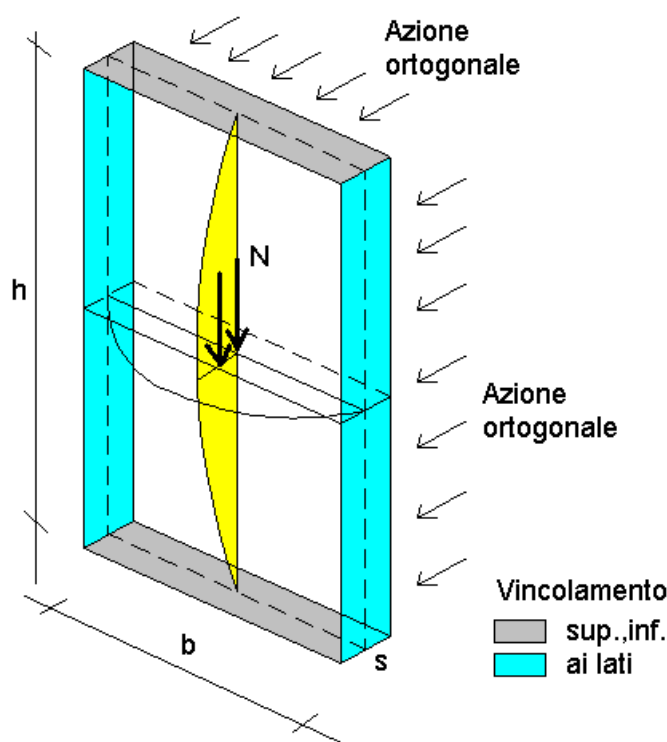
In ognuno di questi casi, la difficoltà della verifica nasce dall'elevato valore del momento flettente verticale, che corrisponde ad una eccessiva eccentricità dello Sforzo Normale agente sulla parete, tale da portare o a situazioni non verificabili (eccentricità eccessiva) o a tensioni troppo elevate.

Il problema si riscontra principalmente in pareti poco caricate, dove l'effetto stabilizzante di N è scarso; l'evidenza costruttiva degli edifici, particolarmente quella dei nuovi, mostra che meccanismi di collasso di questo tipo dovrebbero essere molto rari.

Invece, applicando alla lettera un calcolo di tipo monodimensionale (parete rivista come 'trave' di interpiano, dalla base del piano alla sommità, vincolata alle basi - addirittura con cerniere, secondo il metodo dell'Articolazione previsto dal D.M. 20.11.1987), la verifica appare molto spesso problematica.

Sfruttando una possibilità indicata dal D.M. 20.11.1987, il muro può tuttavia essere considerato vincolato non solo alle basi, ma anche lateralmente, almeno laddove esistono muri di irrigidimento trasversali.

In figura seguente è riportato uno schema della parete, ed in giallo il momento verticale che produce eccentricità di N.



**Fig. 10.** Vincolamento della parete soggetta ad Azioni Ortogonali.

Rivedendo la parete come piastra soggetta all'azione ortogonale (sia essa di origine "statica", come nel caso del vento, o di natura sismica), il momento verticale è esprimibile mediante la relazione:

$$M_{\text{vert}} = q h^2 / x * [ 1 / ( 1 + \lambda^4 ) ]$$

dove:  $x = 8$  nel metodo dell'Articolazione (ma può assumere valori superiori se i vincoli alle basi sono pensati semincastri o al limite incastri), e  $\lambda = ( h / b )$ .

Questo se la parete è delimitata da muri trasversali di irrigidimento posti a interasse 'b'. Negli edifici reali, dovendo considerare maschi murari identificati dalla posizione delle aperture, è più frequente che gli irrigidimenti siano ad interasse 'a' diverso dalla lunghezza b della base del muro. Adottando quindi, per una data parete, il valore di 'a' corrispondente alla distanza fra gli elementi trasversali di irrigidimento in mezzo ai quali la parete viene a trovarsi, l'espressione di  $\lambda$  è più esattamente:

$$\lambda = ( h / a )$$

In PC.M il valore di 'a' è definito dalla colonna '**Interasse irrigidimenti**' (posto nella sezione 'Vincoli', dopo il denominatore del momento per Azioni Ortogonali).

Se 'a' è diverso da zero, e se viene selezionata l'opzione:

**'Schematizzazione a piastra'**

presente nella cornice: 'Per Azioni Ortogonali', nella scheda 'Parametri Vari (1)' dei '**Parametri di Calcolo**', il denominatore specificato per la parete nella colonna 'Az.Ort.  $qh^2/x$ ' viene incrementato del reciproco del coefficiente:  $[ 1 / ( 1 + \lambda^4 ) ]$ , producendo una diminuzione del momento verticale e quindi un miglioramento della verifica a pressoflessione ortogonale.

Tanto maggiore è 'a', tanto più il momento è simile al caso monodimensionale di trave vincolata solo alla base e in sommità (ovvio, poiché irrigidimenti troppo lontani sono poco efficaci e quindi prevale l'inflessione verticale). Applicando le prescrizioni del D.M. 20.11.1987, comunque, questa operazione di riduzione del momento verticale è consentita solo se 'a' è inferiore a 6 metri.

In PC.M questa opzione di calcolo agisce nelle **Verifiche Statiche a Compressione secondo il D.M. 20.11.1987**, e nelle **Verifiche a PressoFlessione per Azioni Ortogonali (secondo il D.M. 20.11.1987 o la Circolare n.21745 del 30.7.1981)** effettuate sulle pareti ad altezza di interpiano [non sono previsti effetti di schematizzazione a piastra, invece, nella verifica a pressoflessione effettuata sulla 'trave continua' definita dai 'Setti' utilizzati anche per le Verifiche a Ribaltamento].

Nelle verifiche sismiche, l'opzione di 'Schematizzazione a piastra' comporta un possibile aumento del coefficiente C (dominio di resistenza della PressoFlessione Ortogonale).

### Esempio Applicativo

#### Applichiamo questa opzione all'esempio di apprendimento: PG-PR-81

L'edificio viene fornito su file (installato in C:\PCM2000\ES-APPRENDI) senza aver precisato i valori degli interassi di irrigidimento delle pareti, eccetto quelle sedi di definizione di Setti.

I valori ottenuti dall'elaborazione sismica, per i coefficienti C, sono i seguenti:

**Verifica a Ribaltamento: C = 0.725**

**Verifica a PressoFlessione per Azioni Ortogonali: C = 0.067**

**Verifica di resistenza globale a taglio: C = 0.056**

Si completino ora i valori degli interassi di irrigidimento, secondo il seguente schema (compilato considerando, per ogni parete, l'interasse tra gli irrigidimenti trasversali del suo allineamento, relativamente alla zona dove è ubicata la parete; per pareti nelle quali confluisce direttamente un muro trasversale si è fatto riferimento al valore minimo tra la parte prima dell'irrigidimento e quella dopo):

#### DATI PARETI - Piano 1

N.	- VINCOLI E SETTI V.fless. $x \cdot EJ/h^3$	Az.Ort. $qh^2/x$	Interasse irrigidimenti(m)	Setto	Vincolo efficace	Tiro (kg/ml)
1	12.0	10.0	7.00		X	0
2	12.0	10.0	3.00		X	0
3	12.0	10.0	3.00		X	0
4	12.0	10.0	7.00		X	0
5	12.0	10.0	7.00		X	0
6	12.0	10.0	3.00		X	0
7	12.0	10.0	7.00		X	0
8	12.0	10.0	7.00	-A	X	4257
9	12.0	10.0	3.00		X	0
10	12.0	10.0	3.60		X	0
11	12.0	10.0	5.70		X	0
12	12.0	10.0	5.70	-B	X	4470
13	12.0	10.0	3.60		X	0
14	12.0	10.0	5.70		X	0
15	12.0	10.0	3.60		X	0
16	12.0	10.0	5.70		X	0

#### DATI PARETI - Piano 2

N.	- VINCOLI E SETTI V.fless. $x \cdot EJ/h^3$	Az.Ort. $qh^2/x$	Interasse irrigidimenti(m)	Setto	Vincolo efficace	Tiro (kg/ml)
1	12.0	10.0	7.00		X	0
2	12.0	10.0	3.00		X	0
3	12.0	10.0	7.00		X	0
4	12.0	10.0	3.00		X	0
5	12.0	10.0	3.00		X	0
6	12.0	10.0	7.00		X	0
7	12.0	10.0	7.00	-A	X	4257
8	12.0	10.0	3.00		X	0
9	12.0	10.0	3.00		X	0
10	12.0	10.0	3.60		X	0
11	12.0	10.0	3.60		X	0

12	12.0	10.0	5.70	-B	X	4470
13	12.0	10.0	3.60		X	0
14	12.0	10.0	3.60		X	0
15	12.0	10.0	5.70		X	0
16	12.0	10.0	3.60		X	0
17	12.0	10.0	5.70		X	0

## DATI PARETI - Piano 3

N.	- VINCOLI E SETTI V.fless. $x \cdot E J / h^3$	Az.Ort. $q h^2 / x$	Interasse irrigidimenti (m)	Setto	Vincolo efficace	Tiro (kg/ml)
1	12.0	10.0	7.00		X	0
2	12.0	10.0	3.00		X	0
3	12.0	10.0	7.00		X	0
4	12.0	10.0	3.00		X	0
5	12.0	10.0	7.00		X	0
6	12.0	10.0	7.00	-A	X	4257
7	12.0	10.0	3.00		X	0
8	12.0	10.0	3.00		X	0
9	12.0	10.0	3.60		X	0
10	12.0	10.0	3.60		X	0
11	12.0	10.0	5.70	-B	X	4470
12	12.0	10.0	3.60		X	0
13	12.0	10.0	3.60		X	0
14	12.0	10.0	5.70		X	0
15	12.0	10.0	3.60		X	0
16	12.0	10.0	5.70		X	0

Selezionando l'opzione 'Schematizzazione a Piastra' per le Azioni Ortogonali (Parametri di Calcolo, Parametri Vari (1)) e rieseguendo l'analisi sismica, si ottiene il seguente risultato:

**Verifica a PressoFlessione per Azioni Ortogonali: C = 0.075**

ossia un incremento del 12% della resistenza secondo questo meccanismo di collasso.

Con la schematizzazione a piastra, dal punto di vista statico, si ottengono Verifiche Statiche a Compressione secondo il D.M. 20.11.1987 più facilmente soddisfatte.

Dal punto di vista sismico, i coefficienti C corrispondenti ai domini di resistenza delle Verifiche a PressoFlessione per Azioni Ortogonali (secondo il D.M. 20.11.1987 o la Circolare n.21745 del 30.7.1981) aumentano, conducendo a risultati più favorevoli.

**B.3.3.1.3.2. PRESSOFLESSIONE PER AZIONI COMPLANARI, LIMITAZIONE ALLE PARETI SNELLE**

Sempre facendo riferimento all'esempio di apprendimento PG-PR-81 (trattato anche nel paragrafo precedente B.3.3.1.3.1. relativamente alle Azioni Ortogonali), si osservi che la Verifica Sismica a PressoFlessione Complanare era stata disattivata dai Dati Piani. Riattivandola (colonna: PressoFless. Complanare, far diventare verdi le caselline in input, facendoci clic o premendo, con la cella sopra, un tasto qualsiasi), rieseguiamo il calcolo: stavolta nel calcolo del C globale oltre al taglio vi è il meccanismo a pressoflessione complanare: si ottiene

**( a ) Verifica di resistenza globale a PressoFlessione (complanare): C = 0.020**

con una conseguente diminuzione del coefficiente C globale corrispondente alle azioni agenti nel piano della muratura: l'edificio risulterebbe così non più soddisfacente le richieste di resistenza secondo i criteri della ricostruzione antisismica (Legge 61/98, C necessario da raggiungere o superare: 0.0455).

Un primo miglioramento si consegue considerando la possibilità che la sezione si parzializzi, restando parzialmente reagente a trazione (fino al limite di resistenza a trazione della muratura). Selezionando questa opzione nei Parametri di Calcolo (scheda Parametri Vari (1) ), e rieseguendo il calcolo, il coefficiente sale a:  
( b ) **C = 0.029**

Selezionando ora la possibilità di escludere dalla verifica a PressoFlessione complanare le pareti aventi snellezza inferiore o uguale a 2, si ottiene:  
( c ) **C = 0.035**

Già quindi l'applicazione di queste due ipotesi ragionevoli nel campo di funzionamento del meccanismo di resistenza a pressoflessione per azioni nel piano conducono a un incremento di C da 0.020 a 0.035, pari al 75%. Non è ancora stato raggiunto il limite richiesto (0.0455), ma la situazione risulta meno sfavorevole di quanto apparisse in precedenza.

Assumendo come limite di inizio di comportamento a flessione una snellezza pari a 3.0, anziché 2.0 (il valore 3 rappresenta, nel Dimensionamento Semplificato del D.M. 16.1.1996 - punto C.5.2., il limite sopra il quale perdono importanza i maschi murari ai fini del calcolo di muratura resistente, perché troppo snelli - e quindi si può pensare di individuare in tali elementi le possibili zone di collassi a flessione), il coefficiente C resta invariato:

( d ) **C = 0.035**

evidentemente elementini ancora più snelli condizionano il risultato.

Un'ulteriore ipotesi di lavoro potrebbe portare a escludere dalla verifica a pressoflessione complanare pareti intercettate da setti trasversali, riconoscendo in tali zone un comportamento scatolare potrebbe di fatto impedire deformazioni flessionali. Si escludono dalle pareti di controvento gli elementi:

al piano 1: 2,3,5,6,10

al piano 2: 8,11,14

al piano 3: 7,8,13

Ovviamente i risultati in termini di verifica a taglio dovranno essere ignorati; inoltre, se veramente questi elementi esclusi reagiscono a taglio ma non a flessione, comunque assorbono una quota di forza orizzontale che invece, avendoli esclusi dalle pareti di controvento, è redistribuita fra le pareti reagenti: questo conduce a un calcolo a pressoflessione complanare dalla parte della sicurezza nei confronti, appunto, di tutte le restanti pareti reagenti.

Conducendo quindi quest'analisi al solo fine di ricavare il valore del coefficiente C per la pressoflessione complanare, si ottengono i seguenti risultati corrispondenti alle diverse schematizzazioni con cui si è poc'anzi analizzato l'edificio:

( a ) C = 0.015

( b ) C = 0.026

( c ) C = 0.036

( d ) **C = 0.061:**

quest'ultimo risultato ci conferma l'esistenza di un percorso di verifica che conduce a ritenere l'edificio sufficientemente sicuro anche dal punto di vista della pressoflessione complanare, pur essendo partiti da considerazioni iniziali opposte!

Da qui l'**importanza di un'attenta analisi dei parametri di calcolo utilizzati**: l'Utente sfrutti le diverse possibilità offerte da PC.M per studiare il 'campo di variazione' dei risultati, più che ritenere di 'ingabbiare' in una ipotesi assoluta la configurazione resistente del fabbricato.



## B.3.3.1.4. SCHEDA PARAMETRI VARI (2)

**Parametri di Calcolo**

Analisi Statica | Analisi Sismica | Parametri Vari (1) | **Parametri Vari (2)** | Muratura Armata | Avanzate

**Taglianti Sismici per Fondazioni su Piani Sfalsati**  
 Il Tagliante di piano viene calcolato con riferimento:  
☒ Alle Forze dei piani sovrastanti, corrispondenti - piano per piano - alle masse non fondate  
☐ Al Tagliante del piano sovrastante, corrispondente alla massa non fondata del piano sovrastante

**Per Verifiche a Ribaltamento**  
 Le azioni dei tiranti in sommità alle pareti verranno sempre computate nel calcolo. Per quanto riguarda le forze orizzontali concentrate di tipo sismico dovute al carico del solaio, esse potranno essere considerate nulle nel caso di vincoli efficaci:  
☒ Annullare la forza sismica concentrata in sommità alla parete (prodotta dal carico di solaio) nel caso di presenza di vincolamento efficace

**Applicabilità del Metodo VeT**  
 (par.4.3., pp.28-31: 'Criteri di Calcolo - Prov. PG - S.S.N.')  
 Per la valutazione delle condizioni di applicabilità della Verifica Sismica Semplificata (= Metodo VeT), con riferimento al Piano 1:  
 Rettangolo circoscritto alla pianta dell'edificio:  
 Dimensioni: X (m) = 10.00 Y (m) = 10.00  
 Scostamento dalla forma rettangolare lungo le direzioni: Y (b1), e: X (b2):  
 b1 (m) = 0.00 b2 (m) = 0.00

**Soglia di Vulnerabilità: C convenzionale**  
 Valore C di riferimento per il Coefficiente di Resistenza Convenzionale (Vulnerabilità) [si assume: C=0.14 per zona sismica classificata con S=9, C=0.08 per zone non classificate] = 0.14  
☒ Calcolo con:  $q = [(A_x + A_y) * h + p, m] / A + p, s$   
☐ Calcolo con: q 'mediato', corrispondente alla formulazione esatta del metodo (per tenere conto della reale distribuzione delle masse lungo l'altezza dell'edificio)

**Terreno e Fondazioni**  
**Caratteristiche geotecniche**  
 Capacità portante q<sub>lim</sub> (kg/cmq) = 4.50  
 Angolo di attrito interno (°) = 30  
 Coesione (kg/cmq) = 0.00  
 Peso Specifico (t/mc) = 1.90  
**Caratteristiche geometriche**  
 Quota piano di campagna (estradosso del terreno) rispetto allo 0.00 di riferimento dell'edificio (intradosso delle fondazioni) (m) = 0.00

Fig. 11. Parametri di Calcolo: scheda 'Parametri Vari (2)'.

\* **Taglianti Sismici per Fondazioni su Piani Sfalsati** = E' possibile scegliere due modalità di calcolo del tagliante sismico nel caso di fondazioni su piani sfalsati. Si può fare riferimento alle forze dei piani sovrastanti, corrispondenti - piano per piano - alle masse non fondate, oppure al tagliante del piano sovrastante, corrispondente alla massa non fondata del piano sovrastante. Il significato di questo parametro di calcolo viene descritto in dettaglio nel paragrafo seguente, B.3.3.1.4.1.

\* **Per Verifiche a Ribaltamento** = Le azioni dei tiranti in sommità alle pareti verranno sempre computate nel calcolo. Per quanto riguarda le forze orizzontali concentrate di tipo sismico dovute al carico del solaio, esse potranno essere considerate nulle nel caso di vincoli efficaci. Generalmente, questa opzione viene attivata in quanto nel caso di vincolamenti di piano efficaci è plausibile ipotizzare che le forze sismiche generate dal carico di piano siano sostenute dalle pareti di controvento (disposte nella direzione ortogonale a quella della parete su cui si conduce la verifica a ribaltamento).

\* **Applicabilità del Metodo VeT** = Per la valutazione delle condizioni di regolarità che consentono l'applicabilità del metodo VeT, si specificano: le dimensioni X e Y del rettangolo circoscritto alla pianta

dell'edificio (con riferimento al Piano 1 di calcolo), e lo scostamento dalla forma rettangolare lungo la direzione Y (b1) e lungo X (b2). Un apposito pulsante di comando consente l'impostazione automatica delle dimensioni X,Y, pensate coincidenti con l'ingombro del piano 1 (piano di calcolo a quota più bassa).

\* **Soglia di Vulnerabilità: C convenzionale** = Si specifica il valore C di riferimento per il Coefficiente di Resistenza Convenzionale (Vulnerabilità). Si assume in genere: C=0.14 per zona sismica classificata con S=9, C=0.08 per zone non classificate (in pratica, è pari al doppio del valore: C=(S-2)/100, avendo equiparato le zone non classificate al grado di sismicità S=6).

Per quanto riguarda il calcolo del carico 'q' da inserire nella formula di C convenzionale, possono essere lecite due scelte: la prima ( $q = [(A_x + A_y) * h + p_m] / (A + p_s)$ ) in accordo con la semplificazione del metodo di calcolo; la seconda rispetta invece la formulazione rigorosa.

L'argomento viene ampiamente trattato nel paragrafo A.3.5.3., pag. 47, del volume "Progettazione di Costruzioni in Muratura" dedicato a "La Teoria" e fornito in dotazione al pacchetto software.

\* **Terreno e Fondazioni** = Si specificano i parametri necessari per l'analisi delle fondazioni e delle eventuali spinte del terreno:

**Capacità portante  $q_{lim}$**  = Valore della capacità portante del terreno, da cui si ottiene la tensione ammissibile statica dividendo per 3, e sismica dividendo per 2.4 nel caso degli edifici esistenti e per 3 nel caso degli edifici nuovi.

Ricordiamo che il punto C.9.3.3. del D.M. 16.1.1996 prevede la riduzione del 20% del coefficiente di sicurezza 3, per il calcolo della tensione ammissibile sul terreno in fase sismica a partire dalla capacità portante. Poiché il punto C.9. del D.M. 16.1.1996 è esplicitamente dedicato agli edifici esistenti, si può ritenere che tale riduzione sia solamente applicabile a tali edifici. Pertanto, per gli edifici nuovi PC.M utilizza un coefficiente di sicurezza pari a 3 sia in analisi statica, sia in analisi sismica.

**Angolo di attrito interno, Coesione, Peso Specifico** = Caratteristiche geotecniche del terreno.

La spinta del terreno verrà calcolata in base ai parametri geotecnici; ricordiamo che una coesione non nulla abbassa di fatto la profondità di inizio della spinta e quindi potrebbe anche dar luogo a spinte non nulle anche su pareti interrato. Per definire le pareti sulle quali si pensa agente la spinta del terreno, si utilizza la casella apposita (si=verde, no=rosso) della colonna 'Spinta terr.' dei Dati Pareti (in un piano seminterrato, ad esempio, alcune pareti potrebbero essere soggette alla spinta, ma altre no).

Dettagli sul ruolo svolto nei calcoli dalla spinta del terreno sono riportati nei Dati Pareti (paragrafo B.5.1.), in corrispondenza della descrizione del dato 'Spinta terr.'

**Caratteristiche geometriche: Quota piano di campagna** = Quota di estradosso del terreno rispetto allo 0.00 di riferimento dell'edificio (intradosso delle fondazioni). Per edifici fuori terra, normalmente questo parametro è nullo.

La profondità da cui inizia la spinta del terreno sull'edificio è data dalla Quota del piano di campagna meno la profondità di spinta nulla determinata dalla coesione (qualora questa sia diversa da zero):

$Q.P.C. (Quota Piano Campagna) - 2 * Coesione / PesoSpecifico / (K_a^{1/2})$

dove  $K_a$  è il coefficiente di spinta attiva.

Affinché su una parete agisca la spinta del terreno, occorre ovviamente che il suo dato 'Spinta terr.' sia attivato (casella verde nei Dati Pareti), ed inoltre che la quota assoluta della sua base sia inferiore alla quota assoluta di inizio della spinta del terreno.

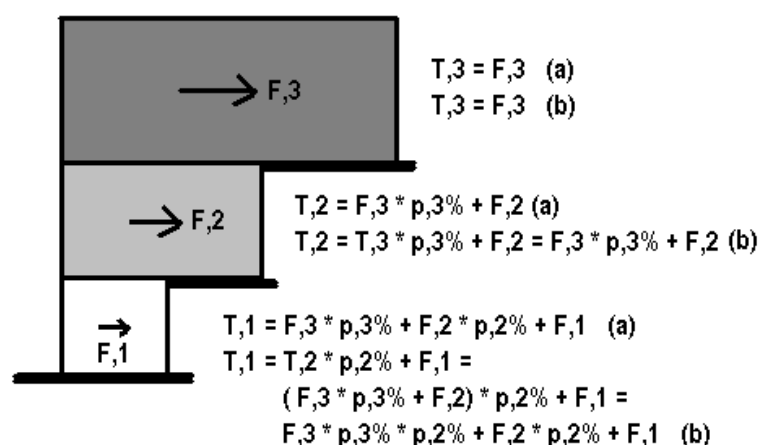
La quota del piano di campagna influenza inoltre il calcolo della pressione del vento sull'edificio. Piano per piano, la pressione del vento viene infatti riferita alla fascia media di piano, costituita dalla metà inferiore e dalla metà superiore, ma togliendo eventualmente le parti coperte dal terreno (che fisicamente non possono essere investite dal vento).

#### B.3.3.1.4.1. TAGLIANTI SISMICI PER FONDAZIONI SU PIANI SFALSATI

Nel caso di fondazioni su più livelli (fondazioni su piani sfalsati), in PC.M un apposito parametro di calcolo consente la scelta del metodo di valutazione del tagliante sismico. Con riferimento alla figura 12, è possibile

scegliere due modalità di calcolo del tagliante: si può fare riferimento alle forze dei piani sovrastanti, corrispondenti - piano per piano - alle masse non fondate (schema (a) in fig. 12), oppure al tagliante del piano sovrastante, corrispondente alla massa non fondata del piano sovrastante (schema (b)): questa seconda modalità - peraltro ragionevole - conduce a una verifica meno onerosa in quanto le sollecitazioni sismiche ai piani più bassi diminuiscono rispetto al caso (a).

La differenza tra i due schemi, comunque, è avvertita solo se vi sono almeno tre livelli di fondazione (come risulta evidente in fig. 12). Nella figura,  $p_i\%$  indica la percentuale di carico non fondato al piano  $i$ -esimo.



**Fig. 12.** Tagliante sismico per un edificio con fondazioni su piani sfalsati.

Se non si adottassero questi fattori 'correttivi', un edificio di grande sviluppo volumetrico con un interrato di piccole dimensioni (per esempio, ipotizzando che solo un vano sia caratterizzato da un volume interrato sottostante) sarebbe caratterizzato da taglio sismico estremamente elevato sul piccolo corpo interrato, che in pratica sarebbe impossibile da verificare.

## B.3.3.1.5. SCHEDA MURATURA ARMATA

The screenshot shows a software window titled 'Parametri di Calcolo' with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). Below the title bar is a tabbed interface with six tabs: 'Analisi Statica', 'Analisi Sismica', 'Parametri Vari (1)', 'Parametri Vari (2)', 'Muratura Armata' (which is the active tab), and 'Avanzate'. The 'Muratura Armata' tab contains a section titled 'Tipo di armatura' with a light gray background. Inside this section, there is a text label 'Armatura ad ognuno dei due bordi (se non diversamente specificata nei Dati Pareti) =' followed by two input fields: the first contains the number '2' and the second contains '16', with a small 'd.' label between them. Below this is another text label 'Copriferro (cm) =' followed by an input field containing '5.0'. At the bottom of the section is a checkbox labeled 'Armatura diffusa aggiuntiva', which is currently unchecked. At the bottom right of the window, outside the 'Tipo di armatura' section, are two buttons: 'OK' and 'Annulla'.

Fig. 13. Parametri di Calcolo: scheda 'Muratura Armata'.

**\* Tipo di armatura:**

**Armatura, d, Copriferro** = Numero e diametro dei ferri e copriferro di default per le pareti in muratura armata. Se non diversamente specificato nella tipologia di una data parete armata, questi sono i valori assunti per l'armatura.

**Armatura diffusa aggiuntiva** = Se presente, fa sì che il coefficiente di struttura  $\beta$  per il calcolo delle forze sismiche per l'edificio in muratura armata sia assunto pari a 1.4, altrimenti è pari a 1.5.

## B.3.3.1.6. SCHEDA AVANZATE

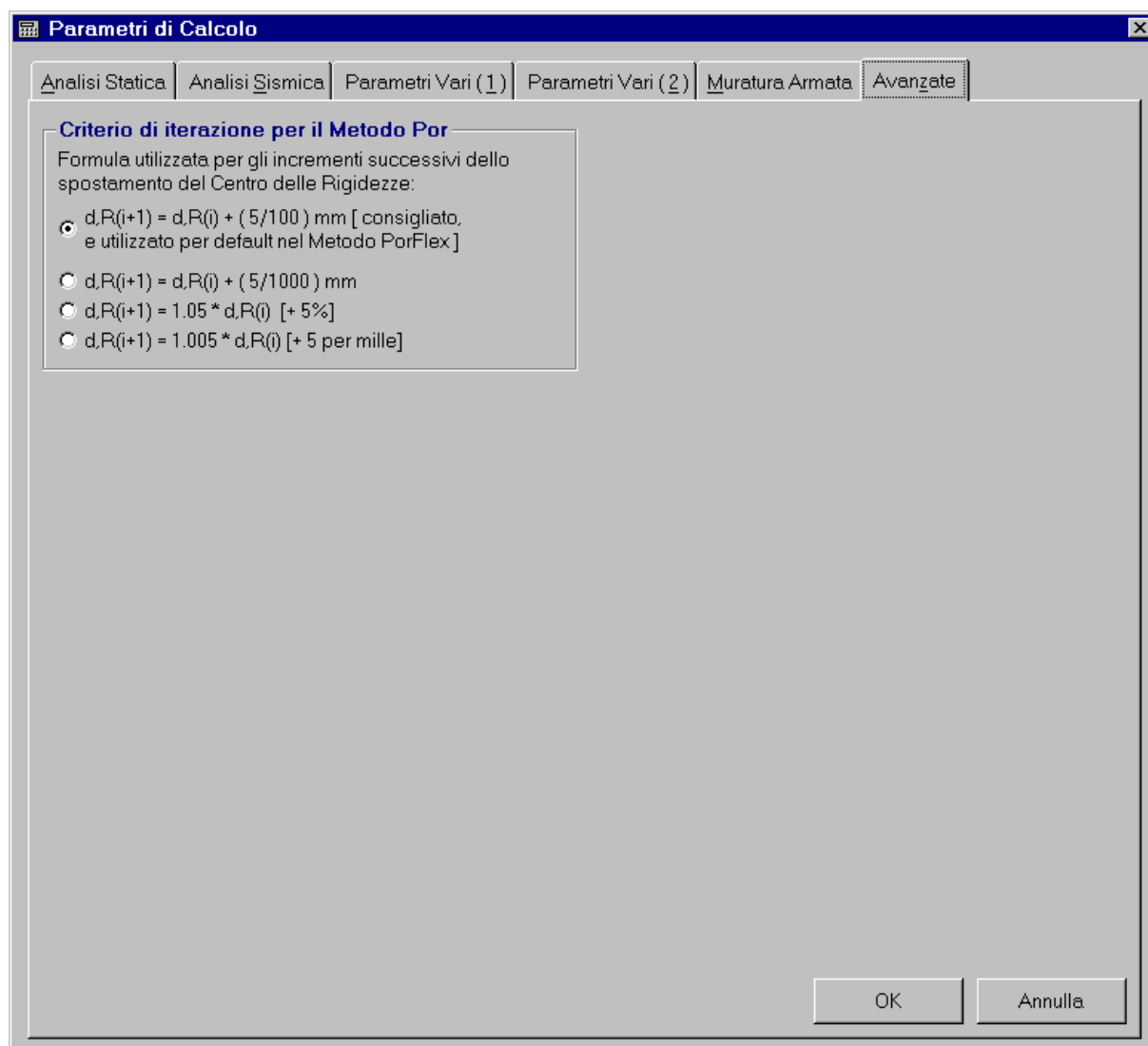


Fig. 14. Parametri di Calcolo: scheda 'Avanzate'.

La scheda 'Avanzate' si riferisce ad alcune opzioni e proprietà 'avanzate' di PC.M, che usualmente possono essere trascurate, ma che offrono la possibilità di interagire con alcuni aspetti specifici del software, interessanti per lo studio approfondito di particolari edifici.

\* **Criterio di iterazione per il Metodo Por** = Consente la scelta della formula utilizzata per gli incrementi successivi dello spostamento del Centro delle Rigidezze nel corso delle iterazioni del metodo Por. Alcune strutture possono presentare una forte sensibilità della risposta in termini di forze reattive per ogni piccolo incremento di spostamento del centro delle rigidezze. PC.M adotta per default uno spostamento progressivo di 0.005 cm (5/100 di mm.), molto piccolo, ma talvolta non esattamente idoneo per determinare una 'crescita' più continua (e quindi 'a scalini' più piccoli) della forza reattiva. E' possibile effettuare scelte più raffinate selezionando questo parametro di calcolo. E' opportuno comunque osservare che l'utilizzo generalizzato di un passo molto piccolo porterebbe sia a un rallentamento del calcolo, e ad instabilità nel metodo PorFlex; per tale motivo, il PorFlex viene comunque eseguito per default con passo di 0.005 cm.

Un esempio di influenza sul calcolo di questo parametro è riportato nel paragrafo C.4.2., Esempi Applicativi (edificio denominato: N-P-02).

### B.3.3.2. RAPPORTO DI ELABORAZIONE

Al termine dell'esecuzione dell'analisi (sia Statica, sia Sismica), viene presentato il Rapporto di elaborazione, dove le verifiche soddisfatte sono associate a caselle verdi; le non soddisfatte, a caselle rosse. Alcune verifiche possono non essere state eseguite in dipendenza delle scelte effettuate a livello di Parametri di Calcolo (es.: utilizzare la Circ.21745 del 30.7.1981 anziché il D.M. 20.11.1987), e quindi compaiono in luminosità ridotta e non concorrono alla valutazione del 'C' complessivo (coefficiente sismico rappresentativo di tutto l'edificio, coincidente col più basso valore tra tutti quelli corrispondenti alle verifiche effettuate). Il 'C' di una verifica corrisponde al massimo valore che, secondo tale verifica, è possibile assegnare a C assicurando per tutte le pareti analizzate che la verifica sia soddisfatta. C<sub>fin</sub> (C finale) è il coefficiente sismico complessivo corrispondente allo Stato di Progetto (a consolidamento effettuato); C<sub>0</sub> (C zero) è invece quello corrispondente allo Stato Attuale (stato originario dell'edificio; in caso di evento sismico verificatosi, si fa riferimento allo Stato pre-evento). Gli interventi di **miglioramento** richiedono comunque: C<sub>fin</sub> > C<sub>0</sub>. Gli interventi di **adeguamento** consueti richiedono: C<sub>fin</sub> ≥ C<sub>rif</sub> (=1.00 \* C<sub>rif</sub>), essendo C<sub>rif</sub> il coefficiente sismico secondo Normativa (C<sub>rif</sub> = 0.10 per S=12, 0.07 per S=9, 0.04 per S=6). Gli interventi di **ricostruzione per Umbria e Marche** in seguito al terremoto 1997, richiedono: C<sub>fin</sub> > 0.65 C<sub>rif</sub> (tali interventi rientrano nell'ambito del miglioramento, con una soglia di resistenza prefissata da garantire pari appunto al 65% di quella prevista dall'adeguamento di Normativa).

Alcune caselle potrebbero non essere né in luminosità ridotta, né verdi, né rosse, ma: **gialle**. Si tratta delle Verifiche ad Azioni Ortogonali (Ribaltamento e PressoFlessione), qualora i 'setti' (=che in P.C.M sono costituiti dai paramenti murari aventi larghezza 1.00 m. ed altezza su tutto il fronte dell'edificio, formati ai vari piani dalle pareti che li 'contengono') non siano stati definiti. Evidentemente, tale situazione potrebbe essere normale nel caso di **Edifici Nuovi**, laddove non si temono meccanismi di collasso a ribaltamento e a pressoflessione sull'intera altezza: in tal caso, infatti, si può anche aver ignorato - nella fase di input - la definizione dei setti (l'analisi viene ugualmente condotta a termine, anche se il programma segnala la mancata definizione dei setti).

Anche per il metodo VeT è possibile avere un risultato in giallo: ciò significa che il metodo, essendo stato scelto nei Dati Piani, è stato normalmente eseguito, però l'edificio non assicura le condizioni di regolarità che l'applicabilità di tale metodo richiede; quindi, occorre valutarne con cautela i risultati, ed eventualmente rieseguire il calcolo dopo aver sostituito il VeT col Por o col PorFlex.

Nel caso di **verifiche automaticamente soddisfatte** perché nessun elemento resistente deve essere sottoposto ad analisi (ad esempio, nel caso della PressoFlessione Sismica Complanare per pareti aventi tutte snellezza inferiore al valore di riferimento scelto nella scheda 'Parametri Vari (1)' dei Parametri di Calcolo - purché ovviamente tale opzione sia attivata), il colore associato alla verifica è il verde, anche se non viene riportato alcun valore del coefficiente sismico C: il dominio di resistenza infatti è infinito (cioè la verifica è comunque soddisfatta).

Nel Rapporto di Elaborazione sono presenti messaggi estesi per l'evidenziazione delle verifiche ad Analisi Statica e Sismica soddisfatte o meno; in particolare, l'informazione viene suddivisa fra risultato del Dimensionamento Semplificato (secondo D.M. 20.11.1987 [ paragrafi. 2.1 e 3.1 del Titolo I ] per la Statica, e secondo D.M. 16.1.1996 [ par. C.5.2. per edifici in muratura ordinaria, e C.5.3.5. per edifici in muratura armata ] per la Sismica), e risultato dell'analisi estesa.

Nel caso del D.M. 16.1.1996, P.C.M controlla **alcune condizioni** del **Dimensionamento Semplificato**: A) E) E') L) L') . Per una completa soddisfazione del metodo semplificato occorre che l'Utente controlli anche le altre condizioni presenti al punto C.5.2. del D.M. 16.1.1996.

**.. Rapporto di Elaborazione (Edificio PG-PR-81: Stato di Progetto)**

**ANALISI STATICA - Dim.Sempl.: Verifica non eseguita - Analisi Strutturale estesa: Verifica NON Soddisfatta**

☒ Tensioni medie di Compressione

☒ Verifiche in Fondazione

☒ Verifiche a Ribaltamento

Verifiche secondo D.M. 20.11.1987:

☐ Dimensionamento Semplificato

☐ Verifica a Compressione (Carichi Verticali)

☐ Verifica PressoFlessione (Forze Orizzontali)

☐ Verifica a Taglio (Forze Orizzontali)

**ANALISI SISMICA - Dim.Sempl.: Verifica Soddisfatta - Analisi Strutturale estesa: Verifica Soddisfatta**

C<sub>fin</sub> = C<sub>minimo</sub>. Verifica complessiva Soddisfatta se:  
C<sub>fin</sub> >= (C<sub>Sic</sub>\*C<sub>rif</sub>) e C<sub>fin</sub> > C<sub>0</sub>

Per le singole verifiche: Coefficienti sismici assoluti.  
Singola Verifica Soddisfatta se: C >= (C<sub>Sic</sub>\*C<sub>rif</sub>)

**C<sub>rif</sub> = 0.070 - Coeff.Sic. = 0.650 - C<sub>0</sub> = 0.000**

**C<sub>fin</sub> = 0.056 = 0.800 C<sub>rif</sub> > 0.650 C<sub>rif</sub> = 0.046**

**C<sub>fin</sub> = 0.056 > C<sub>0</sub> = 0.000**

☒ Dimensionamento Semplificato (D.M. 16.1.1996)

☒ Verifiche in Fondazione

Modalità Coefficienti di Sicurezza ( 1 / 5 )

Sismica: Attuazione Legge 61/98

OK

**(segue Analisi Sismica)**  
**Verifica di Resistenza alle Azioni Ortogonali:**

**0.725** Verifiche a Ribaltamento

☐ D.M. 20.11.1987: Verifica a PressoFlessione

**0.067** Circ. n°21745 del 30.7.1981: Verifica a PressoFlessione

**Verifica di Resistenza alle Azioni nel Piano:**

**- Piani Rigidi:**

☐ D.M. 20.11.1987: Verifica a Taglio

☐ Verifica a PressoFlessione

**0.056** Circ. n°21745 del 30.7.1981: Verifica a Taglio: Metodo Por

☐ Verifica a Taglio: Metodo PorFlex

☐ Verifica a PressoFlessione

**- Piani Deformabili:**

☐ D.M. 20.11.1987: Verifica a Taglio

☐ Verifica a PressoFlessione

☐ Circ. n°21745 del 30.7.1981: Verifica a Taglio

☐ Verifica a PressoFlessione

**0.081** - Metodo VeT (Verifica a Taglio semplificata per Piani Rigidi)

**Analisi Sismica MURATURA ARMATA:**

☐ Verifica a Taglio ☐ Verifica a PressoFlessione

Fig. 15. Rapporto di Elaborazione.

Nella finestra del Rapporto di elaborazione, è possibile utilizzare alcuni comandi specifici:

**Modalità Coefficienti di Sicurezza** = Permette di rappresentare i coefficienti C con criteri alternativi: premendo il pulsante di comando, si 'ruotano' i diversi criteri:

**1/5** = coefficienti C assoluti.

**2/5** = coefficienti C in rapporto a (C<sub>Sic</sub> \* C<sub>rif</sub>): **tale risultato presenta il coefficiente di sicurezza nella forma tradizionale** (>= 1.00 quando la verifica è soddisfatta). Utilizzando questa modalità, è possibile ad esempio, nel caso di un progetto sismicamente verificato, constatare immediatamente di quanto il coefficiente finale supera il valore di riferimento: un'eccedenza del 10% sarà segnalata dal valore 1.10.

**3/5** = come 2/5, ma in percentuale.

**4/5** = coefficienti in rapporto a C<sub>0</sub>.

**5/5** = come 4/5, ma in percentuale.

**Sismica: Attuazione Legge 61/98** = Apre la finestra di testo riportata in fig.16, dove viene visualizzato il riepilogo delle verifiche sismiche in termini di coefficienti 'C'.

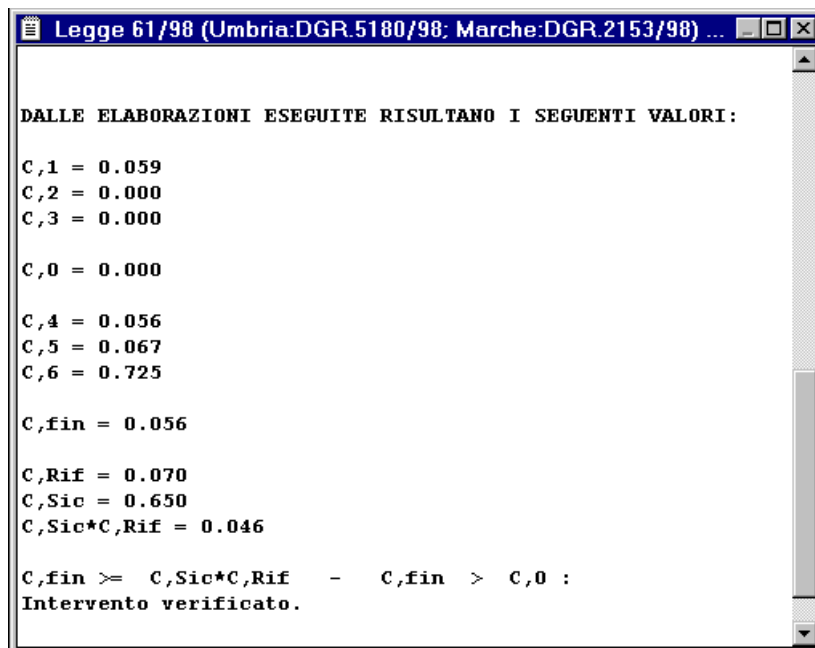


Fig. 16. Attuazione Legge 61/98: riepilogo in termini di coefficienti sismici 'C'.

L'attuazione della Legge 61/98 si articola in realtà in tre parti: non solo questo riepilogo, ma anche altre due sezioni riguardanti le condizioni di regolarità strutturale e il calcolo del C convenzionale. Queste informazioni sono reperibili attraverso l'elaborazione della relazione di calcolo: è sufficiente selezionare l'opzione corrispondente nella scheda 'Analisi Sismica' dei 'Parametri di Stampa' (vd. paragrafo B.3.2.1.4.); in relazione saranno riportati i valori da utilizzare per la compilazione di tre 'schede' rappresentative del progetto:

#### **Regolarità, C convenzionale, Coefficienti C.**

Queste schede contengono numerosi parametri particolarmente utili per la compilazione delle vere e proprie 'Schede tecniche di accompagnamento al progetto' introdotte dalle Regioni Umbria e Marche in attuazione della Legge 61/98; analizziamole in dettaglio.

#### **B.3.3.2.1. ANALISI DELLE CONDIZIONI DI REGOLARITA'**

(A) Ai fini dell'**applicabilità del** metodo di verifica globale a taglio semplificata (**Metodo VeT**) (riferimento: par.4.3, vol. "Criteri di Calcolo - Prov.Perugia, Servizio Sismico Nazionale"):

**1. Variabilità delle tensioni normali** (scarti compresi entro il 40%: per ogni piano, viene calcolato lo scarto massimo della tensione di compressione fra ogni parete ed il valore medio);

**2. Regolarità in pianta:** in ognuna delle due direzioni di riferimento (X e Y), l'eccentricità fra baricentro e centro delle rigidezze deve essere inferiore a  $0.15\zeta$  volte la dimensione massima dell'edificio nella direzione ortogonale ( $\zeta$  = coefficiente di riduzione per piante difformi dalla forma rettangolare). Le dimensioni geometriche della pianta vengono riferite al Piano 1 di Calcolo, secondo i parametri specificati nella finestra: 'Applicabilità del Metodo VeT', 'Parametri Vari (1)', 'Parametri di Calcolo'.

(B) Ai fini dell'identificazione delle eventuali **CARENZE STRUTTURALI GRAVI** (parametri richiesti nella **Scheda 3 di accompagnamento al progetto, D.G.R. Umbria 5180/98**):

**1. (Condizione 3 della Scheda 3)** Irregolarità di geometria in pianta di forte entità (**distanza**, nella direzione più sfavorevole, **tra baricentro delle rigidezze e risultante delle forze sismiche** agenti in quella direzione, **superiore al 20%** della dimensione massima dell'edificio nella direzione ortogonale). Le dimensioni massime della pianta nelle due direzioni ortogonali sono calcolate nel corso dell'elaborazione geometrica dei dati delle pareti resistenti;

**2. (Condizione 4 della Scheda 3)** Irregolarità della maglia muraria in elevazione (**aumento superiore del 30%** della **rigidezza** e/o **resistenza** passando **da un livello a quello soprastante**).



**(C) Ulteriori informazioni sulla regolarità:**

1. Adottando un criterio alternativo alla Condizione 3 della Scheda 3, si definisce la regolarità in geometria utilizzando le indicazioni dell'**EuroCodice 8** per le Zone Sismiche (Parte 1.2., Edifici in Zone Sismiche, Regole generali di progettazione). A ciascun piano la **distanza** (misurata lungo le due direzioni di riferimento) **fra baricentro e centro delle rigidezze non deve superare il 15% del "raggio di resilienza"**, definito come la radice quadrata del rapporto tra le rigidezze torsionale e traslazionale di piano.

La rigidezza e la posizione del centro delle rigidezze si riferiscono alla fase elastica; la resistenza è definita come sommatoria dei tagli ultimi di tutti i maschi murari paralleli alla direzione del sisma (nello spirito del metodo semplificato VeT).

L'analisi sismica è condotta con riferimento a due Combinazioni di Carico, per il calcolo delle sollecitazioni nelle pareti: massimo e minimo carico verticale, con opportuni coefficienti di amplificazione (punto B.8.2. D.M. 16.1.1996). La posizione del baricentro non cambia con il variare della Condizione di Carico, poiché il baricentro dei pesi sismici (così come la forza sismica) è univocamente determinato; la posizione del centro delle rigidezze non cambia, essendo le rigidezze in fase elastica indipendenti dal carico: ne consegue che l'eccentricità non cambia. Al variare della Condizione di Carico cambiano invece i tagli ultimi, e quindi le resistenze delle pareti.

**B.3.3.2.2. SOGLIE DI VULNERABILITÀ**

Calcolo del Coefficiente di resistenza Convenzionale alle azioni orizzontali "C<sub>conv</sub>"  
(Riferimento: Scheda 3c di accompagnamento al progetto, D.G.R. Umbria 5180/98)

Per ogni piano, il valore del coefficiente C convenzionale è dato da:

$$C_{conv} = a_o * \tau_k / (q * N) * \sqrt{[1 + q * N / (1.5 * a_o * \tau_k * (1 + \gamma))]}$$

dove:

A<sub>x</sub> = area totale elementi resistenti in direzione X (somma delle aree delle sezioni trasversali dei maschi murari); A<sub>y</sub> = area totale elementi resistenti in direzione Y; A<sub>x</sub> e A<sub>y</sub> sono valutate escludendo i muri aventi rapporto altezza/lunghezza superiore a 3 (seguendo le indicazioni del punto C.5.2. del D.M. 16.1.1996);

A<sub>t</sub> = area totale coperta;

h = altezza media di interpiano;

p<sub>m</sub> = peso specifico delle murature;

p<sub>s</sub> = carico permanente per unità di superficie di solaio;

a<sub>o</sub> = rapporto fra area minima ed area coperta (A<sub>t</sub>);

τ<sub>k</sub> = resistenza caratteristica a taglio di riferimento;

N = numero dei piani al di sopra della quota di verifica (incluso il piano di verifica stesso);

γ = rapporto tra area massima fra A<sub>x</sub>, A<sub>y</sub> e area minima fra A<sub>x</sub> e A<sub>y</sub>;

q = peso medio per unità di area coperta di un livello (l'espressione utilizzata per il calcolo di 'q' dipende, in P.C.M., dalla scelta effettuata per il corrispondente parametro di calcolo, vd. par. B.3.3.1.4.).

Per ogni piano, C<sub>conv</sub> deve essere confrontato con il prodotto del coefficiente di riferimento (es. Crif=0.14 per zone sismiche con S=9; Crif è specificato nella finestra 'Soglia di Vulnerabilità: C convenzionale', 'Parametri Vari (2)', 'Parametri di Calcolo') per il coefficiente di maggiorazione δ, che tiene conto della distribuzione delle forze d'inerzia lungo l'altezza dell'edificio:

se N<sub>t</sub> è il numero totale dei piani dell'edificio, si ha:

- N<sub>t</sub> = 1: p.1) δ=1

- N<sub>t</sub> = 2: p.1) δ=1; p.2) δ=1.33

- N<sub>t</sub> = 3: p.1) δ=1; p.2) δ=1.25; p.3) δ=1.5

- N<sub>t</sub> = 4: p.1) δ=1; p.2) δ=1.2; p.3) δ=1.4; p.4) δ=1.6

- Nt = 5: p.1)  $\delta=1$ ; p.2)  $\delta=1.17$ ; p.3)  $\delta=1.33$ ; p.4)  $\delta=1.5$ ; p.5)  $\delta=1.67$

In generale, la formula che definisce  $\delta$  è data da:

$\delta = [ Nt * (Nt + 1) - m (m - 1) ] / [ (Nt + 1) * N ]$ , essendo:

Nt = numero totale di piani; m = piano di verifica; N = numero dei piano al di sopra del piano di verifica (esso incluso).

Si indica con  $C\delta$  il prodotto di C di riferimento per  $\delta$ .

La **Vulnerabilità** risulta:

**Bassa**, se  $C_{conv} \geq C\delta$

**Media 1**, se  $C_{conv} \geq C\delta$ , per edificio con carenze strutturali gravi

**Media 2**, se  $C_{conv} < C\delta$ , per edificio privo di carenze strutturali gravi

**Alta**, se  $C_{conv} < C\delta$ , per edificio con carenze strutturali gravi

Per ogni piano, si indicano consecutivamente: n°piano; Ax; Ay; At; h; pm; ps; ao;  $\tau_k$ ; N;  $\gamma$ ; q;  $\delta$ ; Cconv; Crif;  $C\delta$ .

### **B.3.3.2.3. RIEPILOGO VERIFICHE SISMICHE: COEFFICIENTI “C”**

#### **Verifiche prima dell'intervento**

Meccanismi di collasso:

C,1 = Verifica ad azioni agenti nel piano della muratura

C,2 = Verifica ad azioni agenti fuori dal piano della muratura

C,3 = Verifica del collasso per crisi dei collegamenti dei paramenti murari

Coefficiente C nelle condizioni originarie: C,0 = minimo tra C,1 , C,2 , C,3

#### **Verifiche dopo l'intervento**

Meccanismi di collasso:

C,4 = Verifica ad azioni agenti nel piano della muratura

C,5 = Verifica ad azioni agenti fuori dal piano della muratura

C,6 = Verifica del collasso per crisi dei collegamenti dei paramenti murari

Coefficiente C finale: C,fin = minimo tra C,4 , C,5 , C,6

#### **Controlli**

Dovrà risultare:  $C_{fin} \geq C_{sic} C_{rif}$  e  $C_{fin} > C_{0}$

( $C_{sic} = 0.65$  per gli interventi di ricostruzione in applicazione della Legge 61/98;  $C_{sic} = 1.00$  per i consueti interventi di adeguamento; in ogni caso,  $C_{sic}$  assume il valore specificato in ‘Analisi Sismica’, ‘Parametri di Calcolo’).

### **B.3.4. Menu OPZIONI**

Il menu Opzioni della finestra Edificio consente l'attivazione o meno della **barra degli Strumenti**, nella sua forma completa o ridotta (completa se è attivato il corrispondente comando di menu).

### B.3.4.1. BARRA DEGLI STRUMENTI

La barra degli strumenti contiene i pulsanti grafici che permettono l'esecuzione rapida di molti dei comandi principali di PC.M. I vari pulsanti sono attivati o meno a seconda del contesto, ossia di quale è la finestra attiva al momento. Nella versione ridotta, sono presentati solo i pulsanti corrispondenti alla finestra attiva.

Con la risoluzione grafica 1024x768, consigliata per PC.M, la barra degli strumenti completa viene visualizzata integralmente. In caso di risoluzioni inferiori (800x600), è consigliabile scegliere la barra ridotta.

Nella figura seguente, sono riportati i comandi corrispondenti ai pulsanti grafici della barra degli Strumenti.



Fig. 17. Barra degli Strumenti.

## B.4. FINESTRA PIANI

### B.4.1. Dati PIANI

I Dati Piani per un nuovo edificio sono inizializzati con numero di pareti = 1, numero di solai = 1, e altri valori nulli. In linea di principio, alcuni Dati Piani possono anche non essere inseriti direttamente, dal momento che opportuni controlli in fase di introduzione dei dati delle pareti, ad esempio, provvederanno a rendere coerente il numero delle pareti introdotte con il numero delle pareti totali di ciascun piano (che è, appunto, un dato di piano). Tuttavia, ad esempio l'aggiunta consecutiva di una parete dopo l'altra nella tabella Dati Pareti può essere evitata specificando direttamente il numero delle pareti nella tabella dei Dati Piani, semplificando così la fase di input.

E' comunque necessario specificare un'altezza di piano non nulla, ai fini del calcolo delle azioni del vento e del sisma.

Qualora si sia eseguito l'input da file DXF, il numero delle pareti e dei solai viene determinato dalle corrispondenti entità importate in PC.M.

**N°** = Numero progressivo del piano. Fo = Fondazioni; da 1 a n = Piani in elevazione.

**N° pareti** = Numero totale di pareti del piano. Per il piano di fondazione, indica il numero totale di fondazioni. I controlli interni ai moduli di PC.M garantiscono la coerenza di questo numero con i dati introdotti per le pareti (e le fondazioni). Infatti, se nei Dati Pareti viene aumentato il numero totale delle pareti (ad esempio aggiungendone una), questo dato generale dei piani viene automaticamente aggiornato (analogamente accade per le Fondazioni).

**N° solai** = Numero totale di solai del piano. In PC.M controlli analoghi al numero di pareti garantiscono la coerenza fra i dati.

**H piano** = Altezza di piano.

Per le **Fondazioni**, rappresenta l'altezza delle fondazioni. Generalmente si fa coincidere con lo spessore della suola. Se l'altezza del piano di fondazione è specificata diversa da zero, essa permette di considerare le altezze, ai fini della determinazione delle forze sismiche, a partire dall'intradosso delle fondazioni (cioè dal piano di appoggio sul terreno).

Per i **Piani in elevazione**, 'H piano' può essere considerata come l'altezza netta di interpiano, fra estradosso del solaio inferiore e intradosso del superiore. Sommata all'altezza di solaio (orizzontamento superiore), fornisce l'altezza totale del piano. Se 'H sol.' è nulla, H piano è da considerarsi come l'altezza totale del piano (lorda), da estradosso del solaio inferiore a estradosso del solaio superiore.

Nel paragrafo seguente, B.4.1.1., si approfondiscono le relazioni fra altezze di piano, altezze delle pareti e quota di riferimento per il calcolo delle forze sismiche.

**H sol.** = Altezza di solaio. Rappresenta lo spessore del solaio sovrastante le pareti del piano. Può essere nullo se l'altezza di piano 'H piano' viene considerata lorda (da estradosso di solaio sottostante a estradosso di solaio sovrastante).

**Piano Rigido** = Se attivato (casella verde spuntata), specifica che l'impalcato è da considerarsi rigido ai fini della ripartizione delle forze orizzontali. Il metodo di analisi sismica utilizzato viene specificato nella colonna 'Metodo'. Se non attivato, il piano è da considerarsi deformabile, e la ripartizione delle forze orizzontali sugli elementi resistenti verticali (pareti, pilastri) avverrà proporzionalmente ai carichi anziché alle rigidezze: in tal caso, il dato corrispondente nella colonna 'Metodo' è ininfluente.

**Circ.n.21745 del 30.7.1981: metodo a Taglio (se Piano Rigido)** = Indica il metodo di analisi utilizzato nell'ipotesi di piano rigido: VeT, Por o PorFlex. Nel Rapporto di Elaborazione recante i risultati, verranno - per ogni metodo attivato - considerati, ai fini della determinazione dei coefficienti sismici C (domini di resistenza), solo i piani dove quel metodo è attivato.

**PressoFless. Complanare** = Se attivata (casella verde spuntata), specifica di eseguire la verifica a PressoFlessione per azioni complanari (nell'ambito cioè della valutazione della resistenza alle azioni nel piano). Tale verifica, spesso difficile da soddisfare, può talvolta ragionevolmente essere evitata, soprattutto in caso di presenza di maschi tozzi. Alcuni parametri di calcolo appositi consentono la limitazione di questa verifica, quando attivata, alle sole pareti snelle, utilizzando come riferimento per la snellezza un valore scelto dall'utente (generalmente pari a 2.0).

**Vento in dir.X, in dir. Y** = Se attivato (casella verde spuntata), indica se quel piano è soggetto all'azione del vento nella direzione X e/o Y. Per edifici contigui ad altri fabbricati (ad esempio, inseriti in complessi a schiera) potrebbe essere influente l'azione del vento nella direzione di sviluppo dei fabbricati stessi. L'azione del vento può essere trascurata, nel corso dello svolgimento dei calcoli, qualora le verifiche statiche secondo il D.M. 20.11.1987 non vengano eseguite (opzione specificata nei Parametri di Calcolo, scheda Analisi Statica).

**Carichi Globali di Solaio permanenti e accidentali: G, Q** = G e Q sono i carichi risultanti di piano, rispettivamente permanente e accidentale, che possono essere inseriti direttamente, cioè indipendentemente da quelli calcolati in via automatica dal programma (o carichi di default: **G def.**, **Q def.**). Non contengono i pesi propri delle strutture (pareti, pilastri, strisce, travi, sottofinestra). Se G e Q sono specificati non nulli, al carico accidentale Q si applica il coefficiente di riduzione **Riduz. "s"**.

I carichi di default sono non nulli, ovviamente, solo se è già stato eseguito il calcolo dei carichi (analisi statica). Specificando questi carichi globali è quindi possibile 'forzarne' il valore, ad esempio per considerare masse che non insistono direttamente sulla struttura (e che quindi non compaiono nei carichi valutati tramite i dati sulle pareti e sui solai).

I carichi globali direttamente inseriti saranno considerati Aggiuntivi o Sostitutivi, rispetto a quelli calcolati automaticamente, a seconda della specifica effettuata a livello di Parametri di Calcolo (scheda Analisi Statica).

I carichi globali direttamente inseriti si riferiscono in ogni caso ai soli carichi a livello di impalcato (cioè di solaio); in essi non sono mai considerati i pesi propri delle pareti murarie, che vengono sempre calcolati in modo automatico dai dati delle pareti.

Il carico risultante complessivo che compete al piano, ai fini del calcolo delle forze sismiche, è dato dalla somma dei carichi globali di solaio (inseriti direttamente o no) e dei pesi propri delle pareti.

**Forza sismica: F sism.** = Forza sismica che compete al piano. Può essere inserita direttamente, e sostituisce in tal caso quella calcolata in modo automatico (o forza di default: **Fdef.**). Qualora si ritenga agiscano carichi orizzontali di piano da cumulare all'azione sismica, questi possono essere considerati in F (ad esempio, la spinta globale del terreno che agisca su un piano semi-interrato nel verso dalla terra verso l'edificio. Per piani completamente interrati le spinte attiva e passiva creano un effetto contrastante che può rendere inutile il dato di aumento della forza sismica).

**Dimensioni D (max), B (min)** = Dimensioni massima e minima in pianta, indispensabili per il calcolo dell'eventuale azione torcente aggiuntiva sulle pareti qualora il rapporto D/B sia  $> 2.5$ . I valori **D def.** e **B def.** sono proposti di default, calcolati sulla base dei dati geometrici delle pareti del piano. Nell'ambito dei calcoli tipo Por, l'azione torcente aggiuntiva viene tradotta in un incremento dell'eccentricità del centro delle rigidezze rispetto al baricentro.

Inserendo D,B direttamente è quindi possibile forzare il calcolo del momento torcente aggiuntivo, ad esempio nel caso di piante a forma particolare dove i valori di D,B proposti non interpretano bene questo aspetto strutturale.

Ad esempio, nel caso di una pianta a L, PC.M propone per D e B le dimensioni massima e minima valutate globalmente nelle due direzioni ortogonali di riferimento X e Y. D e B così coincidono con la lunghezza delle due ali L' e L'', assumendo lo stesso valore che avrebbero per un edificio rettangolare di lati L' e L''. Appare quindi più opportuno attribuire a D la lunghezza dell'ala maggiore e a B il minore 'spessore' di ala; si riesce così a considerare l'effetto sfavorevole della forma della pianta dell'edificio (è noto che in zona sismica le forme rettangolari, o comunque più compatte, sono avvantaggiate).

#### B.4.1.1. ALTEZZE DEI PIANI E DELLE PARETI, E QUOTA DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO DELLE FORZE SISMICHE

Le altezze di piano specificate nei Dati Piani ('H piano') definiscono le quote degli impalcati dove si pensano agenti le forze sismiche. Generalmente l'altezza di un piano coincide con le altezze delle pareti appartenenti al piano stesso; può però aversi il caso di piani leggermente sfalsati o di piani di copertura a sommità variabile, per i quali in genere si adottano idonee quote di riferimento (ad esempio, la quota media per i piani leggermente sfalsati, l'altezza in gronda per le coperture).

Le altezze di piano determinano il calcolo dei coefficienti di distribuzione delle forze di piano.

Nel caso di un piano interrato, potrà accadere che si decida di considerare gli effetti sismici solo sulla struttura effettivamente in fondazione (come se il piano interrato fosse tutta una fondazione che oscilla insieme al terreno): in tal caso, occorre specificare un opportuno valore per la 'Quota di riferimento per il calcolo dei coefficienti di distribuzione delle forze di piano' nella scheda 'Analisi Sismica' dei 'Parametri di Calcolo'. Nelle figure seguenti sono riportati alcuni esempi (le quote sono in cm.), dove sono evidenziati i ruoli delle altezze di piano e delle pareti, nonché della Quota di riferimento per le forze sismiche.

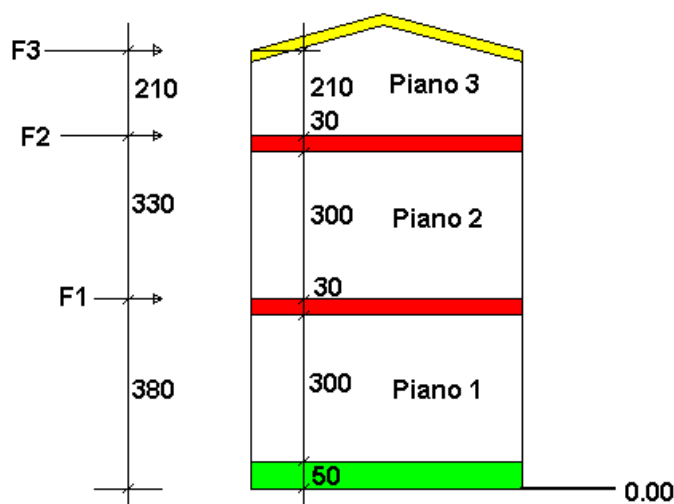


Fig. 18. Esempio (A).

Nell'esempio (A) di fig. 12, l'edificio è regolare (misure in cm.). Nei Dati Piani si avrà:

**Piano di Fondazione:** H piano = 0.50. Lo spessore della suola delle fondazioni è di 0.50 m. (si ipotizzano per semplicità fondazioni nastriformi, non a T né a L, ma costituite dalla sola suola).

**Piano 1:** H piano = 3.30 (potrebbe essere stato scelto anche: H piano = 3.00, H solaio = 30; per fissare le idee, consideriamo altezze di piano lorde, come del resto spesso si fa nei casi pratici). Le pareti avranno tutte altezza 3.30 (generalmente, lo spessore del solaio viene inglobato nell'altezza della parete).

**Piano 2:** H piano = 3.30.

**Piano 3:** H piano = 2.10. Le pareti del piano 3 hanno altezze variabili (e quelle parallele al piano della figura avranno anche altezza iniziale 'H inizio' diversa dall'altezza finale 'H fine').

Per tutte le pareti, l'altezza di base 'H base' è nulla (tutte le pareti si impostano esattamente alla quota del piano di riferimento).

Nei Parametri di Calcolo, la Quota di riferimento per le forze sismiche si assume pari a 0.00. Ciò significa che la forza F1 agisce su un'altezza  $h_1 = 3.80$  m.; per la forza F2 si ha  $h_2 = 3.30$ , e per la F3:  $h_3 = 2.10$  m.

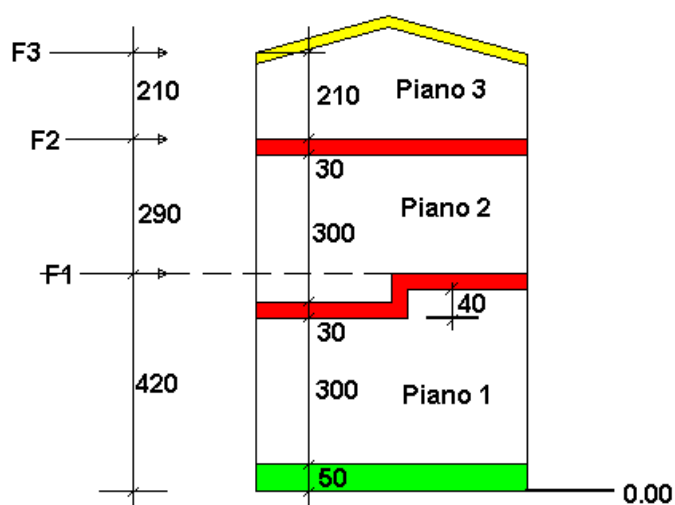


Fig. 19. Esempio (B).

Nell'esempio (B) di fig. 13, l'edificio presenta uno sfalsamento tra il piano 1 e il piano 2, con dislivello di 40 cm. A favore di sicurezza, la forza sismica F1 si pensa agente alla quota superiore dell'impalcato sfalsato.

Nei Dati Piani si avrà:

*Piano di Fondazione:* H piano = 0.50 (analogo all'esempio (A)).

*Piano 1:* H piano = 3.70. Alcune pareti avranno altezza 3.30, altre 3.70. Tutte le pareti hanno 'H base' 0.

*Piano 2:* H piano = 2.90. Alcune pareti avranno altezza 3.30, altre 2.90. Le pareti ad altezza 3.30 dovranno avere anche la quota di base 'H base' a -0.40, mentre 'H base' è nulla per le pareti alte 2.90.

*Piano 3:* H piano = 2.10. Le pareti del piano 3 hanno altezze variabili (e quelle parallele al piano della figura avranno anche altezza iniziale 'H inizio' diversa dall'altezza finale 'H fine'). Tutte hanno 'H base' 0.

Nei Parametri di Calcolo, la Quota di riferimento per le forze sismiche si assume pari a 0.00. Ciò significa che la forza F1 agisce su un'altezza  $h_1 = 4.20$  m. (H piano fondazione + H piano 1); per la forza F2 si ha  $h_2 = 2.90$ , e per la F3:  $h_3 = 2.10$  m.

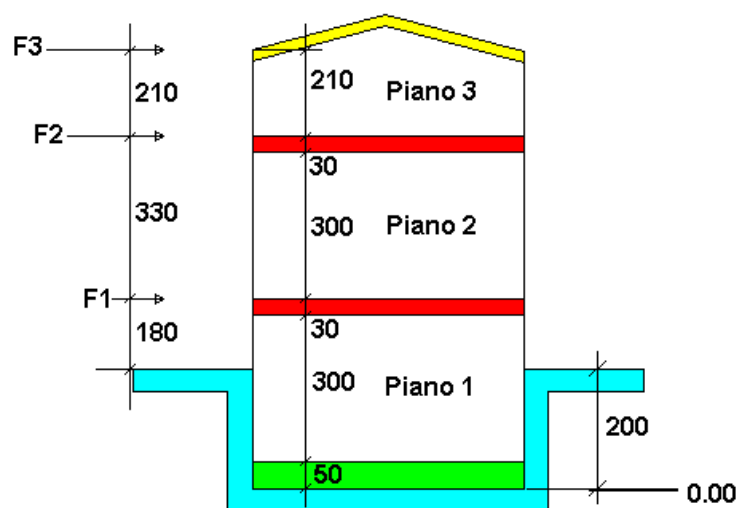


Fig. 20. Esempio (C).

Nell'esempio (C) di fig. 14, l'edificio è regolare, ma il piano 1 è parzialmente interrato, per una profondità di 2.00 m. La parte interrata si vuole considerare oscillante col terreno, e quindi la quota di riferimento per le forze sismiche deve essere più elevata rispetto agli esempi (A) e (B). Nei Dati Piani si avrà:

*Piano di Fondazione:* H piano = 0.50, normalmente.

*Piano 1:* H piano = 3.30. Tutte le pareti sono alte 3.30.

*Piano 2:* H piano = 3.30. Tutte le pareti sono alte 3.30.

*Piano 3:* H piano = 2.10. Le pareti hanno altezze variabili.

Per tutte le pareti, l'altezza di base 'H base' è nulla (tutte le pareti si impostano esattamente alla quota del piano di riferimento).

Nei Parametri di Calcolo, la Quota di riferimento per le forze sismiche si assume pari a 2.00. Ciò significa che la forza F1 agisce su un'altezza  $h_1=1.30$  m. (H piano fondazione + H piano 1 - Quota di riferimento); per la forza F2 si ha  $h_2=3.30$ , e per la F3:  $h_3=2.10$  m.



## B.5. FINESTRA PARETI

### B.5.1. Dati PARETI

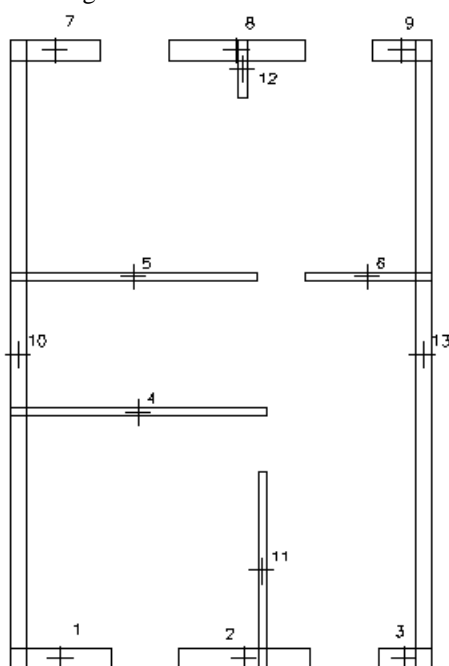
#### Parametri di Identificazione:

- **N°** = Numerazione progressiva. Essa viene determinata dal successivo inserimento delle pareti. Definita la pianta strutturale di un piano dell'edificio, le pareti devono essere numerate. Il criterio consigliabile è quello di numerare prima le pareti secondo X, poi quelle secondo Y.

Le pareti secondo X vengono numerate muovendosi da sinistra a destra e dal basso verso l'alto (cioè per coordinata Y crescente, e a parità di coordinata Y per X crescente).

Successivamente, le pareti secondo Y si numerano dal basso verso l'alto e da sinistra a destra (cioè per coordinata X crescente, e a parità di coordinata X per Y crescente).

Si osservi ad esempio la numerazione in fig. 21.



**Fig. 21.** Esempio di numerazione delle pareti.

- **Dis.** = Indica se la parete viene disegnata o meno nelle rappresentazioni grafiche. Un'icona spuntata verde indica sì, altrimenti compare un quadratino rosso. Facendo clic sull'icona si include / esclude dal disegno la parete (questo comando può anche essere eseguito dal menu Disegna).

- **Portante** = Se attivato (casella verde spuntata), la parete assume carico verticale e quindi svolge funzione portante dal punto di vista statico. Questo parametro è disattivato quando la parete non collabora alla resistenza statica (per esempio: tramezzi; murature sui quali non appoggiano le strutture del solaio sovrastante).

- **Controvento** = Se attivato (casella verde spuntata), la parete assume forza orizzontale e quindi svolge funzione di controvento dal punto di vista sismico. Questo parametro è disattivato quando la parete non collabora alla resistenza sismica (per esempio: elementi in c.a. quando se ne trascura il contributo; settori di maschi murari che non abbiano continuità al piano sottostante, nel caso si scelga di considerare come pareti resistenti solo le pareti che presentino continuità verticale dal piano oggetto di verifica fino alle fondazioni; pareti troppo snelle).

- **Tipologia** = Stringa alfanumerica che identifica il tipo della 'parete', ossia se si tratta di maschio murario, di striscia muraria, di setto o pilastro in c.a., di pilastro in acciaio o di trave. Può assumere i seguenti valori:

**M** = parete in muratura (maschio murario).

**S** = strisce (travi alte) in muratura (Si/j = striscia fra i maschi i e j).

**F** = sottofinestra murario (Fi/j = sottofinestra fra i maschi i e j)

**HE, L** = pilastri in acciaio, rispettivamente di tipo HE e calastrellato (consolidato con 4 angolari agli spigoli).

**C** = parete in cemento armato.

**R** = pilastro in cemento armato.

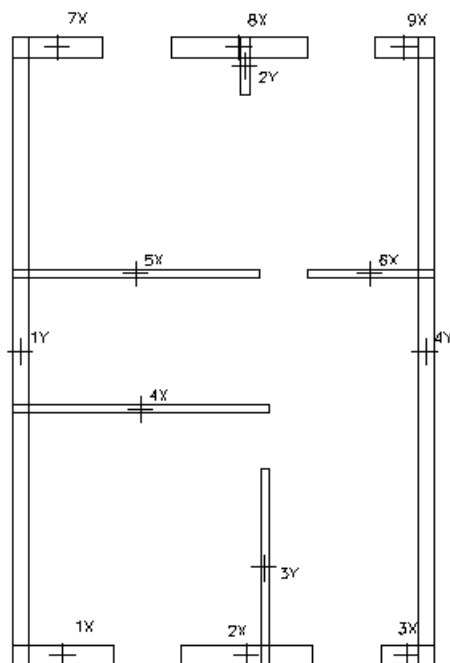
**T** = trave (Ti/j = trave impostata sui maschi i e j).

**A** = muratura armata.

- **Sigla** = Codice alfanumerico di identificazione della singola parete. Pareti lunghe frazionate in più porzioni possono avere la stessa sigla (in modo che sia possibile riassembrarne la rigidezza qualora il corrispondente parametro sia attivato nei Parametri di Calcolo).

La parete, oltre al proprio numero progressivo (che peraltro può variare cambiando il numero totale di pareti del piano), può essere identificata attraverso la sigla, che le resta comunque associata.

Per la definizione delle sigle (che comunque sono opzionali) è consigliabile seguire lo stesso criterio della numerazione. Seguendo dunque la numerazione crescente, le pareti secondo X verranno siglate con 1X, 2X, 3X e così via; quelle orientate secondo Y: 1Y, 2Y, 3Y, ecc.



**Fig. 22.** Esempio di attribuzione di Sigla alle pareti.

- **Allineamento** = Codice di identificazione dell'allineamento in pianta a cui appartiene la parete, formato da un numero progressivo + X o Y a seconda della direzione + eventuale angolo di inclinazione.

Gli allineamenti corrispondono ai 'fili' di riferimento della pianta; ognuno di essi rappresenta la parete 'globale', composta in genere da più maschi e strisce, ai vari piani.

Normalmente, gli allineamenti si corrispondono tra i piani inferiori e quelli superiori. Lungo l'altezza di un paramento murario, i carichi si trasmettono dalle pareti più alte a quelle più in basso dell'allineamento rappresentativo del paramento stesso.

Gli allineamenti sono indispensabili ai fini del calcolo dei carichi; essi infatti non solo sono fondamentali per la trasmissione dei carichi verticali da un piano al sottostante, ma anche per la definizione delle maglie di solaio.

Si distinguono allineamenti lungo X e allineamenti lungo Y; essi possono essere anche obliqui.

Si avrà ad esempio:

3X = terzo allineamento in direzione X, parallelo all'asse X;

5Y = quinto allineamento in dir. Y, parallelo all'asse Y;

1X40 = primo allineamento in dir. X, inclinato di 40° in senso antiorario a partire dall'asse +X; le pareti che vi

appartengono avranno  $L_x > L_y$  (in quanto la dimensione maggiore è sempre quella lungo l'allineamento) e angolo di inclinazione in pianta =  $40^\circ$ .

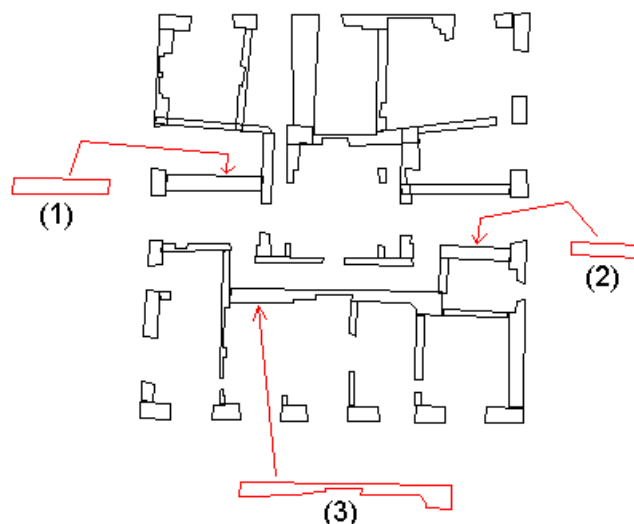
Il significato geometrico degli allineamenti è illustrato in dettaglio al paragrafo B.5.2.: Schematizzazione delle Pareti.

- **Fondaz.** = Se attivato (casella verde spuntata), indica che la parete è fondata sul terreno. Certamente saranno fondate tutte le pareti del piano 1; nel caso di piani sfalsati, possono essere fondate altre pareti ai piani superiori.

### Parametri Geometrici:

- **N° vert.** = Numero dei vertici della poligonale che rappresenta la sezione trasversale della parete. Per pareti a sezione rettangolare, il numero dei vertici è pari a 4.

In PC.M è infatti possibile definire non soltanto pareti a sezione rettangolare, ma anche poligonale: questo consente una migliore descrizione della geometria degli edifici, soprattutto per edifici esistenti in presenza di irregolarità di vario tipo (si consulti il paragrafo B.5.2.12. per l'approfondimento dell'argomento).



**Fig. 23.** Definizione di pareti poligonali e rettangolari.


Nella fig. 23, ad esempio, la parete (1) è quadrilatera generica (a 4 vertici, non rettangolare); la (2) è rettangolare; la (3) è poligonale con 13 vertici.

Eseguendo l'inserimento dati attraverso l'importazione da file DXF, il numero dei vertici viene determinato automaticamente in base alle polilinee definite in ambiente CAD.

Il numero dei vertici è obbligatoriamente pari a 4 per elementi a tipologia T (trave) e A (muratura armata).

Ad ogni poligonale è associato il 'rettangolo rappresentativo', creato allo scopo di rappresentare la parete 'irregolare' con il rettangolo che meglio la approssima. Il 'rettangolo rappresentativo', coincidente con il reale rettangolo nel caso di sezione effettivamente rettangolare, è definito dai parametri geometrici:  $L_x$ ,  $L_y$ ,  $X_g$ ,  $Y_g$ , Angolo, H inizio, H fine (vedi nel seguito).

Se il numero dei vertici è maggiore di 4, è impossibile modificare direttamente i parametri  $L_x$ ,  $L_y$ ,  $X_g$ ,  $Y_g$ , Angolo, H inizio, H fine del rettangolo rappresentativo: la geometria della parete deve essere modificata attraverso l'editazione dei vertici (vedi campo: **Coord. vert.**), oppure occorre prima rendere pari a 4 il numero dei vertici.

- **Coord. vert.**  = Spostando la cella su questo campo, e facendoci clic con il mouse, si attiva la Finestra di editazione dei Vertici (vd. in dettaglio al paragrafo B.5.2.12.1.), dove in una tabella sono riportate le coordinate dei vertici della parete corrente.

E' possibile modificare le coordinate X e Y e l'altezza H per ogni vertice della poligonale descrivente la parete; confermando le modifiche, PC.M aggiornerà il 'rettangolo rappresentativo' della parete corrente (aggiornando

cioè i parametri  $L_x$ ,  $L_y$ ,  $X_g$ ,  $Y_g$ , Angolo, H inizio, H fine).

-  **$L_x$ ,  $L_y$**  = Dimensioni della parete nelle direzioni X e Y corrispondenti agli assi di riferimento.

L'edificio viene riferito, in pianta, ad un sistema di assi ortogonali XY. Gli assi X e Y individuano le due direzioni tra loro ortogonali nelle quali verrà condotta la verifica sismica.

E' importante che la posizione degli assi di riferimento XY sia coerente fra i diversi piani, in modo da assicurare la corretta interpretazione di dati sia a livello geometrico sia per quanto riguarda la trasmissione dei carichi da un piano al sottostante.

Si consiglia, per semplicità, di scegliere un sistema di riferimento che produca coordinate non negative per la posizione del baricentro dei vari elementi strutturali.

**Per una parete poligonale**,  $L_x$  e  $L_y$  rappresentano le dimensioni del 'rettangolo rappresentativo' (= lati paralleli agli assi principali tali da dare un'area uguale all'area reale, ottenuti per similitudine del rettangolo che involupa la poligonale nel sistema di riferimento principale).

-  **$X_g$ ,  $Y_g$**  = Coordinate del baricentro della parete.

**Per una parete poligonale**,  $X_g$  e  $Y_g$  rappresentano la posizione del baricentro del 'rettangolo rappresentativo' (coincidente con la reale posizione del baricentro della poligonale).

- **Angolo** = Angolo di inclinazione in pianta della parete, **positivo se in senso antiorario**, fra l'asse di riferimento (X o Y a seconda dell'allineamento della parete) ed il corrispondente asse locale della parete.

Una parete è inclinata in pianta quando non è orientata secondo le direzioni degli assi di riferimento X o Y.

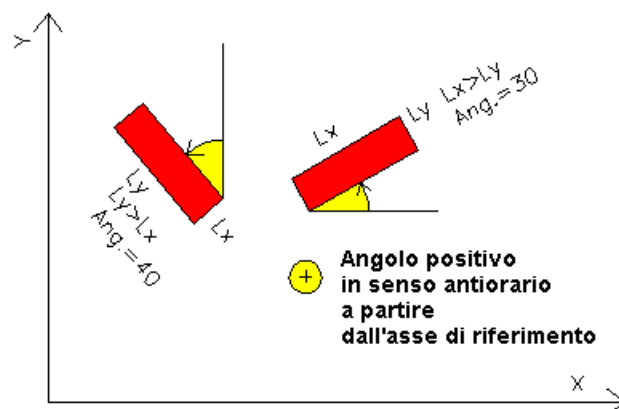
Una parete inclinata può essere vista appartenente ad un allineamento X o Y e formerà un certo angolo con l'asse di riferimento corrispondente.

Gli angoli sono per convenzione positivi se misurati in senso antiorario a partire dall'asse +X o +Y.

Gli esempi riportati in fig. 24 sono tutti validi in PC.M.

Si tenga comunque presente che per accertarsi della correttezza dei dati introdotti è consigliabile controllare la rappresentazione della geometria nelle finestre grafiche 2D e 3D.

**Per una parete poligonale**, Angolo rappresenta l'angolo di inclinazione in pianta del 'rettangolo rappresentativo' (coincidente con l'angolo del sistema di riferimento principale della poligonale rispetto agli assi XY).



**Fig. 24.** Pareti inclinate in pianta.

- **Altezze H inizio, H fine, H base** = Altezza iniziale della parete, altezza finale, altezza (o quota) di base (distanza della base della parete dal piano di solaio).

Per una parete orientata secondo X, l'altezza iniziale 'H inizio' è quella corrispondente all'inizio della parete, cioè alla X minore; per una parete orientata secondo Y, l'altezza iniziale 'H inizio' corrisponde alla Y minore.

Valori diversi per 'H inizio' e 'H fine' definiscono una parete a forma trapezia (cioè con sommità a quota variabile, come ad esempio può aversi per un sottotetto).

L'altezza 'H base' può essere utile per una migliore rappresentazione geometrica nel caso di piani sfalsati. Nel caso di **travi**, l'altezza iniziale e finale corrispondono all'estradosso della trave nelle sezioni iniziale e finale, mentre 'H base' rappresenta l'altezza della sezione (la cui base invece è una delle due dimensioni Lx o Ly).

Le altezze H inizio, H fine, H base sono utilizzate per descrivere la reale geometria della parete, in modo da considerarne l'effettivo volume e quindi il reale peso proprio. L'altezza geometrica viene utilizzata per le verifiche per azioni ortogonali nell'interpiano.

**Per una parete poligonale**, H inizio e H fine sono entrambe uguali all'altezza media della parete avente sezione trasversale pari al rettangolo rappresentativo e volume uguale alla parete reale (per ogni vertice della quale l'altezza H è definita insieme alle coordinate dei vertici X, Y); H base è invece definita indipendentemente, in quanto la base della parete - sia che abbia sezione rettangolare, sia poligonale - è sempre posta su un piano orizzontale, individuato quindi da un'unica quota (definita, appunto, da H base).

- **Altezza H calc** = E' l'altezza di calcolo della parete per azioni complanari, utilizzata ad esempio nelle verifiche tipo Por. Può essere diversa dall'altezza geometrica, in seguito alla schematizzazione adottata. Ad esempio, nel caso di solai rigidi si può scegliere di attribuire H calc pari all'altezza netta di interpiano (pensando rigida la fascia alta corrispondente allo spessore del solaio sovrastante impostato sulla parete stessa); nel caso di piani sfalsati schematizzati con tanti impalcati quanto sono le diverse quote degli orizzontamenti dell'edificio (schema tipico nel caso di sfalsamento a mezzopiano), l'altezza geometrica corrisponde a metà altezza di piano, mentre quella di calcolo deve essere pari all'altezza di piano (altrimenti vengono considerati elementi molto più rigidi di quanto effettivamente siano).

#### Parametri relativi al Materiale (muratura):

##### - Per tutti gli edifici:

**Tipo** = Numero di identificazione del tipo di materiale. Collega il materiale della parete ai dati inseriti nella Tabella dei Materiali. *Per predefinitzione*, si ha: **1. Cemento Armato**; **2. Acciaio**. Tutti i tipi successivi si riferiscono invece a murature. *I tipi 1 e 2 non devono essere cambiati*, altrimenti PC.M non può associare agli eventuali elementi in c.a. e/o acciaio, inseriti nell'insieme resistente dell'organismo strutturale, il relativo materiale.

**G** = modulo di elasticità tangenziale.

**E** = modulo di Young.

**Dutt.** = duttilità.

**P.spec.** = peso specifico in kg/mc (nel caso delle **travi**, è da intendersi come peso proprio lineare, in kg/ml).

##### - Per edifici nuovi:

**f,bk** = resistenza a compressione dell'elemento nella direzione dei carichi verticali.

**f',bk** = resistenza a compressione dell'elemento nella direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della muratura.

**Malta** = tipo di malta.

**f,k** = resistenza caratteristica a compressione della muratura.

**f,yko** = resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali.

##### -Per edifici esistenti:

**Tau,k** = tensione tangenziale caratteristica

**S,k** = tensione caratteristica a compressione

**S,tr** = tensione caratteristica a trazione

**S,po, S,pv** = tensioni di precompressione orizzontale e verticale dovute ad eventuali tiranti agenti nel piano della parete.

#### Parametri relativi ai Vincoli:

- **V.fless.  $x \cdot EJ/h^3$**  = Rigidezza alla traslazione orizzontale:  $x \cdot EJ/h^3$ , per forza agente in sommità. Il parametro 'x' è rappresentativo del vincolo flessionale per azioni complanari. La parete, vista come elemento monodimensionale che si sviluppa in altezza, si considera sempre incastrata alla base. Il classico schema a doppio incastro (incastro scorrevole in sommità) corrisponde a  $x=12$ ; per lo schema a mensola (estremo libero in sommità) si ha:  $x=3$ . Un valore di x compreso fra 3 e 12 rappresenta un grado di semincastro in sommità. Corrispondentemente, vi è una valutazione dei momenti flettenti per flessione complanare alla base e in sommità. Per doppio incastro, sia alla base sia in sommità si ha:  $M=Fh/2$ ; per la mensola: in sommità,  $M=0$ , e alla base:  $M=Fh$ . I gradi intermedi di semincastro generano momenti intermedi fra gli estremi detti.

- **Az. Ort.  $qh^2/x$**  = Momento flettente nella mezzeria (metà altezza) della parete, per la valutazione della sollecitazione per PressoFlessione per azioni ortogonali, con riferimento all'altezza di interpiano.

'x' è quindi il denominatore del momento per Azioni Ortogonali.

Si ipotizzano vincoli uguali alla base e in sommità. Per  $x=8$  si ha lo schema dell'articolazione (cerniere alla base e in sommità), con momento massimo in mezzeria e nullo agli estremi; per valori di x maggiori, il momento in mezzeria diminuisce, corrispondentemente ad un vincolo di semincastro agli estremi. Per valori di  $x>8$ , il software calcola anche il momento agli estremi. **Per  $x>18.4$** , il momento agli estremi supera quello in mezzeria. Il software effettua automaticamente anche le verifiche nelle sezioni di estremità (base e sommità) qualora il corrispondente parametro nei 'Parametri di Calcolo' sia attivato (scheda 'Parametri Vari (1)', 'Per Azioni Ortogonali').

PC.M offre la possibilità di **escludere singole pareti** dalle verifiche a pressoflessione ortogonale eseguite sulle pareti d'interpiano. Le verifiche vengono sempre svolte su tutte le pareti di controvento, poiché - anche se le verifiche a pressoflessione ortogonale investono la parete ortogonalmente al suo piano medio - sono le pareti di controvento che si considerano reagenti alle sollecitazioni orizzontali. Se tuttavia si vuole escludere da questo tipo di verifica locale alcune pareti, è sufficiente digitare **0** nel campo 'Az. Ort.  $qh^2/x$ '.

- **Interasse irrigidimenti** = Distanza fra due muri ortogonali alla parete considerata. Quando nella parete viene definito un setto (cioè il dato nella colonna 'Setto' - vd. oltre - non è vuoto), per il calcolo della snellezza si utilizza questo parametro, da cui dipende il fattore laterale di vincolo  $\rho$  (punto 2.2.1.3., D.M. 20.11.1987). Qualora l'interasse irrigidimenti sia nullo, si assume automaticamente (a favore di sicurezza)  $\rho=1$ .

#### Parametri relativi ai Carichi:

(G = carichi permanenti, Q = carichi accidentali):

**Spinta terr.** = Se attivato (casella verde spuntata), indica che la parete può essere soggetta all'azione della spinta del terreno. Di fatto, lo sarà soltanto se la sua quota di base assoluta risulterà inferiore rispetto alla profondità di inizio della spinta delle terre (profondità valutata in base ai 'Parametri di Calcolo' relativi alle caratteristiche geotecniche e geometriche di 'Terreno e Fondazioni', vd. paragrafo B.3.3.1.4.).

La **spinta del terreno** ha influenza sulle Azioni Ortogonali; per sua stessa natura, infatti, agisce localmente in direzione ortogonale alla parete.

Nelle verifiche ad azioni ortogonali (Compressione D.M. 20.11.1987, PressoFlessione per Azioni Ortogonali Sismiche) oltre alle azioni dovute ai solai e ai pesi propri, può essere presente la spinta del terreno (azione ortogonale verso l'interno dell'edificio, con opportuno incremento nel caso sismico).

Nel caso sismico, l'azione ortogonale dovuta ai pesi e la spinta del terreno sono considerate equiverse (quindi dirette verso l'interno dell'edificio). Nel caso di riferimento al D.M. 20.11.1987, il segno dell'eccentricità non viene considerato, perché secondo Normativa le eccentricità si combinano convenzionalmente in valore assoluto. Alla spinta statica del terreno si applica il coefficiente di combinazione del carico permanente (nella Normativa sui Ponti, le spinte delle terre sono considerate carichi permanenti).

Può essere inoltre presente l'azione di spinta delle volte: se contemporanea alla spinta del terreno, viene scelta tra le due quella che produce effetti maggiori: esse infatti corrispondono a sismi sì in direzione ortogonale alla parete ma in versi opposti (le volte tendono a spingere la parete verso l'esterno).

Per quanto riguarda la verifica statica a Compressione secondo il D.M. 20.11.1987, al momento del vento si sostituisce il momento del terreno se la parete è soggetta a spinta del terreno (le due condizioni di carico - vento e spinta terreno - si considerano alternative). La combinazione delle eccentricità è convenzionale. Nel caso del vento, si considera il vento in pressione (dall'esterno), così come la spinta del terreno agisce dall'esterno. Ciò genera un'eccentricità positiva o negativa a seconda della posizione della parete, ma se ne prescinde dal segno

perché tale eccentricità (prima di combinarsi con quella strutturale) va assunta in valore assoluto, così come quella strutturale.

Nei calcoli svolti da PC.M non viene considerata l'interazione fra la spinta del terreno su una parete ed un eventuale incremento della pressione verticale applicata sul terreno dalla fondazione della parete stessa, tranne che nel caso che la spinta sia rivista come forza orizzontale globale aggiuntiva rispetto alla forza sismica: in tal caso, il momento ribaltante generato dall'azione orizzontale contiene in sé anche l'informazione aggiuntiva della spinta del terreno.

#### **Carichi applicati:**

i carichi che è possibile specificare nei Dati Pareti sono aggiuntivi rispetto a quelli automaticamente valutati attraverso la definizione delle maglie di solaio e la corrispondente analisi automatica dei carichi.

Per varie tipologie di carico (verticale: concentrato, distribuito, di superficie; orizzontale ortogonale alla parete) si possono specificare i valori dei carichi, il coefficiente di riduzione sismica per la quota parte accidentale, e l'eccentricità di azione sulla parete.

L'eccentricità dei carichi riguarda sempre la zona di applicazione del carico sulla parete stessa, trascurando momenti dovuti alla posizione della risultante esterna rispetto alla parete: ad esempio, nel caso di un balcone di luce 120 cm. che appoggia sulla parete a tutto spessore (30 cm.) l'eccentricità non deve essere specificata come 60 cm., ma come distanza dal baricentro della sezione del punto di applicazione della risultante sul vincolo di appoggio (normalmente si assume una distribuzione triangolare, e quindi: 5 cm.)

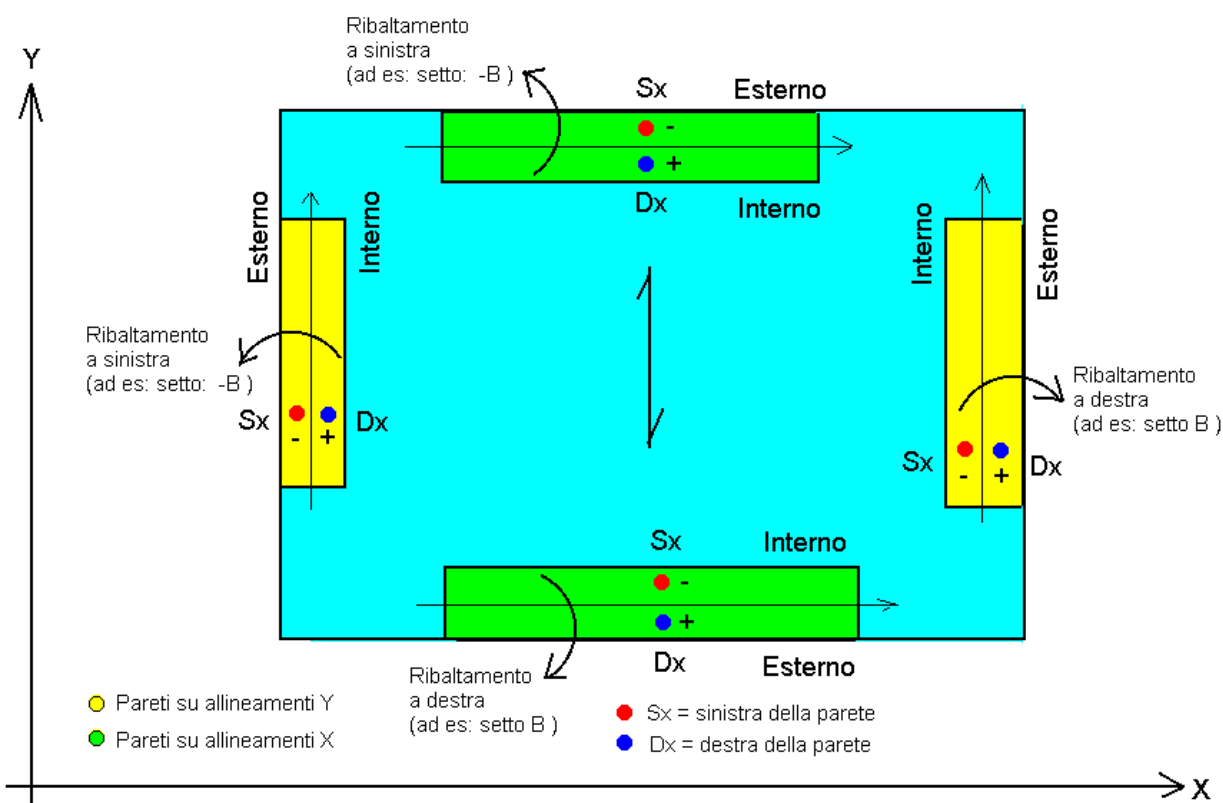
- **Vert. conc.** = Carichi verticali concentrati agenti in sommità della parete (per esempio: masse gravanti sulle pareti ma non computabili attraverso la schematizzazione dell'edificio stesso: p.es. torri, aggetti, ecc.):

**G** = carico permanente

**Q** = carico accidentale

**Rid. s** = coefficiente di riduzione del sovraccarico

**Ecc.** = eccentricità del carico, positiva se alla destra del piano medio (baricentro) della parete. Per definire 'destra' e 'sinistra' della parete, questa deve essere percorsa nel verso positivo del corrispondente asse di riferimento. Per esempio, una parete X viene percorsa da destra a sinistra e quindi la sua destra è verso il basso, nel piano del disegno; una parete Y viene percorsa dal basso verso l'alto e quindi la sua destra è a destra, nel piano del disegno. Pareti lungo allineamenti obliqui sono sottoposte alla stessa convenzione corrispondente al tipo di allineamento (X o Y). In fig. 25 sono rappresentate le convenzioni di PC.M.



**Fig. 25.** Convenzioni sulle Eccentricità dei carichi e sull'orientamento delle pareti. Si notino anche i versi di Ribaltamento per i setti (definiti da pareti su prospetti) e le convenzioni sul segno per la denominazione dei 'setti'.

- **Vert. distr.** = Carichi verticali distribuiti agenti in sommità della parete (per esempio: balconi, gronde qualora non si sia optato per la schematizzazione a solaio - attraverso l'uso di travi di contorno - di tali aree di carico):

**G** = carico permanente

**Q** = carico accidentale

**Rid. s** = coefficiente di riduzione del sovraccarico

**Ecc.** = eccentricità del carico, positiva se alla destra della parete.

Nel caso di carichi distribuiti, lungo un dato allineamento il software gestisce le zone vuote tra un maschio e il successivo (corrispondenti alle aperture) in modo da definire come lunghezza della stesa di carico quella realmente competente al maschio murario (ad esempio, con inizio da metà apertura prima del maschio e fine a metà apertura dopo il maschio).

- **Sup.** = Carichi verticali di superficie:

**G** = carico permanente

**Ecc.** = eccentricità del carico, positiva se alla destra della parete.

I carichi di superficie rappresentano gli intonaci, o ad esempio blocchi a faccia-vista ancorati alla parete che non possono determinare un maggior spessore resistente della parete stessa ma che sono presenti come carico eccentrico (in tal caso, si può attribuire un'eccentricità pari a metà spessore della parete). Data la loro natura, i carichi di superficie sono solo di tipo permanente, e di fatto concorrono a formare il 'peso proprio' della parete.

- **F** = Forze orizzontali applicate in sommità della parete, in direzione ad essa ortogonale:

**F perm.** = forza permanente

**F acc.** = forza accidentale

Le forze orizzontali direttamente applicate sono spinte ortogonali che possono essere generate, ad esempio, dalle coperture. Vengono utilizzate nelle verifiche ad azioni ortogonali (ribaltamento e PressoFlessione). Le spinte



delle volte possono non essere specificate, in quanto calcolate automaticamente a partire dai solai a volta definiti nei Dati Solai.

- **sigma,0** = Tensione verticale direttamente specificata. Questo dato è superfluo se la tensione viene calcolata automaticamente dai carichi inseriti (o direttamente o tramite le maglie di solaio). La sigma,0 compare per compatibilità col tradizionale schema di dati del Metodo Por; se presente, essa sostituisce completamente ogni tensione calcolata automaticamente. Si tenga presente che sigma,0 è considerata globale alla base della parete, e risulta ovviamente impossibile distinguerne la quota parte permanente e quella accidentale (quindi include anche il peso proprio). Nei consueti casi di analisi dei carichi svolta dal software, sigma,0 è da considerarsi nulla.

#### Parametri relativi ai Setti:

- **Setto** = Definisce l'eventuale setto appartenente alla parete. Mentre le 'Pareti' sono per definizione i maschi murari di interpiano, i 'Setti' sono i paramenti esterni a tutt'altezza (dalla fondazione alla sommità) che saranno sottoposti alle verifiche a Ribaltamento e a PressoFlessione per Azioni Ortogonali. I Setti, sempre considerati nel calcolo come strisce di base 1.00 m., vengono definiti adottando una sigla specifica per ogni paramento murario (ad. es. A, B, ...) e attribuendola, piano per piano, alle pareti che compongono tale setto. Tale sigla è preceduta da un segno meno: "-" (ad es.: -A) qualora il setto ribalti alla sua sinistra (in tale modo viene assicurata la corretta interpretazione dei segni delle azioni ribaltanti e stabilizzanti) (vd. fig. 25). Questo campo è vuoto se nell'edificio non sono stati definiti i setti. La non definizione dei setti non impedisce l'analisi strutturale: semplicemente, la Verifica a Ribaltamento non viene eseguita; la Verifica a PressoFlessione per Azioni Ortogonali, può invece essere eseguita facendo riferimento alle pareti sull'altezza di interpiano (per le quali viene adottato il vincolo 'Az. Ort. qh<sup>2</sup>/x' precedentemente descritto).

- **Vincolamento efficace** = Per le medesime pareti interessate dalla definizione dei Setti, specifica se il solaio di interpiano costituisce vincolo efficace per la parete. Se sì, nella verifica ad Azioni Ortogonali per PressoFlessione del setto verrà considerato un appoggio di trave continua, altrimenti la sezione sarà libera (se tutti i vincoli sono inefficaci, la verifica riguarderà uno schema a mensola; nei vari casi possibili si avranno travi continue con incastro alla base e appoggi nel corso dello sviluppo in altezza, con campate composte ognuna da uno o più interpiani, a seconda della presenza di vincoli efficaci). Ai fini della verifica a Ribaltamento l'efficacia del vincolo non svolge alcun ruolo, in quanto - in tal caso - sono le forze di tirantaggio (assicurate da tiranti, catene, cordoli, controventi di solaio) che garantiranno la stabilità, traducendosi poi in vincoli efficaci per la verifica a PressoFlessione.

- **Tiro** = Definisce l'azione di 'tirantaggio', il cui significato è - in generale - quello di azione stabilizzante. I tiri sono spesso dovuti a catene, ma possono essere generati da qualunque sistema in grado di contrastare il ribaltamento rigido del setto (p.es. una rete elettrosaldata nel solaio ammorsata nel cordolo della parete dove si schematizza il setto, può - con i propri tondini - realizzare un tiro resistente idealmente simile a 'catene' diffuse). Anche questo parametro, come il 'Vincolo efficace', assume significato solo per le pareti oggetto di definizione di setti.

Per calcolare il tiro come forza a ml., è possibile utilizzare il comando di utilità: 'Tiro dai tiranti' del menu Opzioni della finestra Pareti.

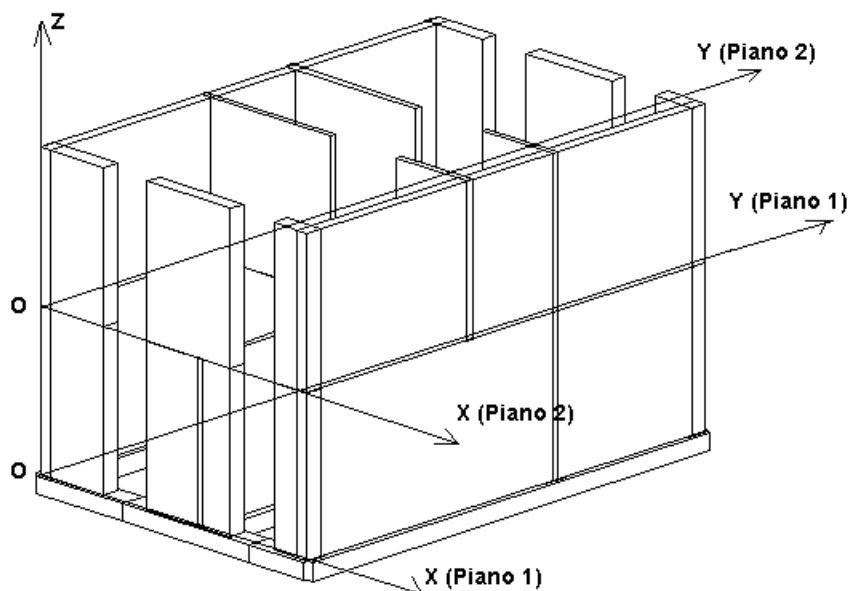
#### B.5.2. SCHEMATIZZAZIONE DELLE PARETI

Nei paragrafi seguenti vengono descritti i criteri geometrici in base ai quali gli elementi verticali resistenti ('pareti') della struttura reale originaria vengono schematizzati, cioè trasformati nel modello matematico, per l'analisi con PC.M. Verranno anche analizzate le diverse tipologie, che comprendono elementi in muratura, cemento armato, acciaio e pareti, strisce ed elementi di sottofinestra, pilastri, travi.

Si definiranno in dettaglio anche i 'setti', ovvero le strisce continue di muratura, aventi larghezza 1.00 m., ubicate sui prospetti dell'edificio lungo tutta l'altezza, per le quali si eseguiranno, in sede di analisi, le verifiche ad azioni ortogonali per Ribaltamento e per PressoFlessione.

### B.5.2.1. DEFINIZIONE DELLO SCHEMA RESISTENTE

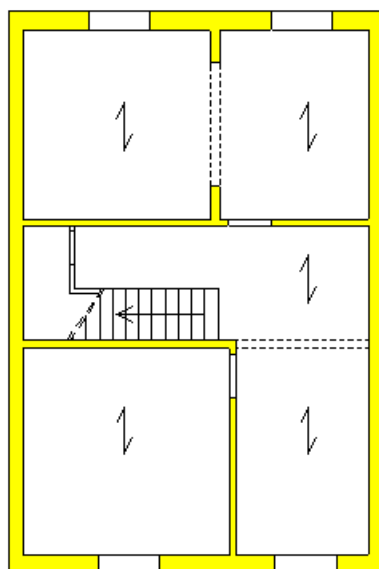
Dal punto di vista strutturale, l'edificio in muratura è un'entità spaziale costituita da orizzontamenti (solai, con eventuali travi) ed elementi resistenti verticali (pareti o maschi, strisce, pilastri).



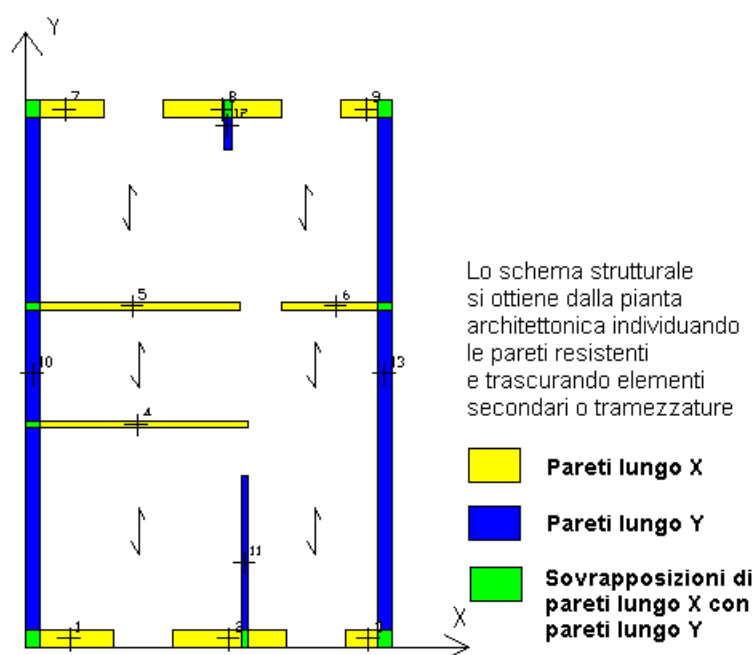
**Fig. 26.** Schema spaziale dell'edificio con assi di riferimento XY ai diversi piani.

Questi componenti sono caratterizzati dai materiali che li costituiscono, dalle condizioni al contorno (vincoli), e dai carichi applicati: Geometria, Materiali, Carichi e Vincoli sono quindi i gruppi di parametri che definiscono ogni elemento strutturale.

Dagli elaborati architettonici di un edificio (progetto o rilievo, fig. 27) si estrae lo schema strutturale (fig. 28): ogni piano viene riferito ad un sistema di assi cartesiani XY, con origine in un punto scelto a piacere (ad esempio l'origine si può far coincidere col vertice inferiore a sinistra in pianta, evitando così coordinate negative). Ponendo le origini dei vari piani sulla stessa verticale, il sistema di assi XY diviene globale, con asse Z individuato dalle origini.

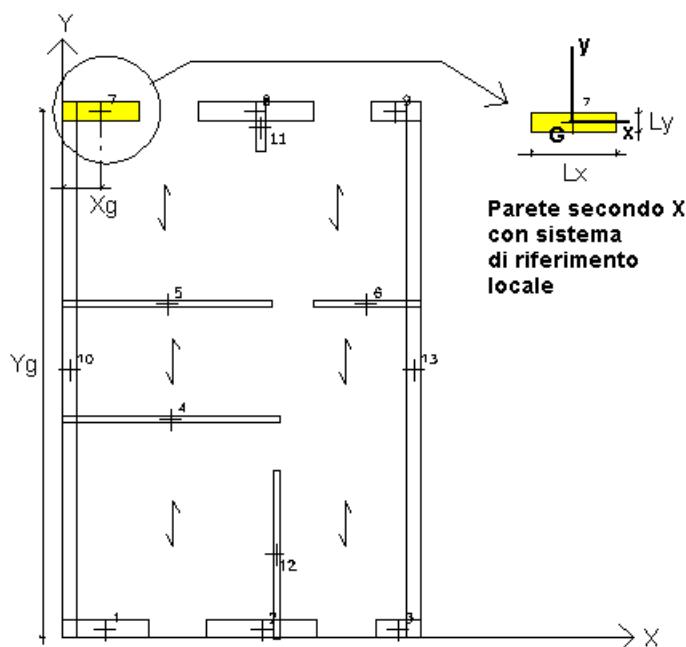


**Fig. 27.** Esempio di pianta architettonica del piano di un edificio.

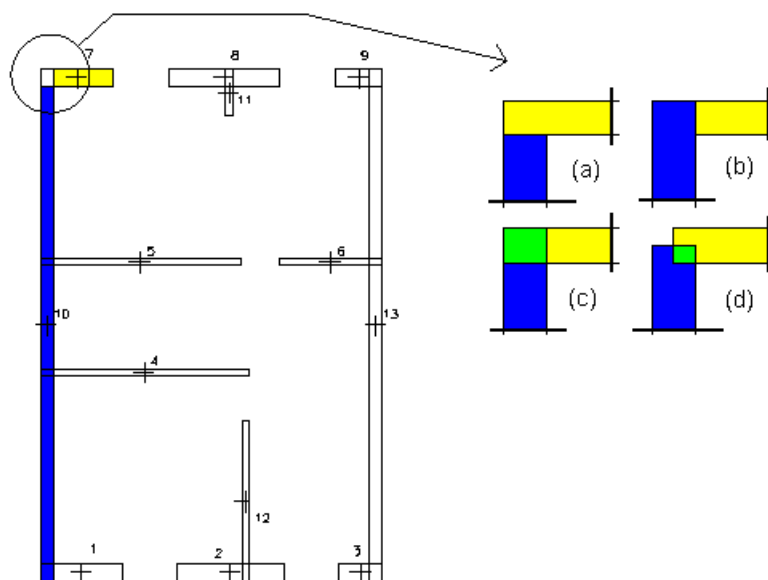


**Fig. 28.** Pianta delle strutture tratta dalla pianta architettonica di Fig. 27.

Scartando tutti gli elementi secondari (ad es. tramezzi), vengono individuate le strutture resistenti, ordinate secondo le due direzioni X e Y. Le pareti vengono caratterizzate dalle sezioni trasversali, ognuna con le proprie dimensioni e la propria posizione individuata dal baricentro locale (fig. 29); le pareti possono ovviamente avere sezione trasversale inclinata in pianta: in tal caso, un angolo di inclinazione rispetto agli assi di riferimento ne completa la definizione. Incertezze di schematizzazione geometrica possono presentarsi nei punti di intersezione di più pareti, come ad esempio negli angoli dell'edificio.



**Fig. 29.** Parete resistente, con i propri parametri geometrici, tratta dalla pianta di Fig. 27.

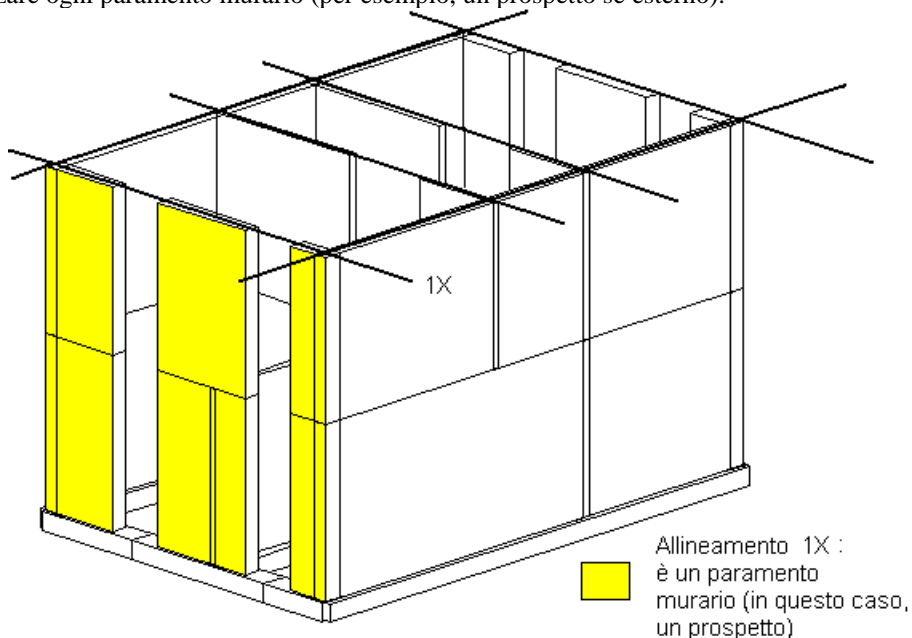


**Fig. 30.** Considerazioni sull'intersezione di pareti resistenti.

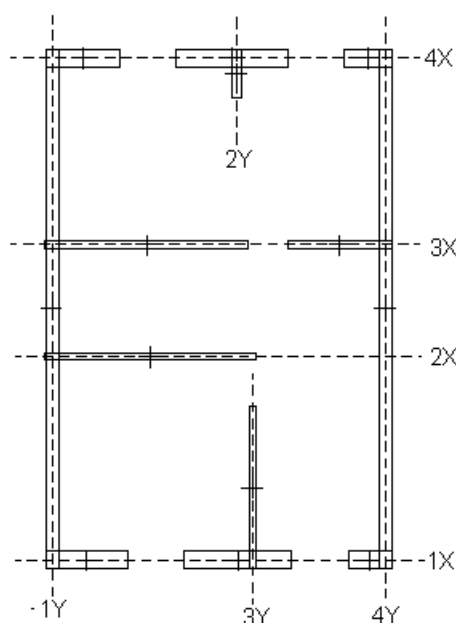
Schemi come ( a ) e ( b ) in fig. 30 sono praticamente equivalenti ai fini dei calcoli strutturali; se le pareti sono ben ammassate l'una nell'altra sono idonei gli schemi ( c ), ( d ).

### B.5.2.2. ALLINEAMENTI

Nello schema dell'edificio in muratura, gli allineamenti costituiscono i cosiddetti 'fili' di riferimento, in modo da caratterizzare ogni paramento murario (per esempio, un prospetto se esterno).



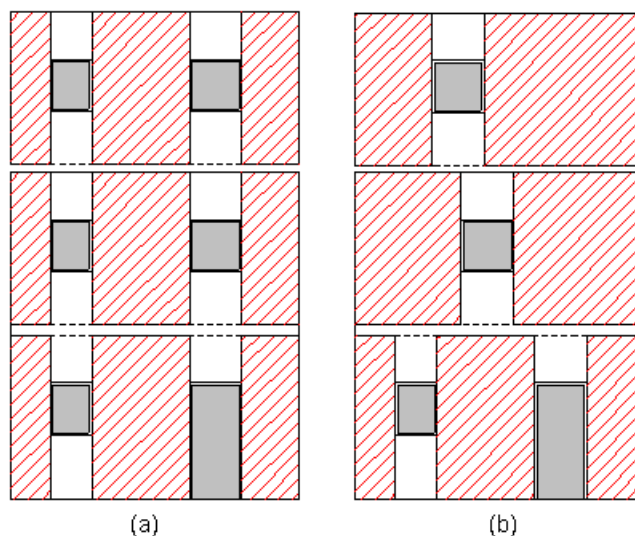
**Fig. 31.** Allineamenti nello schema spaziale 3D dell'edificio.



**Fig. 32.** Allineamenti nello schema 2D di un piano dell'edificio.

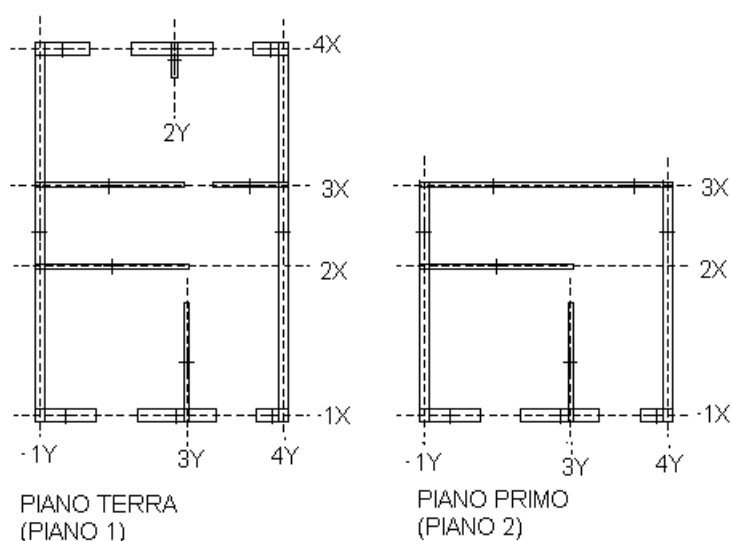
Gli edifici in muratura sono in genere caratterizzati da una buona regolarità strutturale, requisito peraltro indispensabile per gli edifici nuovi. Le pareti si sviluppano ai diversi piani su tutta l'altezza dell'edificio, eventualmente variando il proprio spessore.

Nel caso di edifici esistenti con pareti sfalsate, alcuni allineamenti possono non coincidere fra piani distinti, e comunque è possibile riscontrare elementi verticali che non si corrispondono fra un piano e l'altro (ad esempio, nel caso di prospetti con aperture disallineate).



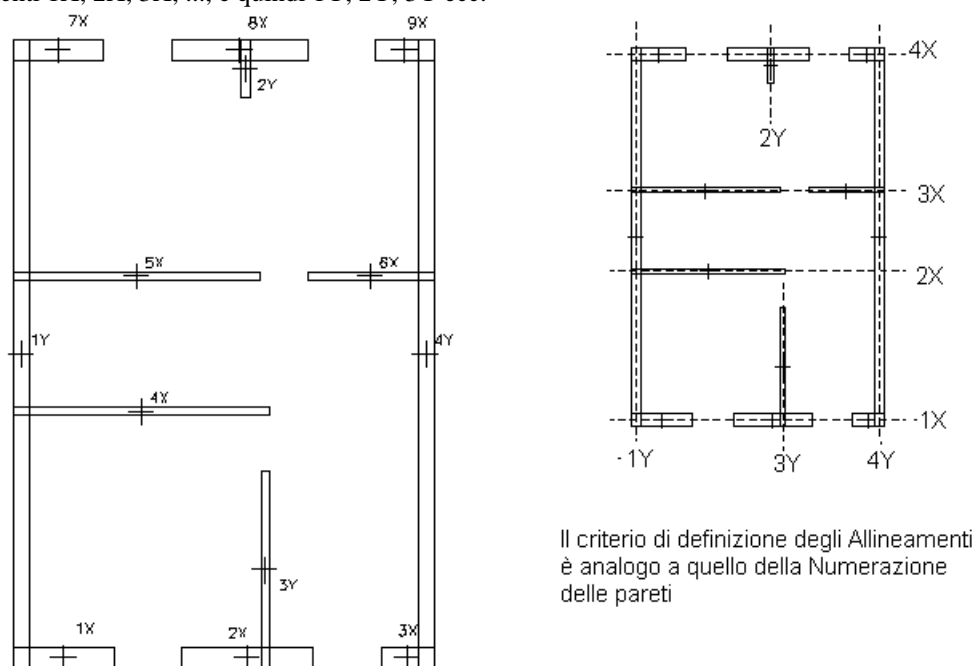
**Fig. 33.** Come possono corrispondersi le pareti fra i diversi piani.

Nella figura 33.b, sia al piano terra che al piano primo i maschi, seppur disallineati, sono caratterizzati dallo stesso allineamento. In altri casi, la mancata corrispondenza delle pareti fra un piano e l'altro può generare una variazione nel gruppo di allineamenti presenti ai diversi piani. In fig. 34 è rappresentato un edificio avente a piano terra una pianta più ampia rispetto al piano primo: alcuni allineamenti del piano terra non trovano quindi corrispondenza superiormente.



**Fig. 34.** Esempio di variazione di allineamenti tra Piano Terra e Piano Primo.

In PC.M, per ogni parete l'allineamento di appartenenza è un dato obbligatorio: in base agli allineamenti, infatti, PC.M esegue una serie di elaborazioni, quali: la definizione delle maglie di solaio e quindi delle pareti da esse interessate, la trasmissione dei carichi dai piani superiori ai sottostanti, la definizione dei perimetri di piano e delle azioni dovute al vento. Per definire gli allineamenti, se non si utilizzano i comandi di ottimizzazione di PC.M, è consigliabile seguire un criterio simile a quello della numerazione delle pareti: si definiranno dunque gli allineamenti 1X, 2X, 3X, ..., e quindi 1Y, 2Y, 3Y ecc.



**Fig. 35.** Pareti resistenti e allineamenti.

Per facilitare le relazioni fra pareti limitrofe leggermente disallineate (caso che frequentemente si verifica in edifici esistenti), in PC.M ad uno stesso allineamento possono appartenere pareti non aventi lo stesso spessore e/o la stessa coordinata baricentrica, purché 'all'incirca' allineate. Questa 'approssimazione' può essere stimata osservando i casi di fig. 36.

a) Pareti regolarmente allineate: appartengono tutte senz'altro allo stesso allineamento.

b) Pareti 'leggermente' disallineate: pur non potendo individuare una retta che ne colleghi i baricentri, gli scostamenti sono piccoli e si può assumere che le pareti appartengano tutte ad un medesimo allineamento (che in PC.M verrà posizionato sul baricentro della prima parete che gli appartiene).

c) Pareti decisamente disallineate: a meno di casi particolari, è sconsigliabile farle appartenere tutte allo stesso allineamento. PC.M lascia all'utente libertà di decisione.

In ogni caso, PC.M posiziona la retta rappresentativa di un allineamento nel baricentro della prima parete che gli appartiene.

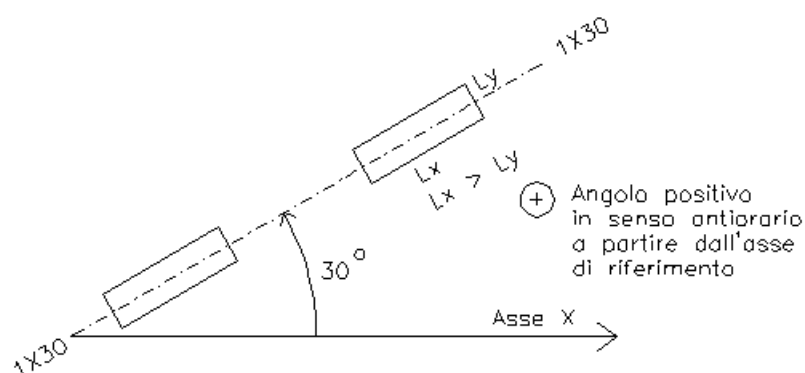


**Fig. 36.** Definizione geometrica di un allineamento.

Per pareti inclinate in pianta, anche gli allineamenti vengono definiti con angolo di inclinazione.

Rispettando quanto precedentemente detto per i piccoli scostamenti all'interno di un gruppo di pareti poste 'più o meno' lungo uno stesso allineamento, è possibile far appartenere ad un allineamento inclinato con un certo angolo anche pareti aventi angoli 'leggermente' diversi.

Nella figura 37, due pareti inclinate di  $45^\circ$  rispetto all'asse X appartengono ad un allineamento X (per esempio, 1X) inclinato di  $45^\circ$  e denominato: 1X45 (codice alfanumerico composto da: numero consecutivo dell'allineamento + X o Y + angolo in gradi).



**Fig. 37.** Gli allineamenti sono inclinati nel caso di pareti inclinate.

### B.5.2.3. MASCHI MURARI

Con riferimento alla parete 'globale' di un edificio, composta da un insieme di maschi, aperture, ed elementi sotto/sopra aperture (strisce incluse), si possono individuare i 'maschi' in due diversi modi.

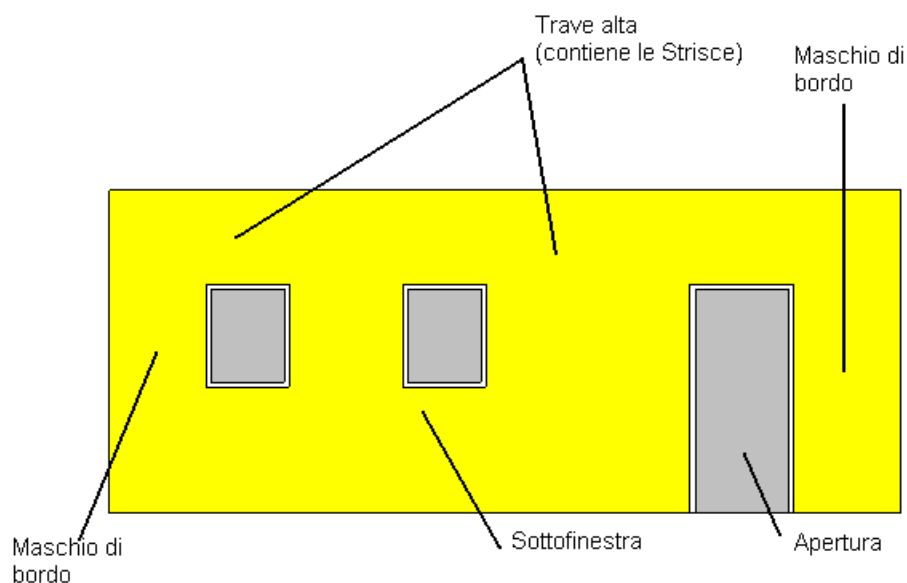


Fig. 38. Esempio di parete globale.

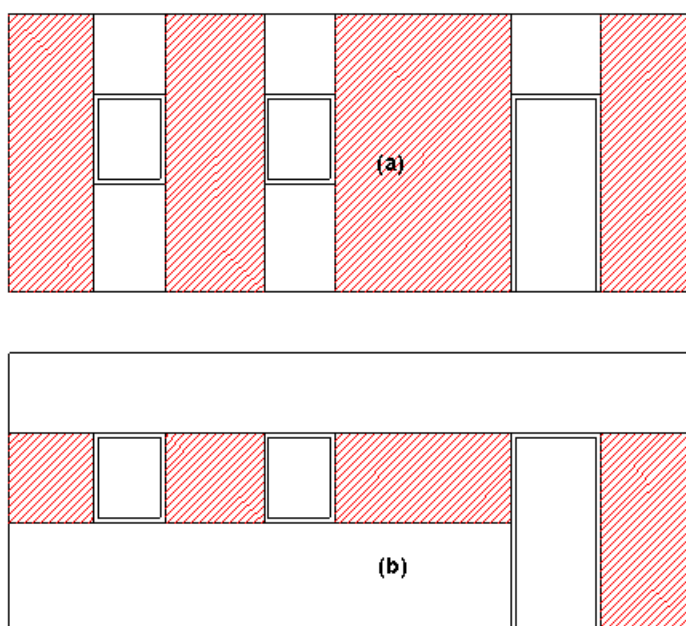


Fig. 39. Possibili definizioni dei maschi murari.

Quando le zone sotto/sopra-finestra e sopra-porta hanno spessore inferiore al resto della parete, ossia nel caso di uno sguancio, si assume lo schema di fig. 39.a; in caso invece di spessore uniforme, la trave alta va ad irrigidirsi col solaio e quindi lo schema più appropriato è quello di figura 39.b.

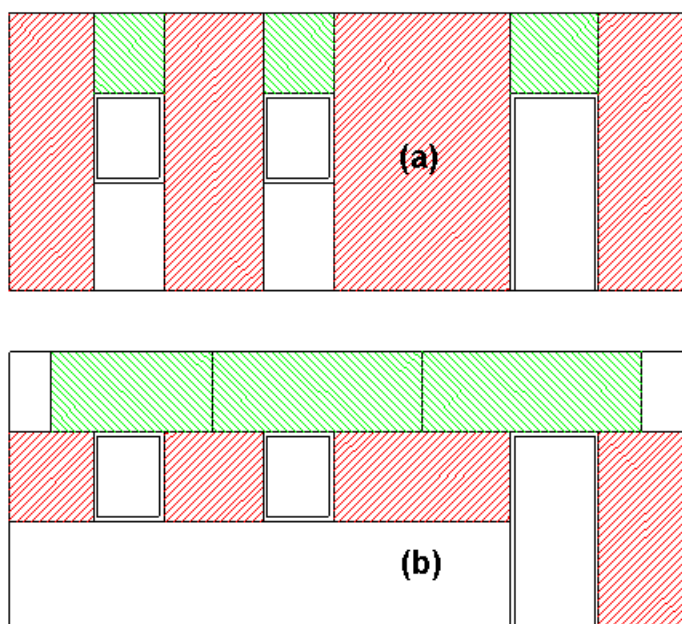
Lo schema viene quindi scelto in base alla rigidità della zona muraria di collegamento sopra (o sotto) le aperture. E' consuetudine adottare in genere lo schema di maschio a tutt'altezza ( a ), con strisce date dalle zone intermedie.

I maschi murari sono identificati in PC.M con la Tipologia **M**. Questa tipologia include anche i pilastri murari che si vogliono inserire nel calcolo, quadrati o circolari: in quest'ultimo caso occorre considerare una sezione trasversale rettangolare equivalente.



#### B.5.2.4. STRISCE

Per 'striscia' si intende una parte della 'trave alta' muraria di collegamento, soprastante i maschi murari. Ogni striscia si riferisce ai maschi su cui si imposta (due o uno). Il suo peso proprio concorre alla determinazione dei carichi agenti sui maschi murari su cui si imposta; la sua funzione statica assume rilievo solo nell'ambito del metodo PorFlex, con resistenza a trazione non nulla (si ricorda comunque che PorFlex può essere applicato anche senza strisce).



**Fig. 40.** Possibili definizioni delle strisce.

Le strisce sono definite diversamente per i casi di maschi a tutt'altezza o meno (fig. 40).

La presenza delle strisce nello schema di calcolo è particolarmente importante, soprattutto in edifici esistenti, per rilevare possibili zone critiche in corrispondenza delle fasce murarie localizzate sopra i maschi, spesso sbrigativamente qualificate come 'infinitamente rigide' (si tratta di uno dei limiti del metodo Por, rimosso dal PorFlex).

Una **striscia impostata tra due maschi** è così definita:

**Si/j**, codice alfanumerico composto da S (sigla della striscia) + numero 'i' del primo maschio + barra "/" di separazione + numero 'j' del secondo maschio.

Una **striscia di bordo**, che ha un solo maschio sottostante, è definita da:

**Si**, con 'i' = numero del maschio.

Per 'numero' di un maschio si intende quello corrispondente alla numerazione progressiva delle pareti. Per definire le strisce, si deve usare la numerazione dei maschi e non la loro 'sigla'.

In caso di variazione della posizione numerica delle pareti nella tabella dati a seguito di modifiche (ad esempio, utilizzando i comandi Inserisci, Elimina, Ottimizza (menu Modifica) e Unisci, Dividi (menu Edit)), PC.M gestisce automaticamente (per travi, strisce e sottofinestra) l'aggiornamento dei riferimenti ai numeri dei maschi su cui si impostano.

In fase di analisi, PC.M rileverà le strisce mal definite, scartandole dalle verifiche.

In fig. 41 si rappresenta una striscia impostata su due maschi.

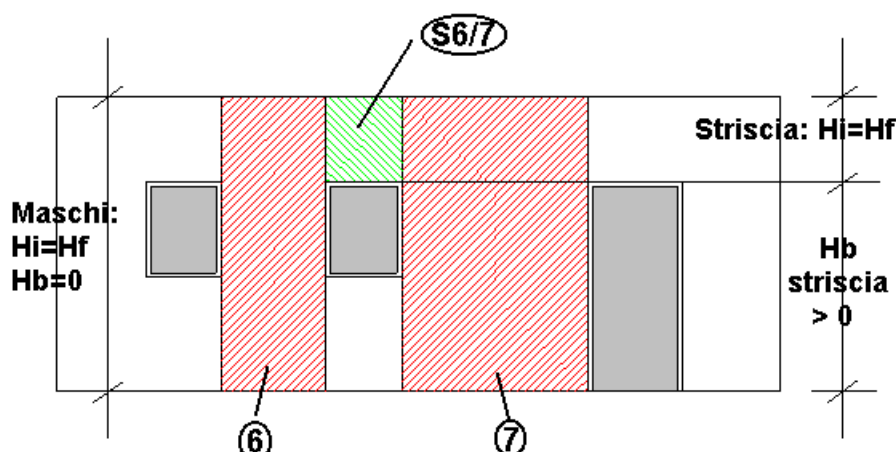


Fig. 41. Schematizzazione di una striscia.

**PC.M genera automaticamente la striscia** quando si inserisce nel campo 'Tipologia' la sua corretta definizione (nel caso di striscia su un solo maschio non è comunque possibile calcolarne automaticamente le dimensioni che devono essere specificate dall'utente). Con riferimento alla fig. 41, se i maschi 4 e 5 sono già stati definiti, digitando: S4/5 la striscia viene automaticamente generata nel seguente modo: l'altezza è posta pari ad 1.00 m.; lo spessore è assunto uguale a quello del maschio 4; la quota di base è calcolata come differenza fra l'altezza finale del maschio 4 e l'altezza della striscia (1.00 m.); il materiale viene posto uguale a quello del maschio 4. L'utente varierà i valori definiti automaticamente quando necessario.

Direttamente dal significato geometrico, l'allineamento di una striscia viene a coincidere con quello dei maschi su cui essa si imposta.

Il dato geometrico H base (altezza di base) significa per la striscia l'altezza dal solaio di calpestio dell'apertura sotto la striscia, cioè la quota del suo intradosso. In genere, sommando 'H base' all'altezza della striscia si ottiene l'altezza di piano (e dei maschi adiacenti). L'utente di PC.M verificherà comunque l'esattezza dei dati geometrici inseriti in tabella Dati Pareti.

Ovviamente, le strisce (come le travi) non possono avere fondazione. Quando le fondazioni vengono definite automaticamente (per esempio con il comando 'Piano 1' del menu Opzioni della finestra Fondazioni) il programma non considera gli elementi 'striscia' e 'trave'.

### B.5.2.5. ELEMENTI DI SOTTOFINESTRA

Gli **elementi di sottofinestra** sono in genere coincidenti in pianta con le strisce sovrastanti, e condividono con le strisce le stesse modalità di inserimento dati. La loro tipologia è però individuata con F anziché S: quindi, si definirà

**Fi/j** un elemento di sottofinestra impostato tra i maschi 'i' e 'j'

e

**Fi** un elemento di sottofinestra di bordo relativo al maschio 'i'.

Quando PC.M rappresenta la pianta nella finestra grafica 2D, elementi coincidenti vengono sovrapposti; attivando la numerazione degli elementi, sarà visibile il numero corrispondente all'elemento disegnato per ultimo (secondo l'ordine di numerazione). Utilizzando la visualizzazione tridimensionale della finestra grafica 3D, è possibile individuare con maggiore chiarezza gli elementi di sottofinestra e le strisce.

Gli elementi di sottofinestra, a differenza delle strisce, non svolgono mai ruolo statico: la loro funzione è unicamente quella di trasmettere il peso proprio ai maschi adiacenti. Talvolta può essere conveniente evitare la schematizzazione dei sottofinestra, specialmente se di spessore ridotto (ad es. a causa della presenza di sguanci); il loro inserimento infatti può apportare variazioni minime sui risultati, ma rende sicuramente più complessa la

gestione dei dati in input.

### B.5.2.6. PILASTRI IN ACCIAIO

Le tipologie H e L si riferiscono a pilastri in acciaio, rispettivamente di tipo HE o calastrellati con angolari.

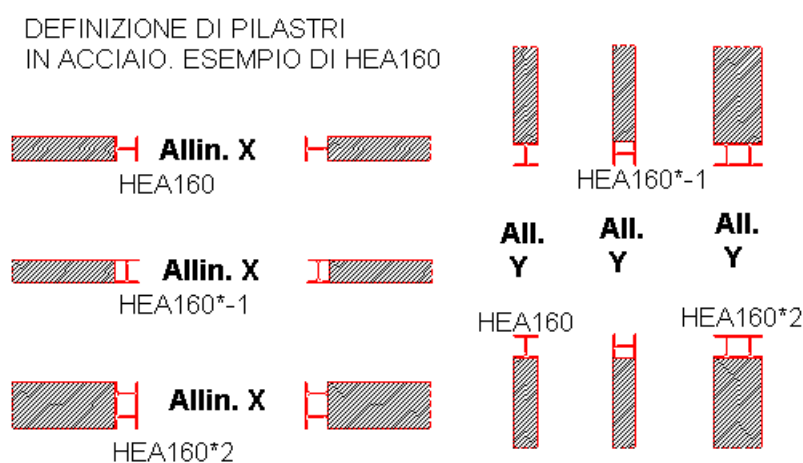
Per fissare le idee, facciamo riferimento ad una doppia sezione di HEA140 con cui si realizza un telaio di irrigidimento in corrispondenza di un'apertura in una parete muraria: la Tipologia da specificare è:

HEA140\*2

dove \*2 indica la doppia sezione ( HEA140\*n = 'n' sezioni associate). Con 'n'<0 (p.es. HEA140\*-2) il pilastro viene posto, lungo il proprio allineamento, nella direzione con inerzia minore; con 'n'>0, viceversa.

La direzione del telaio viene specificata attraverso la definizione dell'allineamento.

Specificando queste tipologie, il tipo di materiale viene automaticamente posto uguale a 2 (che in PC.M rappresenta, per predefinito, l'acciaio).



**Fig. 42.** Schematizzazione di pilastri in acciaio.

Le dimensioni Lx e Ly sono convenzionalmente assunte uguali all'ingombro della sezione del profilato. Perché le caratteristiche statiche della sezione siano leggibili durante il calcolo, la sezione deve essere contenuta nel file ASCII di servizio:

C:\PCM2000\FILES\ACCIAIO.DAT

comunque già fornito con PC.M dotato di tutte le sezioni commerciali H e L.

I pilastri calastrellati con angolari sono quei pilastri in muratura consolidati agli spigoli con quattro angolari di acciaio tra loro uniti da calastrellature (fazzoletti di lamiera saldata ai profili ad un certo interasse), con successivo completamento dell'intervento attraverso il rivestimento con intonaco cementizio.

Tali elementi devono avere tipologia del tipo (per esempio):

L100x10

coincidente cioè con la sezione dell'angolare utilizzato. Le dimensioni Lx e Ly devono essere quelle del pilastro consolidato.

Se A', J' sono l'area e il momento d'inerzia del singolo angolare, consolidando nel modo detto un pilastro di lato 'b' lungo la direzione di verifica, e lato 's' in direzione ortogonale, ne risulta un momento d'inerzia di calcolo pari a:

$$J = 2 * [ 2J' + 2A' * (b/2)^2 ] = 4J' + A' * b^2$$

### B.5.2.7. PARETI IN CEMENTO ARMATO

Con la Tipologia C si identificano i setti in cemento armato: questi elementi verticali reagiscono con rigidità tagliente e flessionale. Il tipo di materiale viene posto automaticamente uguale a 1 (che in PC.M rappresenta, per predefinito, il cemento armato).

E' possibile inserire, nell'edificio in muratura, ad un dato piano tutti elementi (setti o pilastri) in cemento armato: i calcoli statici e sismici rispetteranno questa configurazione.

### B.5.2.8. PILASTRI IN CEMENTO ARMATO

Con la Tipologia R si identificano i pilastri in cemento armato: questi elementi verticali reagiscono soltanto con rigidità flessionale. Il tipo di materiale viene posto automaticamente uguale a 1 (che in PC.M rappresenta, per predefinito, il cemento armato).

E' possibile inserire, nell'edificio in muratura, ad un dato piano tutti elementi (setti o pilastri) in cemento armato: i calcoli statici e sismici rispetteranno questa configurazione.

### B.5.2.9. TRAVI

L'elemento 'trave' svolge la funzione di ripartitore del carico. E' quindi fondamentale per la schematizzazione corretta delle orditure dei solai, e per balconi, gronde e aggetti in genere.

Le travi infatti appartengono agli allineamenti così come le pareti; quindi esse contribuiscono ad individuare i 'fili' strutturali di riferimento per la corretta definizione delle maglie di solaio.

Negli edifici esistenti in muratura, inoltre, le travi possono sostenere muri sovrastanti, e quindi la loro funzione è quella di applicare correttamente il carico alle pareti su cui si impostano.

Una trave viene riferita ai maschi su cui si imposta.

Una **trave impostata su due maschi** ha la Tipologia così definita:

**Ti/j**, codice alfanumerico composto da T (sigla della trave) + numero 'i' del primo maschio + barra "/" di separazione + numero 'j' del secondo maschio.

Quando si ha una **trave impostata su un solo maschio** (p.es. una trave a sbalzo da una parete perimetrale), c'è un solo maschio ad essa sottostante: in tal caso, la trave è denominata con:

**Ti**, essendo 'i' il numero del maschio.

Può infine darsi il caso di '**trave libera**' (la trave esterna di bordo di un balcone, parallela alla muratura perimetrale), definita semplicemente da: **T**. In tal caso, il carico viene ripartito sulle più vicine pareti ad essa parallele.

Per 'numero' di un maschio si intende quello corrispondente alla numerazione progressiva delle pareti. Per definire le travi, si deve usare la numerazione dei maschi e non la loro 'sigla'. Ciò richiede attenzione nelle operazioni di variazione della posizione numerica delle pareti nella tabella dati: mentre l'utilizzo dei comandi Inserisci, Elimina (menu Modifica) e Unisci, Dividi (menu Edit) gestisce la correzione dei riferimenti delle travi ai numeri dei maschi su cui si impostano, il comando Ottimizza del menu Modifica non rispetta i riferimenti precedenti, e quindi richiederà in genere un successivo ricontrollo della definizione delle travi.

**PC.M genera automaticamente la trave definita tra due maschi di uno stesso allineamento**, quando si inserisce nel campo 'Tipologia' la sua corretta definizione. Ad esempio, se i maschi 4 e 5 di uno stesso allineamento sono già stati definiti, digitando: T4/5 la trave viene automaticamente generata nel seguente modo: l'altezza iniziale 'H inizio' è posta uguale all'altezza finale del maschio 4; l'altezza finale 'H fine', uguale all'altezza iniziale del maschio 5; l'altezza di base 'H base' (che per la trave coincide con l'altezza della sua sezione trasversale) è assunta pari all'altezza di solaio, se diversa da zero, oppure convenzionalmente a 20 cm.; lo spessore è assunto uguale a quello del maschio 4; la lunghezza viene a coincidere con la distanza fra la fine del maschio 4 e l'inizio del maschio 5 (occupa cioè lo spazio vuoto fra i due maschi); il materiale viene posto

uguale a quello del maschio 4. L'utente varierà i valori definiti automaticamente quando necessario.

Quando si definisce una trave, è preferibile che la sua lunghezza sia tale da **non generare sovrapposizioni** con i due elementi verticali (maschi o pilastri) su cui essa si imposta (così procede, come già osservato, la generazione automatica); in pratica, essa occuperà in pianta lo spazio 'vuoto' compreso fra i due elementi verticali. Le sovrapposizioni di per sé non generano errori rilevanti, ma evitandole si può ottenere una più esatta ripartizione dei carichi dei solai che scaricano sull'allineamento a cui appartengono la trave e i maschi su cui essa si imposta.

Ovviamente, le travi (come le strisce) non possono avere fondazione. Quando le fondazioni vengono definite automaticamente (con il comando 'Crea Fondazioni da Pareti' del menu Opzioni della finestra Fondazioni) il programma non considera gli elementi 'striscia' e 'trave'.

#### B.5.2.10. PARETI IN MURATURA ARMATA

Con la Tipologia A si identificano le pareti in muratura armata. Questi elementi hanno caratteristiche per il resto coincidenti con la tipologia M dei maschi murari.

Nella stringa della tipologia può o meno essere indicata l'armatura.

Se la stringa è soltanto: **A**, l'armatura viene considerata di default, coincidente con i valori corrispondenti dei Parametri di calcolo (numero di ferri, diametro dei ferri, copriferro).

Diversamente è possibile specificare l'armatura nel seguente modo:

**AnDd,c**

dove: n=numero dei ferri ad un'estremità; d=diametro dei ferri; c=copriferro. Ad esempio, nel caso di 2 ferri del 16 posti a una distanza di 12.5 cm. dal bordo parete:

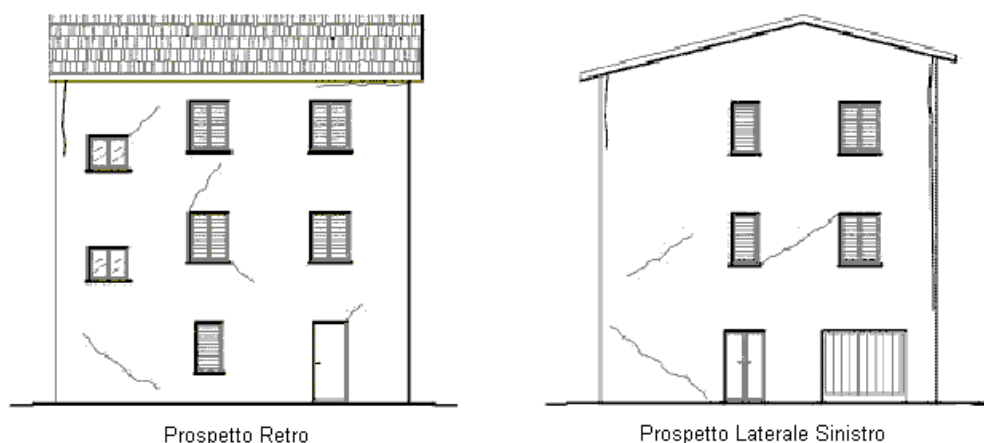
A2D16,12.5

#### B.5.2.11. SETTI

Si faccia riferimento ad un esempio di edificio in muratura (tratto dal volume edito dalla Provincia di Perugia e dal Servizio Sismico Nazionale [12]), considerandone due prospetti: quello retrostante, ed il laterale sinistro. Per quest'edificio si deve operare la schematizzazione strutturale, individuando i maschi murari piano per piano.

Questo caso presenta una buona continuità verticale delle murature (aperture allineate, sul paramento murario).

[ Si osservi che ognuno di questi due prospetti è rappresentato da un 'allineamento' ].



**Fig. 43.** Prospetti di un edificio.

Piano per piano, si individuano i maschi murari e si procede con la numerazione.



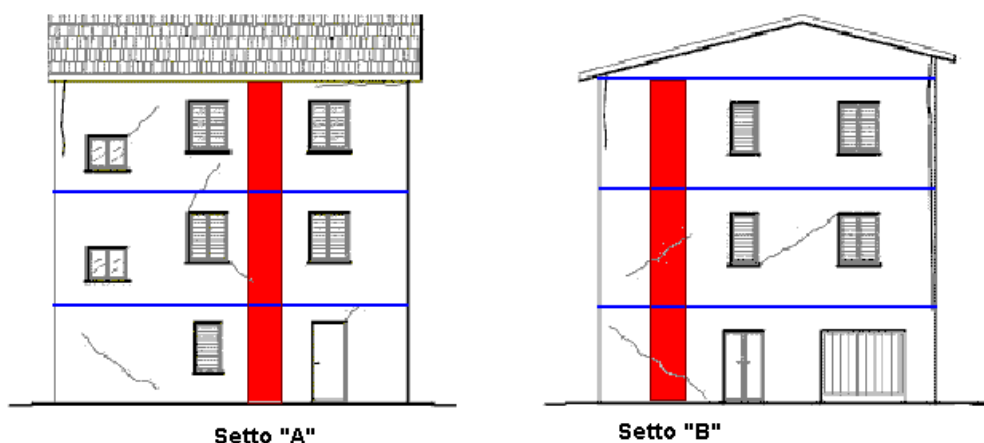
Definizione dei maschi murari  
Numerazione che dipende dall'ordinamento in pianta  
(per ogni piano, prima le pareti secondo X, e poi quelle secondo Y)

**Fig. 44.** Definizione dei maschi; vengono evidenziati quelli appartenenti ai prospetti di fig. 43.

La modellazione dei maschi murari consentirà l'analisi del comportamento statico e sismico delle **'pareti'** sull'altezza di interpiano (rientra in questo gruppo di analisi anche il metodo Por). Oltre alle verifiche delle pareti di interpiano, i metodi di analisi degli edifici in muratura prevedono verifiche di stabilità a Ribaltamento e di PressoFlessione per azioni ortogonali su elementi murari a tutt'altezza, che definiamo **'setti'**.

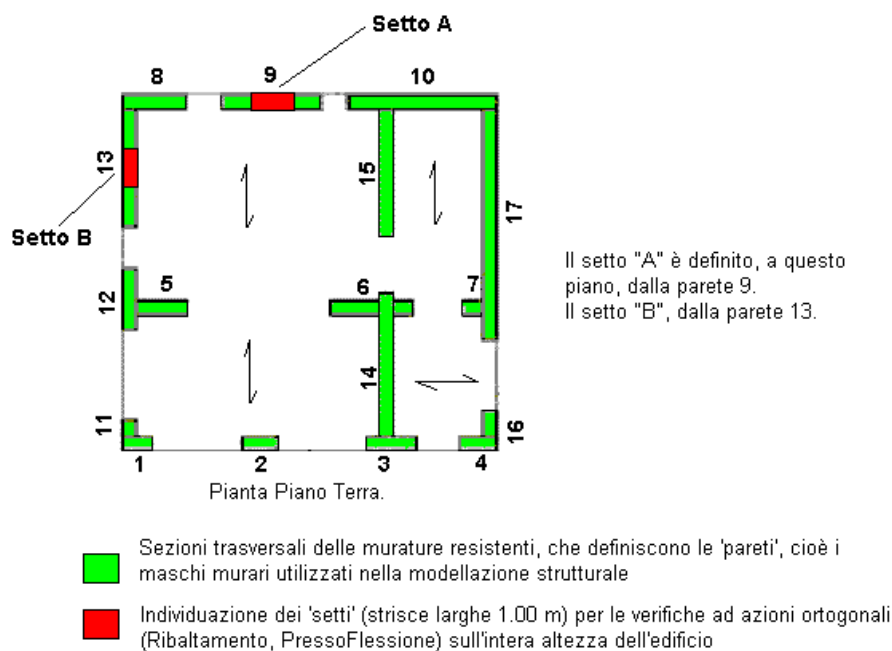
I setti, sempre considerati nel calcolo come strisce di base 1.00 m., vengono definiti adottando una sigla specifica per ogni paramento murario (ad. es. A, B, ...) e attribuendola, piano per piano, alle pareti che compongono tale setto [tale sigla è preceduta da un segno meno: "-" (ad es.: -A) qualora il setto ribalti alla sua sinistra (in tale modo viene assicurata la corretta interpretazione dei segni delle azioni ribaltanti e stabilizzanti)]. I setti vengono definiti normalmente in posizioni notevoli (per esempio: zone di massimo o minimo carico, zone più lontani dagli irrigidimenti trasversali), opportunamente scelte dal progettista in modo da esaminare le varie possibilità di innesco dei meccanismi di collasso a ribaltamento e a pressoflessione ortogonale.

Nelle due figure seguenti, sono rappresentati i due setti scelti, uno per ognuno dei due prospetti; viene riportata anche la loro posizione nella pianta del piano terra (piante analoghe si hanno ai piani superiori).



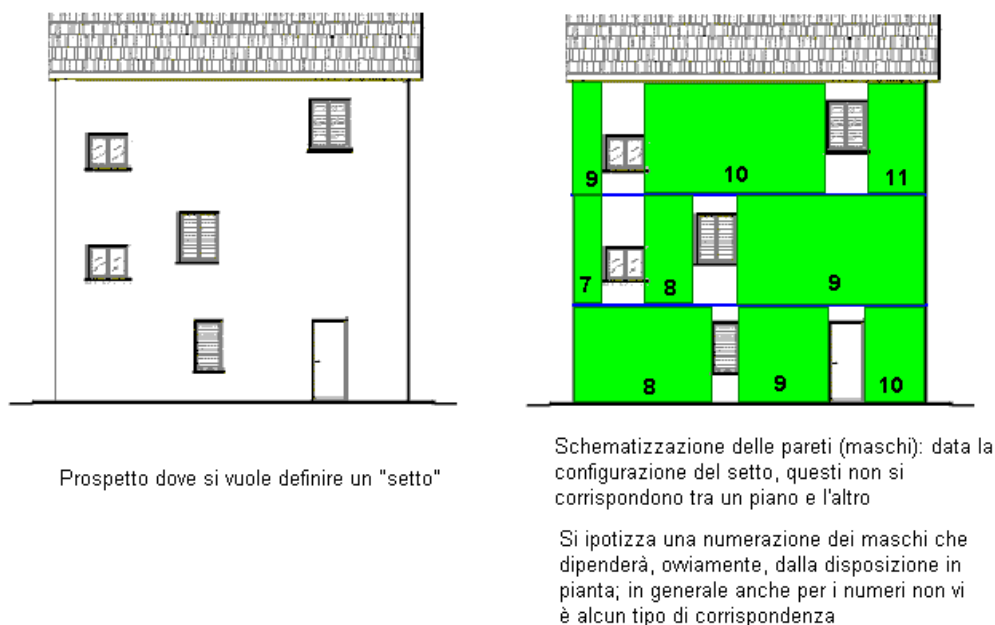
I "setti" sono individuati da strisce di larghezza 1.00 m., che si sviluppano lungo l'intera altezza dell'edificio: quindi, ad ogni piano, un setto è definito dalla parete che lo "contiene" a quel piano

**Fig. 45.** Individuazione dei 'Setti' sui prospetti.



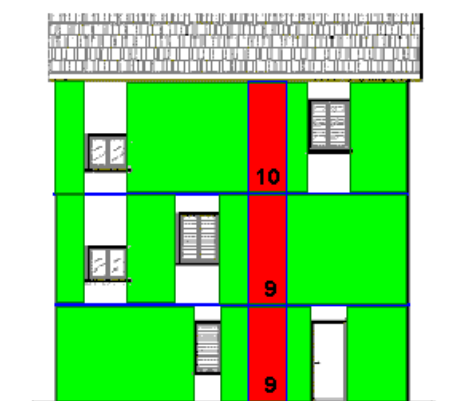
**Fig. 46.** Corrispondente individuazione dei 'Setti' in pianta.

Il caso esaminato si presenta regolare, con aperture allineate sui prospetti. Ma negli edifici esistenti sono molto frequenti casi di irregolarità, come ad esempio l'edificio riportato nella figura seguente, dove i maschi murari dello stesso allineamento si presentano sostanzialmente diversi, piano per piano.



**Fig. 47.** Prospetto di edificio con distribuzione irregolare delle aperture.

La definizione di un 'setto' è comunque semplice, in quanto - individuata la posizione di una 'striscia verticale' di larghezza 1.00 m. - il setto viene sempre definito dalle pareti che lo 'contengono', piano per piano.

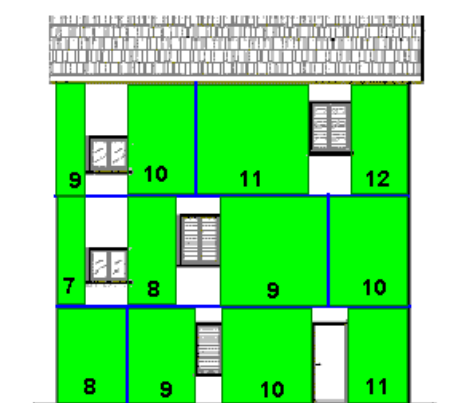


Il setto è definito dalle pareti:  
9 al piano 1 (piano terreno);  
9 al piano 2 (piano primo);  
10 al piano 3 (piano secondo).

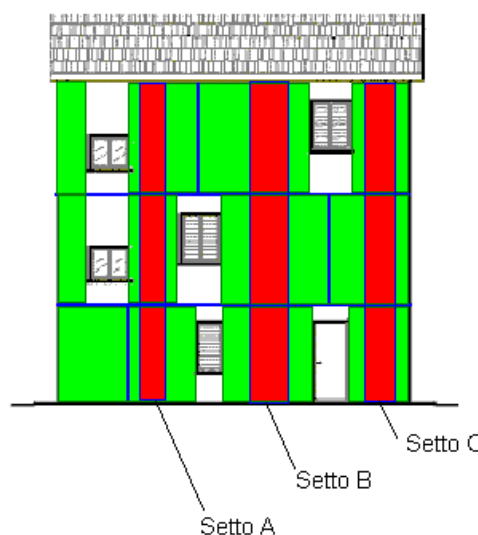
Evidentemente il setto corrisponde ad una striscia che ha "fisicamente" significato: in altre parole, lungo il paramento murario verticale, in corrispondenza delle pareti specificate, si può effettivamente individuare una "striscia" continua, sulla quale effettuare le verifiche per azioni ortogonali (Ribaltamento, PressoFlessione)

**Fig. 48.** Individuazione dei 'Setti' sul prospetto con aperture irregolari.

E' possibile che si desideri analizzare più di un setto sullo stesso prospetto. I casi irregolari vengono affrontati dividendo le pareti in più porzioni, in modo da consentire l'individuazione di tutti i setti desiderati.



Per poter definire più setti su questo paramento, si può decidere di spezzare alcuni maschi (dividerli in più parti contigue) in modo da individuare sempre univocamente, setto per setto, la parete che lo "contiene" ad ogni piano.



Il setto A è formato dalle pareti:  
9 al p.1, 8 al p.2, 10 al p.3  
Il setto B è formato dalle pareti:  
10 al p.1, 9 al p.2, 11 al p.3  
Il setto C è formato dalle pareti:  
11 al p.1, 10 al p.2, 12 al p.3

**Fig. 49.** Individuazione di più 'Setti' sul prospetto con aperture irregolari.

Ovviamente si deve essere consapevoli che la suddivisione di un maschio in più porzioni ne altera il comportamento strutturale: la somma delle rigidezze delle singole porzioni, ad esempio, è inferiore alla rigidezza del maschio complessivo. In PC.M è comunque possibile riassemblare le rigidezze di maschi spezzati (o più esattamente: di 'pareti' contigue): è sufficiente che tali pareti - appartenenti certamente allo stesso allineamento - posseggano la stessa 'Sigla' e che sia attivato l'apposito parametro di calcolo (Parametri di Calcolo, scheda Parametri Vari (1), Per Azioni Orizzontali: Assemblaggio Pareti con ugual Sigla, Allineamento).



L'analisi del dominio di resistenza della PressoFlessione Ortogonale dei Setti (in altre parole: il calcolo del coefficiente C limite corrispondente) viene ora condotta utilizzando il **metodo per incrementi successivi** del coefficiente sismico C, fino ad individuare la prima configurazione non verificata. E' inoltre possibile analizzare Setti definiti non a partire dal piano 1, ma da quote superiori: ciò rende possibile un'analisi più efficace degli **edifici a piani sfalsati**.

#### B.5.2.12. PARETI A SEZIONE TRASVERSALE POLIGONALE

Generalmente i programmi di calcolo prevedono la schematizzazione delle strutture resistenti in maschi murari aventi sezione rettangolare. Mentre ciò è rigorosamente valido in edifici di nuova realizzazione, non può dirsi altrettanto per gli edifici esistenti. Alcune tipologie del passato presentano disallineamenti, pareti a spessore variabile, nicchie o cavità che diminuiscono la sezione resistente o interrompono la continuità. Normalmente, si dispone di un rilievo architettonico ove la questione dello 'schema resistente' non esiste: le murature rappresentate sono effettivamente presenti nella realtà, con tutte le loro irregolarità. A titolo di esempio, si osservino i rilievi del Palazzo dei Giudici (paragrafo A.8.2.1.) o della Canonica di Ceserano (paragrafo A.8.1.1.).

Adottando la convenzione di 'rettangolarità' dei maschi murari resistenti, generalmente si opera a favore di sicurezza; l'effettivo rettangolo può essere deciso dal progettista, che utilizzando ad esempio il CAD per preparare il file di input per il software (ad esempio, PC.M) può tenere su un layer il rilievo reale come riferimento e disegnare il rettangolo che meglio 'approssima' la parete irregolare. Se però fosse disponibile un metodo automatico per l'ottimizzazione del 'rettangolo rappresentativo', o, in altre parole, si potesse dare come input direttamente polilinee a numero di vertici  $\geq 4$ , il problema della schematizzazione delle pareti irregolari verrebbe drasticamente semplificato.

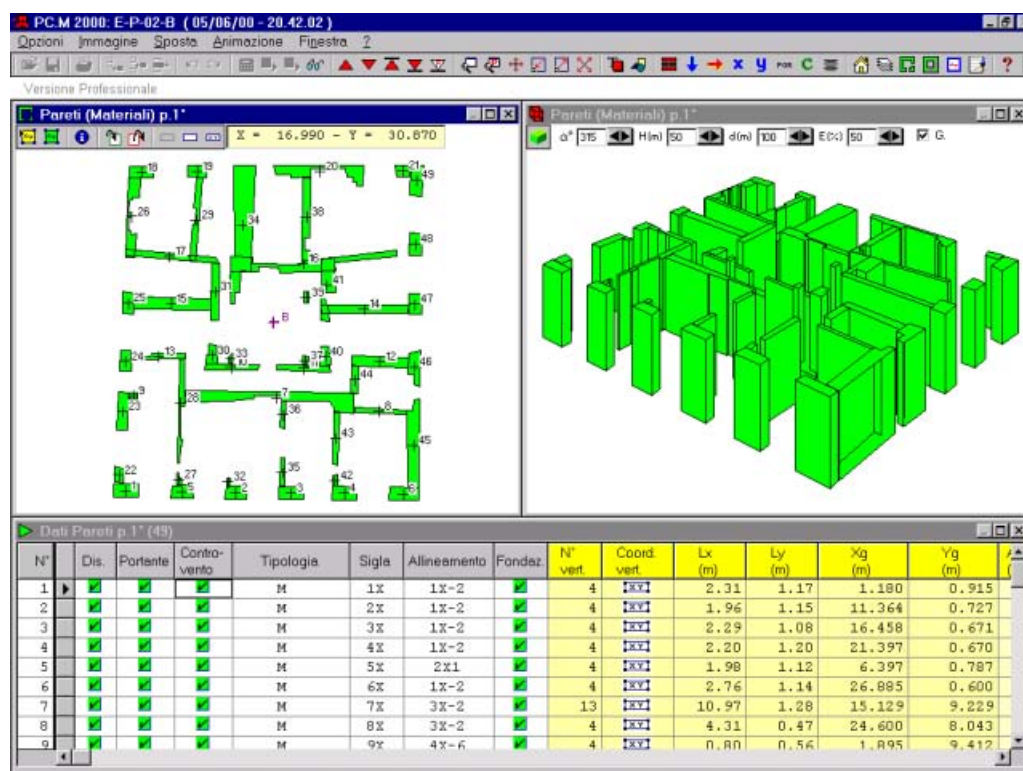
PC.M consente questo tipo di input: sia via CAD, sia internamente ai Dati Pareti è possibile attribuire ad una parete un numero di vertici  $\geq 4$ , e quindi darle forma di polilinea, più o meno regolare. In tal modo possono essere descritti anche elementi murari a L, a croce o comunque complessi senza necessariamente doverli suddividere in porzioni semplificate (per esempio, un angolo murario a L normalmente viene diviso in due pareti, una X e una Y; con la polilinea può invece essere descritto come elemento unitario).

Dovendo poi le pareti essere sottoposte ai metodi di calcolo attualmente disponibili, occorre comunque comprendere come convenga operare con le polilinee. PC.M opera per '**rettangoli rappresentativi**', utilizzando un apposito originale algoritmo che si fonda sulla geometria delle masse della polilinea: gli assi principali determinano l'orientamento del 'rettangolo rappresentativo', la cui area sarà pari alla reale area della polilinea. La necessità di convertire 'numericamente' una polilinea reale in un rettangolo rappresentativo è determinata dal fatto che i metodi applicati richiedono generalmente elementi rettangolari (vedi metodo Por); ne consegue, ad esempio, che un angolo a L (pensato, per ipotesi, a lati uguali) viene 'idealmente' equiparato a un rettangolo obliquo in pianta a  $45^\circ$  (tali sono gli assi principali di questa figura geometrica). Tenendo presente questo aspetto, è possibile effettuare le schematizzazioni più corrette. In genere, è consigliabile rappresentare con polilinee pareti a sviluppo 'longitudinale', ed invece interrompere la continuità della muratura negli angoli e agli incroci.

Come esempio applicativo, consideriamo il Palazzo dei Giudici, già diffusamente esaminato al paragrafo A.8.1.2., dove le piante dei piani sono state create con riferimento a pareti aventi sezione trasversale rettangolare, avendo individuato in tal modo le porzioni murarie resistenti.





A partire dalla pianta (datata 1770) di fig. 62, adottando tale schema come configurazione di verifica, vogliamo definire pareti 'coincidenti' effettivamente con la geometria rilevata; in generale, quindi, si tratterà di pareti a sezione trasversale poligonale, rappresentabile mediante polilinee. La pianta di fig. 62, importata via scanner su bitmap, è stata inserita in un disegno di AutoCAD e su di essa si sono tracciate le polilinee delle murature resistenti. I files per la consultazione sono forniti in dotazione al pacchetto di PC.M.

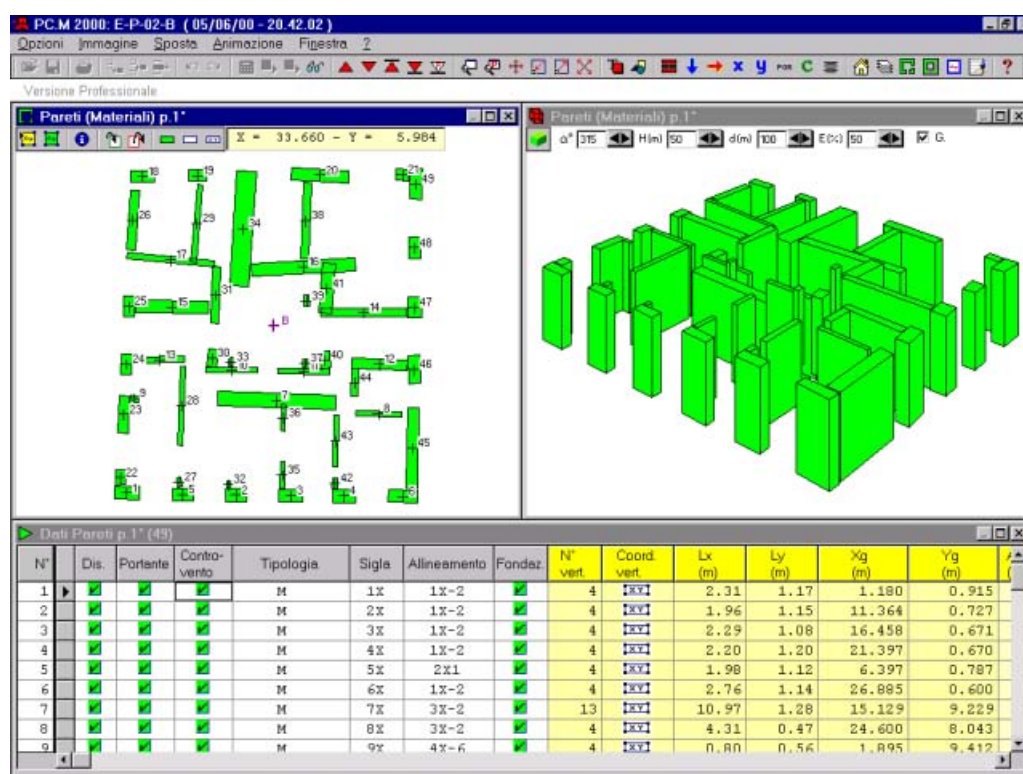
La struttura è stata poi esportata su DXF e quindi riletta da PC.M. Terminata la rilettura ed ottimizzata la posizione in pianta rispetto agli assi di riferimento globali XY, dopo anche aver attribuito a tutte le pareti (come materiale) pietrame di buona qualità, la schermata di PC.M si presenta nel seguente modo.



**Fig. 50.** Schematizzazione di pareti irregolari tramite polilinee non rettangolari (quadrilateri o, più in generale, poligonali).

Ogni parete è rappresentata da una poligonale quadrilatera (4 vertici) o a più vertici. Ad esempio, la parete 7 è una polilinea a 13 vertici. La gestione dati può eseguirsi in modo del tutto analogo a pareti rettangolari; l'opzione di disegno dei 'rettangoli rappresentativi' mostra i rettangoli che dovranno necessariamente essere considerati dai metodi di calcolo e che 'ottimizzano' con criterio oggettivo (e quindi non più a carico dell'utente) la reale configurazione resistente.

Per visualizzare in PC.M i rettangoli rappresentativi, viene utilizzato il pulsante grafico  della finestra Grafica 2D: il pulsante stesso viene modificato, e diviene: . Selezionandolo nuovamente, consentirà il ritorno alla rappresentazione reale. In pratica, l'icona:  significa che la rappresentazione attuale è per 'rettangoli rappresentativi', mentre l'icona  significa che la rappresentazione grafica sta mostrando le pareti reali (poligonali).



**Fig. 51.** Lo stesso schema di fig. 50, ma a 'rettangoli rappresentativi'.

L'algoritmo utilizzato genera efficaci rettangoli rappresentativi, quelli che l'utente avrebbe dovuto ipotizzare durante la fase di creazione del disegno della pianta delle pareti resistenti. Il criterio di generazione dei rettangoli, reso oggettivo, semplifica quindi notevolmente la gestione dei casi di edifici complessi.

Ogni parete è rappresentata con la sua reale configurazione, alla quale corrispondono la reale area e posizione del baricentro; le altezze, inoltre, qui costanti, possono essere variabili anche da un vertice all'altro. Il software calcola il volume reale delle pareti (e quindi il peso proprio della struttura), anche in caso di sommità ad altezze variabili (talvolta necessarie per descrivere, ad esempio, pareti sotto copertura a falde inclinate).

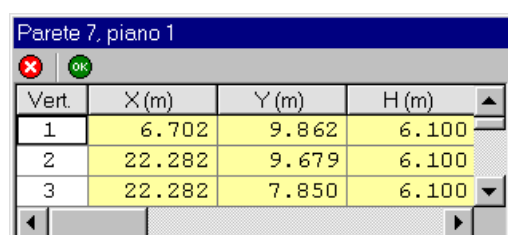
Questa tecnica può efficacemente essere applicata a pareti curve: poligonalizzando gli archi in CAD, con un numero di vertici a piacere, si descrivono polilinee curve; un'applicazione di questo tipo si può avere ad esempio per gli absidi delle chiese (come il fabbricato descritto al paragrafo A.8.1.3.3.).

Elementi strutturali verticali a sezione trasversale circolare, inseribili direttamente attraverso il comando 'Sezione Circolare' del menu Edit della finestra Pareti, sono in PC.M rappresentati automaticamente tramite una poligonalizzazione a 49 vertici.

#### B.5.2.12.1. GESTIONE DEI VERTICI DELLE POLIGONALI: FINESTRA VERTICI

La finestra Vertici consente l'editazione delle coordinate dei vertici della poligonale che definisce la parete corrente e viene attivata attraverso il campo in input della finestra Pareti: 'Coord. vert.' [XY], spostando la cella su questo campo, e facendoci clic con il mouse.

E' possibile modificare le coordinate X e Y e l'altezza H per ogni vertice della poligonale descrivente la parete; confermando le modifiche, PC.M aggiornerà il 'rettangolo rappresentativo' della parete corrente (aggiornando cioè i parametri Lx, Ly, Xg, Yg, Angolo, H inizio, H fine).



Vert.	X (m)	Y (m)	H (m)
1	6.702	9.862	6.100
2	22.282	9.679	6.100
3	22.282	7.850	6.100

Fig. 52. Finestra Vertici.

L'inserimento delle coordinate è numerico; è possibile specificare **coordinate assolute e relative**. Per le coordinate relative, il dato numerico deve essere preceduto dal carattere @, e la coordinata viene automaticamente calcolata relativamente alla corrispondente coordinata precedente. Ad esempio, se il Vertice 1 ha coordinate (X,Y)=(1.5,3.6), specificando per il Vertice 2 il seguente input:

X = @2.1



Y = 5.0

il Vertice 2 avrà coordinate assolute (X,Y)=(3.6,5.0)

Ogni vertice può avere altezza indipendente dagli altri vertici: il solido così generato verrà correttamente valutato in volume, e l'altezza media sarà tale da definire, moltiplicata per l'area della sezione trasversale, il reale volume della parete. Ovviamente, pareti ad esempio sotto falda avranno altezze dei vertici non matematicamente indipendenti (poiché apparterranno ad un preciso piano inclinato), tuttavia PC.M, consentendo altezze indipendenti, accetta anche valori approssimati e quindi non è necessario calcolare esattamente l'appartenenza ad un piano dei vari vertici della poligonale in sommità della parete.

Per definizione, la base della parete è comunque considerata posta su di un piano orizzontale.

Nella finestra Vertici, due pulsanti grafici consentono l'uscita ed il ritorno all'input/modifica nella finestra Pareti:

- il pulsante grafico  determina l'uscita dall'editazione dei Vertici **senza** confermare eventuali modifiche effettuate;
- il pulsante grafico  determina l'uscita dall'editazione dei Vertici **confermando** eventuali modifiche effettuate, e quindi aggiornando conseguentemente il 'rettangolo rappresentativo' della parete a sezione poligonale (cioè i parametri: Lx, Ly, Xg, Yg, Angolo, H inizio, H fine).

La finestra Vertici riportata in fig. 52 caratterizza l'editazione per i dati **Pareti**. Anche le **Fondazioni** possono avere sezione trasversale poligonale: l'utilizzo della finestra Vertici è analogo, con la sola differenza che non compare in tal caso l'input/modifica dell'altezza H, che per una fondazione poligonale è costante per tutti i vertici ed è pari allo spessore della suola.

#### B.5.2.12.2. PARETI NON RETTANGOLARI E RETTANGOLI RAPPRESENTATIVI

Una parete poligonale viene rappresentata con un rettangolo 'equivalente' (detto: 'rettangolo rappresentativo') così definito:

- **Lx e Ly** sono le dimensioni del 'rettangolo rappresentativo' (= lati paralleli agli assi principali tali da dare un'area uguale all'area reale, ottenuti per similitudine del rettangolo che involupa la poligonale nel sistema di riferimento principale);
- **Xg e Yg** rappresentano la posizione del baricentro del 'rettangolo rappresentativo' (coincidente con la reale posizione del baricentro della poligonale);
- **Angolo** rappresenta l'angolo di inclinazione in pianta del 'rettangolo rappresentativo' (coincidente con l'angolo del sistema di riferimento principale della poligonale rispetto agli assi XY);
- **H inizio e H fine** sono entrambe uguali all'altezza media della parete avente sezione trasversale pari al rettangolo rappresentativo e volume uguale alla parete reale (per ogni vertice della quale l'altezza H è definita insieme alle coordinate dei vertici X, Y); **H base** è invece definita indipendentemente, in quanto la base della parete - sia che abbia sezione rettangolare, sia poligonale - è sempre posta su un piano orizzontale, individuato

quindi da un'unica quota (definita, appunto, da H base).

### B.5.2.13. IL CASO DEI PIANI SFALSATI

Se i solai sono **sfalsati di poco** (p.es. 3-4 gradini da una zona all'altra dell'edificio), conviene definire un unico impalcato alla quota media (o alla più alta), utilizzando poi i parametri di altezza delle pareti per posizionarle corrette geometricamente (la corretta geometria è importante perché ad essa corrispondono corretti pesi propri). E' possibile agire su un apposito parametro (l'altezza di base) per scostare la base della parete rispetto alla quota d'impalcato.



Se i solai sono invece a **mezzopiano**, si possono definire tanti impalcati quanti sono i solai; ad ogni piano, quindi, vi saranno aree vuote e aree con maglie di solaio; ad ogni piano, le pareti avranno altezze geometriche ridotta (p.es. 150 cm. per solaio di mezzopiano su interpiani di 3.00 m). Per non alterare i calcoli sulle rigidezze, si deve specificare un'altezza di calcolo complanare (usata ad esempio nei metodi tipo Por) pari all'effettivo interpiano di 3.00 m. (è vero che così facendo i calcoli delle pareti interessate si ripetono a due piani, ma ciò è consentito dall'analisi condotta piano per piano, che conduce a individuare appunto il piano con coefficiente più sfavorevole. La stessa parete è vista una volta come collaborante ad un piano, una volta all'altro).

Occorre in tal caso attenzione per la verifica ad Azioni Ortogonali sull'altezza di interpiano: essendo questa verifica riferita all'altezza geometrica (H calc determina solo le verifiche per Azioni Complanari), la schematizzazione detta ('affettando' l'edificio a livello di tutti i solai) potrebbe condurre a risultati fittizi. E' possibile aggirare il problema riferendo la Verifica a PressoFlessione per Azioni Ortogonali ai soli 'Setti' visti come travi continue (in corrispondenza dell'impalcato fittizio vi sarà un vincolo non efficace, cioè un'assenza di appoggio per la 'trave'), oppure utilizzando due o più modelli per l'edificio, ciascuno finalizzato alla corretta esecuzione di un tipo di verifica.

Si tenga comunque presente che nel caso di sfalsamento di piani tra complessi edilizi di grandi dimensioni (ad esempio, edifici a schiera posti in pendenza collinare) potrebbe essere più indicato operare una scelta di **suddivisione in unità singole**, attribuendo ad ognuna l'influenza delle masse delle unità adiacenti: la 'disomogeneità' della struttura dovuta al dislivello fra parti contigue potrebbe di fatto condurre, soprattutto in fase sismica ma anche staticamente per cedimenti in fondazioni differenziali, a comportamenti indipendenti delle singole unità.

Del resto, anche ragionando sul centro delle rigidezze, appare poco idoneo ipotizzare - pur in presenza di piani rigidi dovuti ad esempio a solai in laterocemento - che in un complesso a schiera, formato da più unità, pareti poste ad estremi opposti 'collaborino' tra loro rigidamente.

### B.5.3. Menu ESEGUI

**Analisi Statica ( F7 )** [ Barra degli Strumenti:  ], **Analisi Sismica ( F8 )** [ Barra degli Strumenti:  ] = Eseguono l'Analisi Statica o Sismica dell'edificio. Questi comandi, presenti già nella finestra principale di PC.M, sono disponibili anche nelle altre finestre di input dati (Piani, Pareti, Fondazioni, Solai) in modo da consentire l'esecuzione (o ri-esecuzione) dei calcoli direttamente dalla finestra attiva, senza l'obbligo di attivare la finestra Edificio. L'uso dei pulsanti grafici della barra degli Strumenti è comunque la via più rapida per l'esecuzione del comando.

**Elenco Allineamenti** = Consente la visualizzazione dell'elenco degli allineamenti correntemente utilizzati nell'intero edificio, considerando fondazioni e piani in elevazione.

Per ogni allineamento, vengono indicati i livelli a cui esso è presente.

Questo comando è particolarmente utile quando si debbano aggiungere nuovi elementi, definendo manualmente nuovi allineamenti: è immediato infatti, in tal caso, vedere qual è l'ultimo allineamento X o Y per aggiungere correttamente il successivo.

L'elenco degli allineamenti viene rappresentato all'interno di un'apposita finestra di testo (fig. 53).

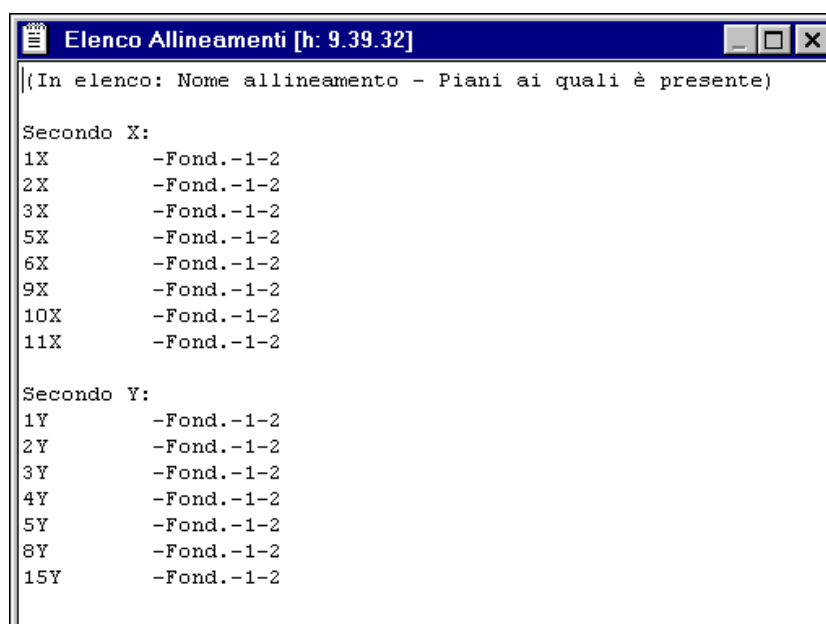


Fig. 53. Elenco Allineamenti.

L'elenco dei piani a cui gli allineamenti sono presenti permette anche l'evidenziazione di anomalie, nel caso ad esempio che uno stesso allineamento sia presente a piani non contigui: ciò, pur essendo in rari casi possibile, è generalmente legato a errata attribuzione di quell'allineamento ad alcune pareti.

#### B.5.4. Menu MODIFICA

**Annulla** ( **CTRL + Z** ) [ Barra degli Strumenti: ↶ ] = Torna, se disponibile, alla configurazione precedente, annullando l'ultima modifica effettuata.

**Ripristina** [ Barra degli Strumenti: ↷ ] = Ripristina, se disponibile, la configurazione successiva a quella correntemente visualizzata.

**Attiva Annulla / Ripristina** = Se attivato, consente l'uso dei comandi Annulla e Ripristina. Poiché tali comandi possono produrre un seppur lieve rallentamento nell'esecuzione del programma, dal momento che si devono memorizzare le configurazioni dell'edificio corrispondenti alle modifiche effettuate in successione, la disattivazione consente la velocizzazione delle modifiche.

**Aggiungi** ( **CTRL + A** ) [ Barra degli Strumenti: ➡ ] = Aggiunge una parete al termine della tabella, posizionandovi la cella corrente in corrispondenza della colonna corrente.


**Inserisci** ( **CTRL + I** ) [ Barra degli Strumenti: ➡ ] = Inserisce una parete nella posizione corrente della cella, scalando quindi di uno verso il basso la numerazione di tutte le pareti ad essa successive. La cella corrente resta nella posizione attuale.

**Taglia** ( **CTRL + X** ) = Elimina la parete corrente, ponendola in memoria.

**Copia** ( **CTRL + C** ) = Pone in memoria la parete corrente.

**Incolla** ( **CTRL + V** ) = Incolla la parete presente in memoria. Utilizzando Copia e Incolla, associati a Inserisci o Aggiungi, è possibile spostare dati di pareti.

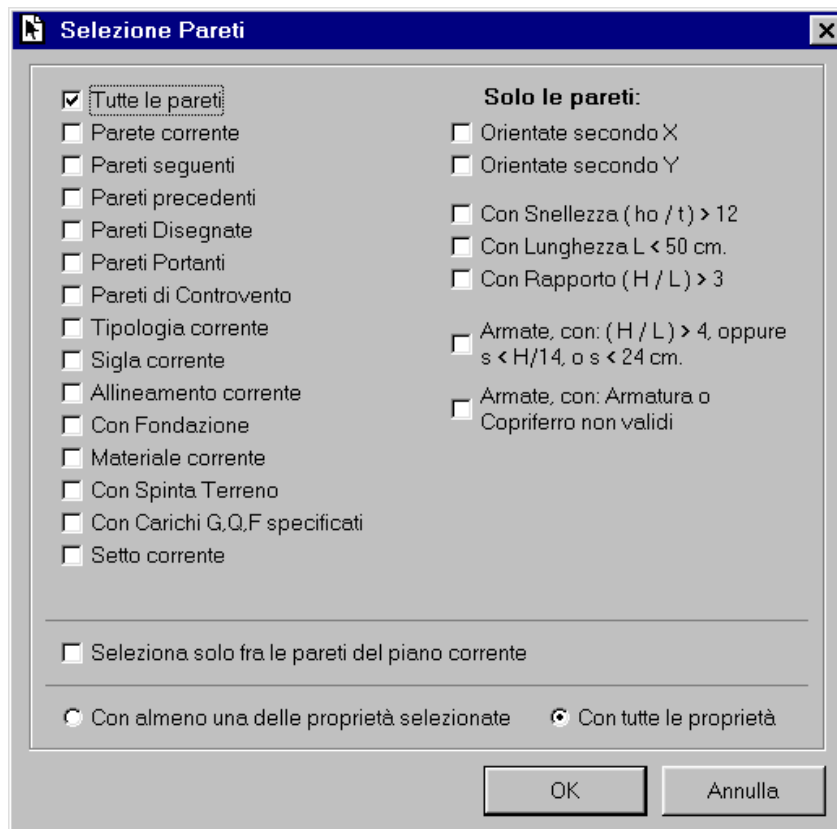


**Elimina** ( **CTRL + Y** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Elimina la parete corrente, senza porla in memoria.

**Elimina pareti selezionate** = Elimina tutte le pareti al momento selezionate, evidenziate sia nella rappresentazione grafica, sia nella tabella dei Dati Pareti (caratteri in blu grassetto).

**Elimina tutto** = Elimina tutte le pareti del piano corrente, riducendone ad 1 il numero totale.

**Seleziona...** = Apre la finestra di dialogo (riportata in fig. 54) dove è possibile effettuare la selezione di un gruppo di pareti.



**Fig. 54.** Finestra di dialogo per la Selezione delle pareti.

La selezione di un gruppo di pareti può essere un'operazione utile, al fine di meglio evidenziare quelle pareti che corrispondono al particolare criterio di selezione scelto.

Una volta selezionate, le pareti vengono disegnate in evidenza nella rappresentazione grafica; inoltre, la riga della tabella Dati Pareti della finestra Pareti, per una parete selezionata si presenta evidenziata (caratteri in blu grassetto).

Selezionato un gruppo di pareti, è possibile disegnare solo il gruppo oppure escluderlo dal disegno (menu Disegna); è possibile eliminare in blocco le pareti selezionate (menu Modifica, comando Elimina pareti selezionate). Le pareti selezionate possono essere: spostate o copiate nel medesimo piano (menu Edit), oppure importate da altri piani o esportate verso altri piani (menu Copia). Alle pareti selezionate possono essere applicati i comandi del menu Unifica, per impostare rapidamente dati uguali per un gruppo di pareti omogenee.

Oltre all'uso dell'apposita finestra di dialogo, le pareti possono anche essere selezionate direttamente sulla grafica 2D, nella pianta dati, attraverso il comando 'Seleziona pareti' del menu Immagine della finestra grafica 2D. Selezionando in grafica una o più pareti, quando il fuoco successivamente torna sulla finestra Pareti, la tabella scorre presentando in evidenza la parete selezionata (o la prima del gruppo, in caso di più pareti).

selezionate).

Con questo metodo, è possibile - per via grafica - evidenziare interattivamente i dati della parete selezionata.

PC.M consente inoltre la possibilità di selezionare e deselectare singolarmente le pareti nella tabella dei Dati Pareti. Le funzionalità di filtro selettivo delle pareti vengono così notevolmente ampliate. Si faccia riferimento alla fig. 55.

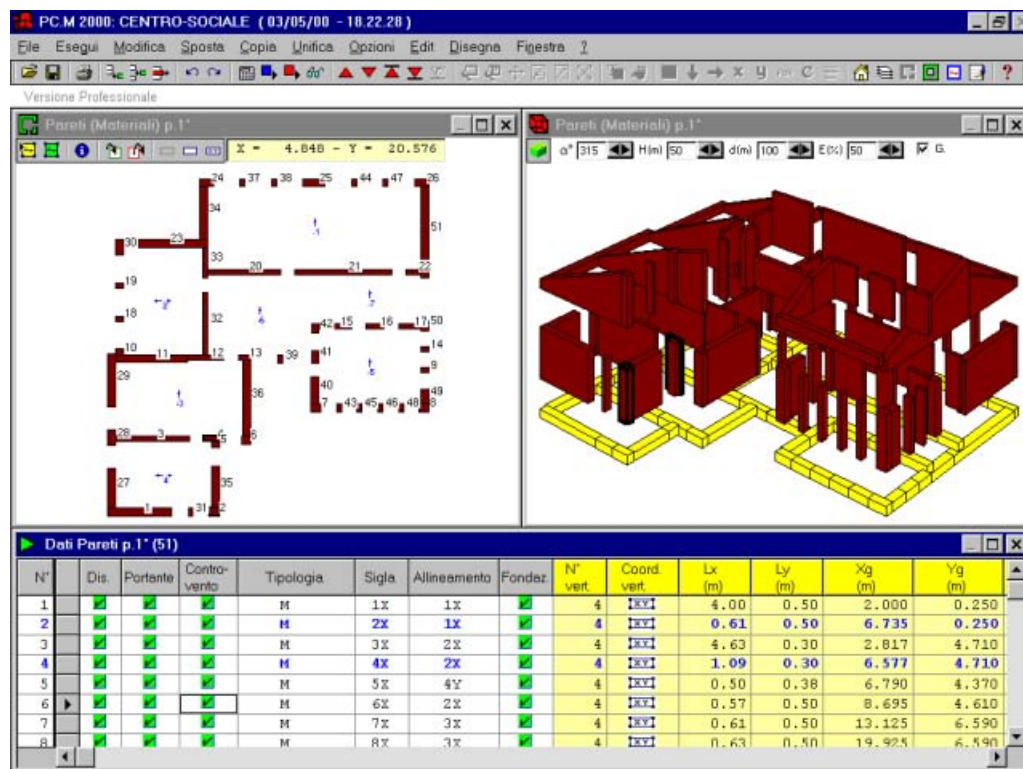



Fig. 55. Selezione / Deselezione di pareti nella tabella.

Le pareti 2 e 4 del piano corrente (piano 1) sono già evidenziate (come risulta dal colore blu grassetto delle corrispondenti righe di dati). La cella è attualmente localizzata in corrispondenza della parete 6. Per evidenziare anche questa parete, fare clic col mouse in corrispondenza della freccia indicatrice:

 posta tra la colonna 'N°' (numero della parete) e la colonna 'Dis.'

Facendoci nuovamente clic in seguito, la parete verrà deselectata. Per operare su altre pareti, spostare la cella in una qualunque colonna della parete desiderata e quindi procedere con il clic sulla freccia indicatrice.

**Deseleziona** = Deseleziona immediatamente tutte le pareti o le colonne eventualmente selezionate.

**Ottimizza** = L'ottimizzazione dei Dati Pareti determina la (ri)definizione di Allineamenti (e Sigle) per Pareti e Fondazioni, e l'aggiornamento delle maglie di solaio. Nessuna variazione viene apportata sulla numerazione delle Pareti e delle Fondazioni. E' un comando consigliabile soprattutto al termine di un inserimento manuale dei dati strettamente geometrici di un nuovo edificio; infatti, esso permette la generazione automatica degli allineamenti, in modo del tutto analogo a quanto PC.M fa automaticamente quando si esegue l'input geometrico da file DXF.

I criteri adottati, in fase di ottimizzazione, per la generazione automatica delle sigle e degli allineamenti sono gli stessi consigliabili per il loro inserimento manuale (vd. paragrafo B.5.2.).

Gli allineamenti vengono generati dapprima per il piano 1 (in genere il piano terreno), quindi salendo di piano in



piano il programma controlla che le pareti sovrastanti abbiano allineamenti coincidenti con quelli delle pareti sottostanti, altrimenti vengono generati nuovi allineamenti. Ai fini della generazione degli allineamenti, vengono inoltre considerate anche le fondazioni.

A causa della grande varietà di situazioni geometriche possibili, sarà cura dell'utente (anche se la geometria è stata introdotta da file DXF) verificare la corretta corrispondenza tra gli allineamenti dei vari piani.

Qualora il risultato dell'ottimizzazione non fosse soddisfacente, è comunque sempre possibile utilizzare il comando Annulla del menu Modifica per tornare alla configurazione precedente.

**Ottimizza origine assi XY** = Ovunque sia geometricamente posizionato l'edificio (pareti e fondazioni), questo comando calcola automaticamente la posizione ottimale dell'origine facendone coincidere le coordinate con i valori minimi delle coordinate dei baricentri di tutte le pareti e fondazioni. Può essere utile dopo aver eseguito l'input da DXF, se in CAD si è costruita la pianta senza preoccuparsi della posizione dell'origine del riferimento; com'è noto, ciò può produrre viste limitate della struttura, in quanto i quadri grafici contengono sempre anche l'origine degli assi globali XY.

Il medesimo risultato di questo comando si otterrebbe rilevando la quantità di cui spostare l'edificio ed eseguendo poi il comando 'Sposta tutto' del menu Edit.

### B.5.5. Menu SPOSTA

Il menu Sposta consente lo spostamento rapido per gruppi omogenei di dati all'interno della finestra.

Gli spostamenti in orizzontale risultano particolarmente utili quando l'insieme dei dati si presenta esteso oltre le dimensioni fisiche della finestra.

La tabella dei Dati Pareti è formata da un gruppo di dati costituenti i parametri di identificazione della parete (**Identificazione**), dai dati geometrici (**Geometria**), da quelli caratteristici dei materiali (**Materiali**), dai dati sui carichi direttamente applicati (**Carichi**), dai dati sui vincolamenti (**Vincoli**) e da quelli sui setti (**Setti**). Tramite il menu Sposta, la prima colonna a sinistra della tabella coincide con il primo dato del gruppo scelto (ad esempio, Lx nel caso di 'Geometria').

Durante l'introduzione delle pareti, è necessario anche lo **spostamento della tabella da un piano all'altro**.

Inizialmente, infatti, caricando la tabella Dati Pareti vengono proposti i dati del piano 1; successivamente è possibile scorrere i diversi piani utilizzando i tasti di scelta rapida F5, F6 (anche in combinazione con MAIUSC).

Lo spostamento tra piani avviene molto agevolmente utilizzando i pulsanti grafici della barra degli Strumenti:

▲ Piano Superiore ( **F6** )

▼ Piano Inferiore ( **F5** )

⏮ Ultimo Piano ( **MAIUSC + F6** )

⏭ Piano 1 ( **MAIUSC + F5** )

### B.5.6. Menu COPIA

Il menu Copia consente:

- di **copiare interamente il piano** superiore o il piano inferiore;
- di esportare verso altri piani o importare da altri piani le pareti selezionate.

Nel caso dell'**importazione**, il comando non può essere eseguito qualora nel piano da cui si vuole importare non esista la parete avente la numerazione della parete selezionata nel piano corrente.

Nel caso invece dell'**esportazione**, le pareti si esportano comunque: se nel piano di destinazione la numerazione della parete da esportare non esiste, verrà creata la nuova parete.

Nel caso che si esporti con la stessa numerazione (attivando l'apposito comando di menu), le pareti selezionate vengono esportate rispettando la numerazione del piano corrente.

Grazie a questi comandi, l'inserimento dei dati per edifici aventi strutture ripetitive ai diversi piani viene effettuato rapidamente e senza errori.

### B.5.7. Menu UNIFICA

Il menu Unifica consente l'inizializzazione rapida di quei dati che sono uguali per diverse pareti.

I comandi di questo menu agiscono per colonna (quindi per il particolare parametro dove si trova la cella), unificando il valore del parametro della parete corrente in tutte le pareti di destinazione.

Se è attivato il comando di menu **Pareti seguenti**, le pareti di destinazione sono *tutte le pareti successive* a quella corrispondente alla cella: attenzione quindi a *porsi sulla prima parete (riga n.1) per ottenere gli effetti desiderati su tutte le pareti*; ad esempio, se il campo di editazione si trova alla posizione individuata dalla parete n.5, nel dato Ly, il comando Unifica Colonna unificherà il valore Ly di tutte le pareti dopo la n.5 al valore di Ly della parete n.5.

Se è attivato il comando di menu **Selezione**, le pareti di destinazione sono tutte le pareti correntemente selezionate.

**Colonna ( CTRL + U )** = Unifica il particolare dato delle pareti di destinazione a quello della parete corrente. Questo comando può quindi interessare una qualsiasi colonna di dati.

**Spessori** = Unifica gli spessori delle pareti di destinazione alla parete corrente. Il comando si basa sugli allineamenti: se l'allineamento non è specificato, controlla se almeno una delle due dimensioni è diversa da zero e considera come spessore la dimensione minore.

**Baricentri** = Unifica i baricentri delle pareti che appartengono allo stesso allineamento della parete corrente; agisce sulle pareti di destinazione. Se la parete corrente appartiene a un allineamento X, unifica Yg; se Y, Xg.

**Altezze** = Unifica tutte le colonne dei dati sulle altezze delle pareti di destinazione alla parete corrente.

**Materiali** = Unifica tutte le colonne dei dati sui materiali delle pareti di destinazione alla parete corrente.

### B.5.8. Menu OPZIONI

**H parete = Hpiano, H parete = H (piano + solaio)** = Pone l'altezza iniziale 'H inizio' della parete uguale all'altezza di piano definita nei Dati Piani, oppure all'altezza di piano sommata a quella di solaio.

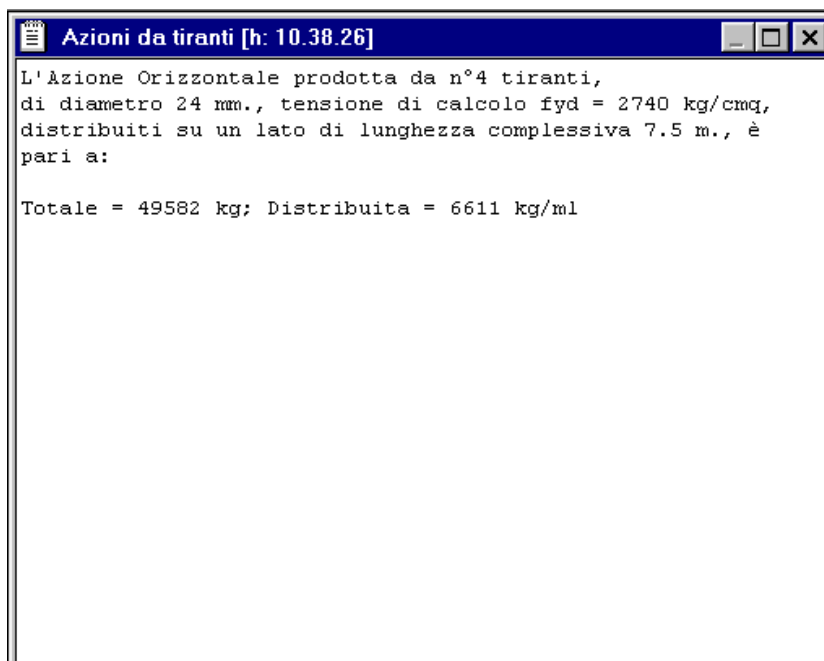
**H f = H i** = Se attivato, pone automaticamente l'altezza finale della parete uguale all'altezza iniziale.

**H calc automatica** = Se attivato, consente di porre automaticamente l'altezza di calcolo pari all'altezza media della parete.

**Tiro dai tiranti...** = Attiva un'utilità per il calcolo del tiro da tiranti, il cui risultato verrà posto automaticamente in corrispondenza della colonna 'Tiro' della parete corrente. E' quindi da utilizzarsi mentre la cella si trova su pareti sedi di definizione di 'Setti'.

Il comando è accompagnato dalla descrizione dei dati richiesti, all'interno della barra dei Messaggi di Stato. Tali dati richiesti devono essere inseriti in una casella di testo attivata allo scopo in corrispondenza della parete corrente.

Inseriti i dati, confermare con il tasto INVIO: il risultato viene presentato all'interno di una apposita finestra di testo:



**Fig. 56.** Azioni da tiranti.

**Tipi di acciaio per tiranti...** = Apre una finestra di testo dove sono riportati i dati degli acciai normalmente utilizzabili per i tiranti. Questi dati sono utili per l'esecuzione del comando 'Tiro dai tiranti'.

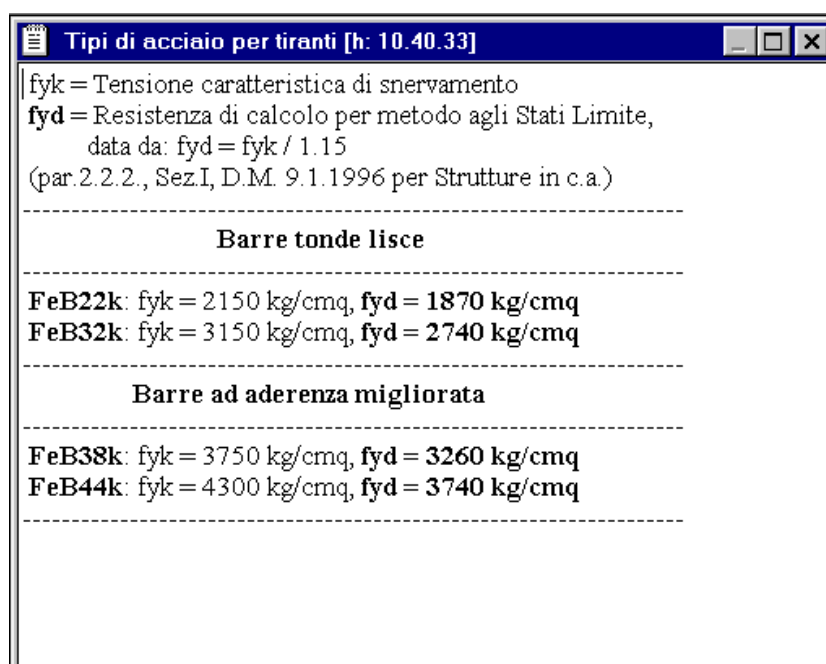


Fig. 57. Tipi di acciaio per tiranti.

**Verifica di ancoraggio...** = Attiva un'utilità per la verifica dell'ancoraggio in corrispondenza della parete corrente.

Il comando è accompagnato dalla descrizione dei dati richiesti, all'interno della barra dei Messaggi di Stato. Tali dati richiesti devono essere inseriti in una casella di testo attivata allo scopo in corrispondenza della parete corrente.

Inseriti i dati, confermare con il tasto INVIO: il risultato viene presentato all'interno di una apposita finestra di testo:

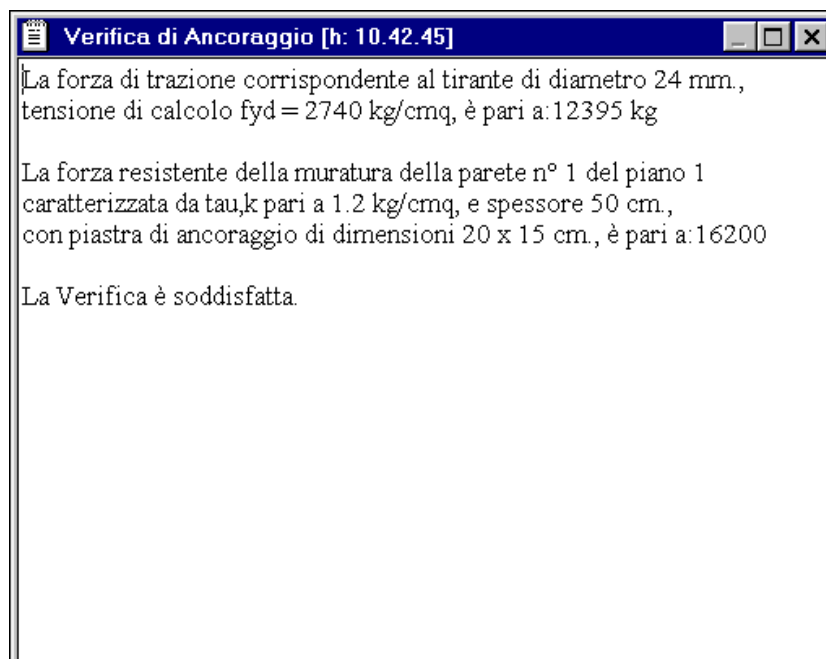


Fig. 58. Verifica di Ancoraggio.

L'esecuzione del comando permette di eseguire la verifica locale di ancoraggio, e quindi di verificare se effettivamente il tiro ipotizzato per il tirante sia sostenibile dalla muratura. Lo schema per la verifica è riportato nella figura seguente:

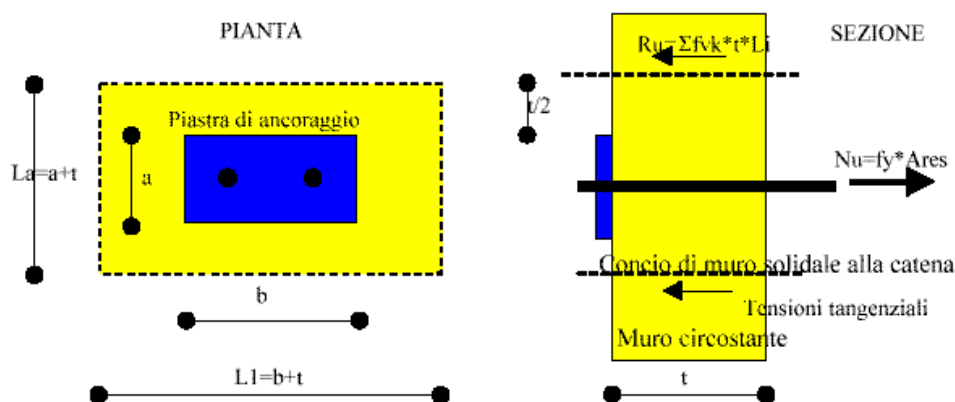


Fig. 59. Schema per la verifica a punzonamento del muro (da [12]).

Il comando richiede l'inserimento delle dimensioni  $a$  e  $b$  della piastra, il diametro del tirante e la forza a cui lavora. Lo spessore e le caratteristiche di resistenza sono ovviamente quelle della parete corrente.

**Relazioni su G, E e tensioni di progetto** = Calcola le caratteristiche meccaniche e le tensioni di progetto direttamente in base alle relazioni riportate nel comando di menu. Le relazioni a cui viene fatto riferimento sono coerenti con le indicazioni di Normativa relativamente ai casi distinti di edificio nuovo od esistente.

**Piano in Muratura / Cemento Armato** = Alterna il materiale del piano corrente fra muratura e cemento armato. Il comando agisce cambiando il materiale di tutte le pareti del piano corrente: se c'è anche un solo maschio murario (tipologia M), cambia tutte le pareti di tipologia M in C; se c'è anche una sola parete in c.a. (tipologia C) cambia tutte le pareti di tipologia C in M (adottando per default il materiale n.3, che poi l'utente potrà ovviamente variare a piacere). Il comando non ha alcun effetto su pareti di tipologia R, H, L, S, T, F.

**Tabella completa** = Visualizza la tabella dei Dati Pareti in forma completa.

**Tabella ridotta** = Visualizzate la tabella dei Dati Pareti in forma ridotta, riportando solo le colonne strettamente indispensabili per la definizione dei dati più importanti: Tipologia, Allineamento, Dati geometrici, Tipo materiale. La riduzione semplifica la gestione della tabella durante la fase di input, soprattutto nel caso di elevato numero di pareti.

**Nascondi colonne** = Nasconde le colonne selezionate nella tabella Dati Pareti.

Per selezionare una colonna, fare clic sulla sua intestazione (ad es.  $L_x$  (m) per la colonna delle lunghezze in direzione X).

Per selezionare più colonne contemporaneamente, tenere premuto il tasto MAIUSC mentre si fa clic o si trascina il mouse sulle intestazioni delle colonne interessate.

Per deselectare le colonne, usare il comando Deseleziona del menu Modifica.

**Pareti Portanti e di Controvento** = Permette di definire le caratteristiche portanti e di controvento del gruppo di pareti selezionate. Il comando agisce: o solo sul gruppo selezionato, oppure anche sul gruppo selezionato, oppure esclude il gruppo selezionato.

### B.5.9. Menu EDIT

Il menu Edit permette l'esecuzione rapida e semplificata di variazioni della configurazione geometrica delle pareti. 'Editare' una parete significa poterla spostare, stirare, copiare, unire ad un'altra, dividere, inserendo - con effetto immediato - i minimi dati indispensabili, senza necessità di ricalcolo di tutti i parametri della parete da parte dell'utente.

I comandi del menu Edit sono accompagnati dalla descrizione dei dati richiesti, all'interno della barra dei Messaggi di Stato. Tali dati richiesti devono essere inseriti in una casella di testo attivata allo scopo in corrispondenza della parete corrente.

I comandi che richiedono un vettore spostamento o comunque coordinate geometriche, possono convenientemente essere preceduti da misurazioni di distanze sul piano grafico 2D: ad esempio, per stirare una parete fino a farla coincidere con l'inizio di un'altra, o si conosce già la quantità per l'esecuzione del comando Stira, oppure si può misurare la distanza sulla pianta utilizzando l'apposito comando del menu Immagine della finestra grafica 2D.

*I comandi **Unisci**, **Dividi** non sono eseguibili se non sono stati specificati gli allineamenti.*

**Sposta** = Richiede l'inserimento dello spostamento del baricentro della parete corrente.

**Stira** = Stira la parete corrente, ossia ne sposta i vertici iniziale e/o finale lungo il suo allineamento. Il comando richiede lo spostamento dei vertici (o estremi), con la convenzione di spostamenti positivi per l'allungamento, negativi per l'accorciamento.

**Copia** = Crea una nuova parete, con caratteristiche uguali a quelle della parete corrente, alla distanza specificata.

**Unisci** = Unisce due pareti (indipendentemente dalla parete corrente). Le due pareti, specificate attraverso il loro numero, devono essere maschi murari dello stesso allineamento, e verranno unificate nel numero di parete più piccolo. Si faccia attenzione, unite le pareti, ad unificare gli eventuali Carichi diversi da zero presenti in tabella Dati Pareti (PC.M non effettua tale controllo).

Il comando non è eseguibile se non sono stati specificati gli allineamenti.

**Dividi** = Divide la parete corrente in 'n' parti di ugual lunghezza. Si deve specificare appunto il numero 'n' per la suddivisione (ad esempio: 2, per spezzare in due parti la parete corrente). Si faccia attenzione, spezzata la parete, a ripartire gli eventuali Carichi diversi da zero presenti in tabella Dati Pareti.

Il comando non è eseguibile se non sono stati specificati gli allineamenti.

**Sposta pareti selezionate, Copia pareti selezionate** = Questi comandi consentono di spostare o copiare le pareti che risultano attualmente selezionate nel piano corrente.

Indipendentemente dalla parete corrente, è quindi possibile effettuare lo spostamento o la copia di una o più pareti, avendole precedentemente selezionate (mediante la selezione diretta nella tabella Dati Pareti (vd. fig. 55), oppure attraverso il comando Seleziona del menu Modifica della finestra Pareti stessa, oppure per via grafica attraverso il comando 'Seleziona' del menu Immagine della finestra grafica 2D): PC.M richiede il vettore spostamento.

**Sposta tutto** = Richiede l'inserimento del vettore spostamento per tutto l'edificio.

Rispetto all'edificio, il comando equivale a una traslazione dell'origine del sistema di riferimento globale XY. Poiché PC.M visualizza, nelle finestre grafiche, il quadro comprendente anche l'origine del sistema globale, qualora questa sia in posizione sfavorevole (ad esempio, lontana dall'edificio) la pianta in 2D può apparire di piccole dimensioni, e la prospettiva in 3D molto allungata e poco leggibile (questa situazione può verificarsi qualora si sia eseguito l'input da DXF senza preoccuparsi della posizione dell'origine nel CAD). Si può quindi traslare l'edificio utilizzando questo comando, in modo da ottimizzarne la restituzione grafica in PC.M; in alternativa, la via più rapida è l'utilizzo del comando 'Ottimizza origine assi XY' del menu Modifica.

**Ruota tutto** = Richiede l'angolo di rotazione in gradi sessagesimali (positivo se antiorario) di tutto l'edificio,

intorno all'origine del sistema di riferimento globale XY. Il comando determina la rotazione: delle pareti, delle fondazioni, degli angoli di orditura dei solai, degli allineamenti.

Il comando può essere utilizzato per esaminare il *comportamento sismico dell'edificio rispetto a due direzioni XY* ortogonali tra loro (che individuano il sistema di riferimento globale) *diverse dalle precedenti*. Rispetto all'edificio, il comando equivale infatti a una rotazione del sistema di riferimento XY e quindi delle direzioni delle forze orizzontali utilizzate per le verifiche sismiche.

In ogni caso, la direzione di verifica sismica può essere scelta nei Parametri di Calcolo (scheda 'Analisi Sismica').

Lo studio della risposta strutturale dell'edificio per direzioni sismiche diverse dalle XY può essere effettuato anche attraverso l'analisi dei Domini di Resistenza.

### **B.5.10. Menu DISEGNA**

Il menu Disegna predispone al disegno le pareti secondo i seguenti criteri: **Tutte le pareti, Solo Selezione, Anche Selezione, Escludi Selezione**.

Le pareti che vengono rappresentate nelle finestre grafiche 2D e 3D presentano, nella colonna Dis. dei Dati Pareti, un'icona spuntata verde; altrimenti, compare un quadratino rosso. E' anche possibile agire direttamente sulle icone delle singole pareti, facendovi clic, per attivarne o meno la rappresentazione grafica.

**Aggiorna 2D e Aggiorna 3D** = Attivano / disattivano l'aggiornamento interattivo dei disegni mostrati nelle finestre grafiche 2D e 3D durante la fase di inserimento / modifica dati. Poiché l'aggiornamento del disegno ne richiede sempre la rigenerazione, può essere utile, soprattutto per strutture complesse, velocizzare la gestione tabellare dei dati disattivando temporaneamente l'aggiornamento interattivo dei disegni.

**Predisposte per Assemblaggio** = Il comando permette di rappresentare graficamente solo gli insiemi di pareti che hanno sigle coincidenti. Queste sono le pareti le cui rigidezze verranno poi assemblate nel calcolo ad azioni orizzontali, qualora sia selezionata l'opzione 'Assemblaggio pareti con uguali Sigla, Allineamento' nella scheda 'Parametri Vari (1)' della finestra 'Parametri di Calcolo'.

## B.6. FINESTRA FONDAZIONI

### B.6.1. Dati FONDAZIONI

I Dati Fondazioni devono necessariamente essere inseriti per ogni edificio. Qualora, per un edificio esistente, non sia possibile conoscere la reale disposizione delle fondazioni, è possibile ipotizzarne le dimensioni, ad esempio considerando le sezioni trasversali delle pareti che spiccano al piano 1 (generalmente il piano terreno), eventualmente allargandole. Queste operazioni sono rese rapide dai comandi di menu.

Peraltro, anche le fondazioni, come le pareti sovrastanti, possono essere direttamente inserite via file DXF (questa è probabilmente la via preferibile per l'immediatezza del disegno su CAD).

Molti comandi della finestra Fondazioni sono analoghi ai corrispondenti della finestra Pareti.

#### Parametri di Identificazione:

- **N°** = Numero progressivo della fondazione.

Le Fondazioni non necessariamente coincidono, per numero complessivo, con il gruppo di pareti del Piano 1 (cioè del piano che su di esse si imposta). Infatti può darsi il caso di fondazioni su piani sfalsati, cioè poste a quote distinte. Tenere inoltre presente che strisce e travi definite nei Dati Pareti per loro stessa definizione non possono avere fondazione.

- **Dis.** = Indica se la fondazione viene disegnata o meno nelle rappresentazioni grafiche. Un'icona spuntata verde indica sì, altrimenti compare un quadratino rosso. Facendo clic sull'icona si include / esclude dal disegno la fondazione (questo comando può anche essere eseguito dal menu Disegna).

- **Piano** = Piano di appartenenza della parete che si imposta sulla fondazione.

In caso di piani sfalsati, le fondazioni non avranno tutte lo stesso piano sovrastante. Ovviamente esisteranno sempre alcune pareti aventi Piano sovrastante uguale al piano 1 (generalmente il piano terreno).

PC.M non richiede un collegamento diretto fra la singola fondazione e la parete sovrastante: la trasmissione dei carichi dalle strutture in elevazione alle fondazioni avviene infatti automaticamente, secondo criteri analoghi alla trasmissione dei carichi da un piano in elevazione al piano sottostante (criteri basati sugli allineamenti).

Una volta determinato i carichi agenti su ogni singola fondazione per effetto della sovrastruttura, tali carichi verranno diffusi sul terreno secondo lo schema adottato nei Parametri di Calcolo (scheda 'Analisi Statica', Schema statico per Analisi Fondazioni). Nello schema 'locali' il carico agente sulla singola fondazione viene applicato direttamente al terreno; nel caso di piano rigido, le risultanti dei carichi agenti in fondazione vengono composte e determinano la pressione sul terreno del reticolo di fondazione (o platea), con definizione del centro di pressione generale, degli assi principali e del nocciolo d'inerzia.

Per definire una **fondazione 'libera'**, cioè un 'cordolo' o una 'trave' che non costituisce imposta di alcuna parete sovrastante, questa viene normalmente inserita al proprio piano di appartenenza, e ovviamente non riceverà carico locale dalla sovrastruttura; in casi di questo tipo accade frequentemente che alcuni allineamenti siano presenti specificatamente solo in fondazione e non nella struttura in elevazione.

Dal punto di vista del significato fisico, elementi fondali 'liberi' sono generalmente considerati al fine di includere nel calcolo la pianta completa delle fondazioni, purché ovviamente esista un collegamento efficace fra le varie fondazioni.

Per definire una **platea**, è possibile inserire direttamente la 'fondazione' poligonale che la descrive: anche se nella tabella Fondazioni esiste un solo elemento, il calcolo verrà correttamente eseguito nell'ipotesi di 'Piano Rigido' e quindi saranno note tutte le informazioni di pressione sul terreno (centro di pressione generale, assi principali e nocciolo d'inerzia). La definizione di elementi poligonalari avviene similmente alla finestra Dati Pareti.

- **Sigla** = Codice alfanumerico di identificazione della singola fondazione. Nel caso di **Carichi Locali** (dove ogni parete trasmette alla fondazione il proprio carico statico, indipendentemente dalle altre), l'attribuzione della




stessa Sigla a più elementi di fondazione può consentire l'uniformizzazione della tensione sotto tali fondazioni. Allo scopo, è necessaria la selezione dell'opzione: "**Tensioni uniformi** sotto fondazioni con uguale Sigla", nei Parametri di Calcolo, scheda 'Analisi Statica', Schema statico per Analisi Fondazioni.

- **Allineamento** = Codice di identificazione dell'allineamento in pianta a cui appartiene la fondazione, formato da un numero progressivo + X o Y a seconda della direzione + eventuale angolo di inclinazione. Se la fondazione ha una parete sovrastante, generalmente il suo allineamento coincide con quello di tale parete.

### Parametri Geometrici:

- **N° vert.** = Numero dei vertici della poligonale che rappresenta la sezione trasversale della fondazione. Per fondazioni a sezione rettangolare, il numero dei vertici è pari a 4.  
Analogamente alle pareti, è infatti possibile definire non soltanto fondazioni a sezione rettangolare, ma anche poligonale: questo consente una migliore descrizione della geometria degli edifici, soprattutto per edifici esistenti in presenza di irregolarità di vario tipo. Un altro caso di utilità della schematizzazione poligonale riguarda le platee di fondazione, spesso utilizzate per edifici nuovi.  
Eseguendo l'inserimento dati attraverso l'importazione da file DXF, il numero dei vertici viene determinato automaticamente in base alle polilinee definite in ambiente CAD.  
Ad ogni poligonale è associato il 'rettangolo rappresentativo', creato allo scopo di rappresentare la fondazione 'irregolare' con il rettangolo che meglio la approssima. Il 'rettangolo rappresentativo', coincidente con il reale rettangolo nel caso di sezione effettivamente rettangolare, è definito dai parametri geometrici: Lx, Ly, Xg, Yg, Angolo (vedi nel seguito).  
Se il numero dei vertici è maggiore di 4, è impossibile modificare direttamente i parametri Lx, Ly, Xg, Yg, Angolo del rettangolo rappresentativo: la geometria della fondazione deve essere modificata attraverso l'editazione dei vertici (vedi campo: **Coord. vert.**), oppure occorre prima rendere pari a 4 il numero dei vertici.

- **Coord. vert.**  = Spostando la cella su questo campo, e facendoci clic con il mouse, si attiva la Finestra di editazione dei Vertici (vd. in dettaglio al paragrafo B.5.2.12.1.), dove in una tabella sono riportate le coordinate dei vertici della fondazione corrente.

E' possibile modificare le coordinate X e Y per ogni vertice della poligonale descrivente la fondazione; confermando le modifiche, PC.M aggiornerà il 'rettangolo rappresentativo' della fondazione corrente (aggiornando cioè i parametri Lx, Ly, Xg, Yg, Angolo). Diversamente dai dati Pareti, per le Fondazioni non è possibile modificare l'altezza dei singoli vertici, comunque posta pari allo spessore della suola.

- **Lx, Ly** = Dimensioni della fondazione nelle direzioni X e Y corrispondenti agli assi di riferimento. In caso di parete che si imposta sul terreno senza allargamento della sua base, Lx e Ly coincidono con le dimensioni della parete sovrastante; alla fondazione si attribuirà, in tal caso, uno spessore della suola pari alla 'profondità' di 'infissione' della parete nel terreno.

**Per una fondazione poligonale**, Lx e Ly rappresentano le dimensioni del 'rettangolo rappresentativo' (= lati paralleli agli assi principali tali da dare un'area uguale all'area reale, ottenuti per similitudine del rettangolo che involupa la poligonale nel sistema di riferimento principale).

- **Xg, Yg** = Coordinate del baricentro della fondazione.

In caso di fondazione di una parete che si imposta sul terreno senza allargamento della sua base, né in senso trasversale né longitudinale, Xg e Yg coincidono con le corrispondenti coordinate della parete stessa.

**Per una fondazione poligonale**, Xg e Yg rappresentano la posizione del baricentro del 'rettangolo rappresentativo' (coincidente con la reale posizione del baricentro della poligonale).

- **Angolo** = Angolo di inclinazione in pianta della fondazione, **positivo se in senso antiorario**, fra l'asse di riferimento (X o Y a seconda dell'allineamento della fondazione) ed il corrispondente asse locale della fondazione.

**Per una fondazione poligonale**, Angolo rappresenta l'angolo di inclinazione in pianta del 'rettangolo rappresentativo' (coincidente con l'angolo del sistema di riferimento principale della poligonale rispetto agli assi XY).

- **Spessore suola** = Nel caso di fondazioni a sezione rettangolare, rappresenta l'altezza della sezione, ed è l'unico dato diverso da zero rispetto ad Altezza anima - Spessore anima - Distanza anima; nel caso di fondazioni a T o a L rovescio, rappresenta l'altezza della suola di base.

- **Altezza anima, Spessore anima, Distanza anima** = Descrivono la sezione di fondazione a T o a L rovescio. La distanza dell'anima rappresenta la distanza del piano medio dell'anima dal baricentro della suola, ed è positiva se alla destra del baricentro (in fig. 60, un esempio di distanza anima positiva).

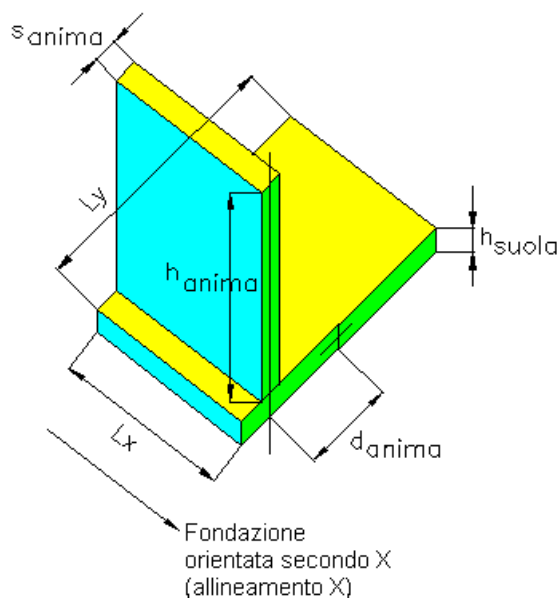


Fig. 60. Definizione geometrica delle fondazioni.

- **Quota estrad.** = Quota di estradosso della fondazione. Rappresenta la distanza relativa fra il piano della fondazione e l'estradosso della fondazione stessa. Valori diversi da zero possono essere utilizzati per descrivere fondazioni lievemente sfalsate.

#### Parametri relativi al Materiale:



- **Tipo** = Numero di identificazione del tipo di materiale. Collega il materiale della parete alla lista dei materiali disponibili, visualizzabili in una casella a discesa attivata dal clic su questo campo: 1) Calcestruzzo; 2) Mattoni pieni; 3) Pietrame; 4) Altri materiali. Ad ognuno di questi materiali corrisponde un peso proprio (peso specifico) predefinito, comunque modificabile nella colonna 'P.pr.'

- **P. pr.** = Peso specifico del materiale costituente la fondazione, materiale che può essere anche diverso da quello della parete sopra impostata (per esempio una parete in laterizio può avere una fondazione in c.a. o in pietrame).

#### Parametri relativi ai Carichi:

**G distr., Q distr., s** = Carico permanente e accidentale (distribuiti, in kg/ml) e coefficiente di riduzione. E' così possibile attribuire ad una fondazione carichi verticali distribuiti. Nel caso di presenza di solai di fondazione, questi possono essere definiti nell'ambito dei Dati Solai, in modo che i carichi vengano automaticamente calcolati.

### B.6.2. Menu ESEGUI

**Analisi Statica** ( **F7** ) [ Barra degli Strumenti:  ] , **Analisi Sismica** ( **F8** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Eseguono l'Analisi Statica o Sismica dell'edificio. Questi comandi, presenti già nella finestra principale di PC.M, sono disponibili anche nelle altre finestre di input dati (Piani, Pareti, Fondazioni, Solai) in modo da consentire l'esecuzione (o ri-esecuzione) dei calcoli direttamente dalla finestra attiva, senza l'obbligo di attivare la finestra Edificio. L'uso dei pulsanti grafici della barra degli Strumenti è comunque la via più rapida per l'esecuzione del comando.


**Elenco Allineamenti** = Consente la visualizzazione dell'elenco degli allineamenti correntemente utilizzati nell'intero edificio, considerando fondazioni e piani in elevazione.


Per ogni allineamento, vengono indicati i livelli a cui esso è presente.

Questo comando è particolarmente utile quando si debbano aggiungere nuovi elementi, definendo manualmente nuovi allineamenti: è immediato infatti, in tal caso, vedere qual è l'ultimo allineamento X o Y per aggiungere correttamente il successivo.


L'elenco degli allineamenti viene rappresentato all'interno di un'apposita finestra di testo (fig. 53).


### B.6.3. Menu MODIFICA

**Annulla** ( **CTRL + Z** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Torna, se disponibile, alla configurazione precedente, annullando l'ultima modifica effettuata.

**Ripristina** [ Barra degli Strumenti:  ] = Ripristina, se disponibile, la configurazione successiva a quella correntemente visualizzata.

**Attiva Annulla / Ripristina** = Se attivato, consente l'uso dei comandi Annulla e Ripristina. Poiché tali comandi possono produrre un seppur lieve rallentamento nell'esecuzione del programma, dal momento che si devono memorizzare le configurazioni dell'edificio corrispondenti alle modifiche effettuate in successione, la disattivazione consente la velocizzazione delle modifiche.


**Aggiungi** ( **CTRL + A** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Aggiunge una fondazione al termine della tabella, posizionandovi la cella corrente in corrispondenza della colonna corrente.

**Inserisci** ( **CTRL + I** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Inserisce una fondazione nella posizione corrente della cella, scalando quindi di uno verso il basso la numerazione di tutte le fondazioni ad essa successive. La cella corrente resta nella posizione attuale.

**Taglia** ( **CTRL + X** ) = Elimina la fondazione corrente, ponendola in memoria.

**Copia** ( **CTRL + C** ) = Pone in memoria la fondazione corrente.

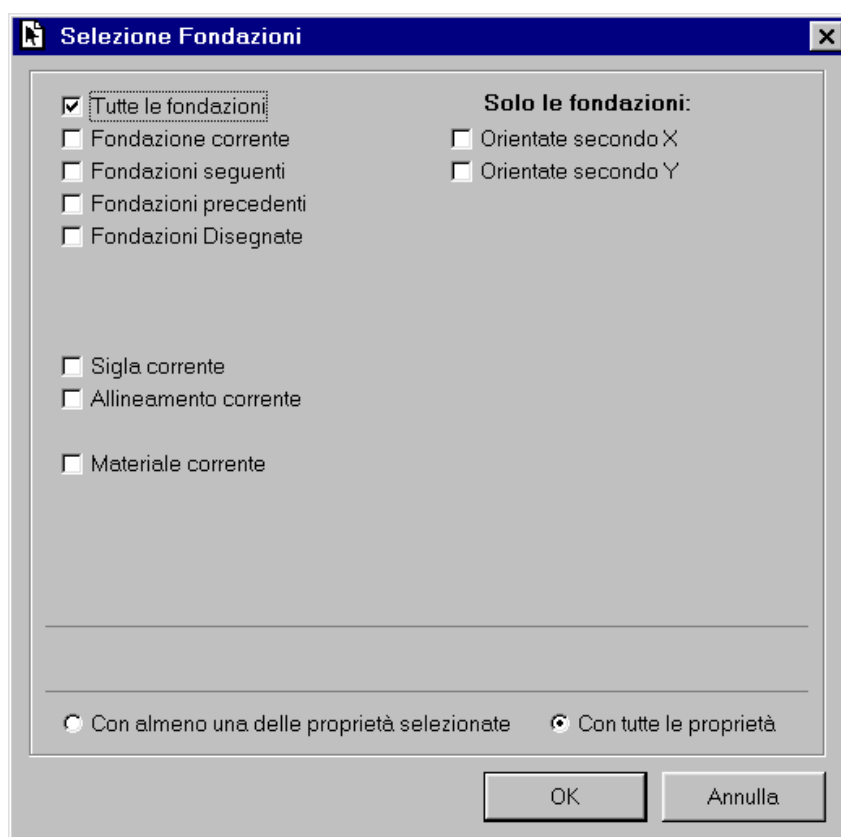
**Incolla** ( **CTRL + V** ) = Incolla la fondazione presente in memoria. Utilizzando Copia e Incolla, associati a Inserisci o Aggiungi, è possibile spostare dati di fondazioni.

**Elimina** ( **CTRL + Y** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Elimina la fondazione corrente, senza porla in memoria.

**Elimina fondazioni selezionate** = Elimina tutte le fondazioni al momento selezionate, evidenziate sia nella rappresentazione grafica, sia nella tabella dei Dati Fondazioni (caratteri in blu grassetto).

**Elimina tutto** = Elimina tutte le fondazioni, riducendone ad 1 il numero totale.

**Seleziona...** = Apre la finestra di dialogo (riportata in fig. 61) dove è possibile effettuare la selezione di un gruppo di fondazioni.



**Fig. 61.** Finestra di dialogo per la Selezione delle fondazioni.

La selezione di un gruppo di fondazioni può essere un'operazione utile, al fine di meglio evidenziare quelle fondazioni che corrispondono al particolare criterio di selezione scelto.


Una volta selezionate, le fondazioni vengono disegnate in evidenza nella rappresentazione grafica; inoltre, la riga della tabella Dati Fondazioni della finestra Fondazioni, per una fondazione selezionata si presenta evidenziata (caratteri in blu grassetto).

Selezionato un gruppo di fondazioni, è possibile disegnare solo il gruppo oppure escluderlo dal disegno (menu Disegna); è possibile eliminare in blocco le fondazioni selezionate (menu Modifica, comando Elimina pareti selezionate). Le fondazioni selezionate possono essere spostate o copiate (menu Edit). Alle fondazioni selezionate possono essere applicati i comandi del menu Unifica, per impostare rapidamente dati uguali per un gruppo di fondazioni omogenee.

Oltre all'uso dell'apposita finestra di dialogo, le fondazioni possono anche essere selezionate direttamente sulla grafica 2D, nella pianta dati, attraverso il comando 'Seleziona' del menu Immagine della finestra grafica 2D. Selezionando in grafica una o più fondazioni, quando il fuoco successivamente torna sulla finestra Fondazioni, la tabella scorre presentando in evidenza la fondazione selezionata (o la prima del gruppo, in caso di più fondazioni selezionate).

Con questo metodo, **è possibile - per via grafica - evidenziare interattivamente i dati della fondazione selezionata.**

**PC.M** consente inoltre la possibilità di selezionare e deselectare singolarmente le fondazioni nella tabella dei Dati Fondazioni. Le funzionalità di filtro selettivo delle fondazioni vengono così notevolmente ampliate. Analogamente ai Dati Pareti (vd. fig. 55), per selezionare o deselectare una fondazione è sufficiente spostare la cella di editazione sulla riga corrispondente, e fare clic col mouse sulla freccia indicatrice:

 posta tra la colonna 'N°' (numero della fondazione) e la colonna 'Dis.'

**Deseleziona** = Deseleziona immediatamente tutte le fondazioni o le colonne eventualmente selezionate.

#### B.6.4. Menu UNIFICA

I comandi di questo menu agiscono per colonna (quindi per il particolare parametro dove si trova la cella), unificando il valore del parametro della fondazione corrente in tutte le fondazioni di destinazione.

Se è attivato il comando di menu **Fondazioni seguenti**, le fondazioni di destinazione sono *tutte le fondazioni successive* a quella corrispondente alla cella: attenzione quindi a *porsi sulla prima fondazione (riga n.1) per ottenere gli effetti desiderati su tutte le fondazioni*; ad esempio, se il campo di editazione si trova alla posizione individuata dalla fondazione n.5, nel dato Ly, il comando Unifica Colonna unificherà il valore Ly di tutte le fondazioni dopo la n.5 al valore di Ly della fondazione n.5.

Se è attivato il comando di menu **Selezione**, le fondazioni di destinazione sono tutte le fondazioni correntemente selezionate.

**Colonna ( CTRL + U )** = Unifica il particolare dato delle fondazioni di destinazione a quello della fondazione corrente. Questo comando può quindi interessare una qualsiasi colonna di dati.

**Larghezza** = Unifica la larghezza delle fondazioni di destinazione alla fondazione corrente. Il comando si basa sugli allineamenti: se l'allineamento non è specificato, controlla se almeno una delle due dimensioni è diversa da zero e considera come larghezza la dimensione minore.

**Baricentri** = Unifica i baricentri delle fondazioni che appartengono allo stesso allineamento della fondazione corrente; agisce sulle fondazioni di destinazione. Se la fondazione corrente appartiene a un allineamento X, unifica Yg; se Y, Xg.

#### B.6.5. Menu OPZIONI

**Crea Fondazioni da Pareti** = Consente di creare direttamente reticolo di fondazione, ponendo uguali le dimensioni geometriche delle fondazioni alle corrispondenti delle pareti sovrastanti fondate. Se le pareti fondate appartengono ad altri piani oltre al piano 1 (caso di fondazioni su piani sfalsati), le fondazioni verranno correttamente create su quote sfalsate.

Fisicamente, l'applicazione di questo comando porta a considerare che le pareti appoggino sul terreno con le proprie dimensioni, senza aumento della sezione trasversale.

In genere, la base della parete si allarga a livello della fondazione in modo da diffondere e ridurre le tensioni trasmesse al terreno; tuttavia non si può escludere che in certi casi, almeno per alcune pareti, la fondazione in senso effettivo non esista e la parete appunto poggi sul terreno, ad una certa profondità, senza allargarsi.

In ogni caso, usando in seguito altri comandi è possibile allargare le fondazioni.

E' importante notare che per la correttezza dei calcoli di PC.M, *i dati delle fondazioni devono sempre essere introdotti*. Tuttavia, in certi casi l'utente è interessato ad analizzare solo la struttura in elevazione, magari perché i dati sulle fondazioni sono assenti o non reperibili.

In tali casi per non incorrere in messaggi di errore (mancanza di dati sulle fondazioni) conviene utilizzare questa opzione 'Crea Fondazioni da Pareti' per definire comunque le fondazioni, e procedere successivamente con i calcoli occupandosi della sola sovrastruttura (evitando magari il calcolo delle fondazioni, che comunque può essere ugualmente eseguito).

Un'altra via per la definizione delle fondazioni è l'importazione da CAD via file DXF.

**Allineamento...** = Legge un allineamento di un piano dell'edificio, aggiungendo le fondazioni delle pareti interessate, con la larghezza specificata. Il comando apre una casella di testo ove si richiede di specificare un allineamento, il suo piano di appartenenza, la larghezza della fondazione. E' così possibile inserire uno 'striscione' di fondazioni sottostanti le pareti di un dato allineamento.

**Fondazioni Continue** = Comando che può essere attivato / disattivato (e corrispondentemente un segno di spunta compare o meno alla sinistra del comando). Se attivato, i comandi 'Crea Fondazioni da Pareti' e 'Allineamento' generano fondazioni continue, conseguendo il collegamento fra le fondazioni di diverse pareti poste lungo uno stesso allineamento. Elementi di fondazione in angolo, al confine fra allineamenti diversi (per es. fra un allineamento X e uno Y) non verranno automaticamente raccordati: utilizzare, allo scopo, altri comandi (ad esempio, Stira del menu Edit).

**Leggi Parete...** = Legge una parete appartenente al piano di ubicazione della fondazione, ponendo la geometria della fondazione uguale a quella della parete. Il comando apre una casella di testo ove si richiede di specificare il numero della parete.

**Tabella completa** = Visualizza la tabella dei Dati Fondazioni in forma completa.

**Nascondi colonne** = Nasconde le colonne selezionate nella tabella Dati Fondazioni. Per selezionare una colonna, fare clic sulla sua intestazione (ad es. Lx (m) per la colonna delle lunghezze in direzione X). Per selezionare più colonne contemporaneamente, tenere premuto il tasto MAIUSC mentre si fa clic o si trascina il mouse sulle intestazioni delle colonne interessate. Per deselectare le colonne, usare il comando Deseleziona del menu Modifica.

### B.6.6. Menu EDIT

Il menu Edit permette l'esecuzione rapida e semplificata di variazioni della configurazione geometrica delle fondazioni. 'Editare' una fondazione significa poterla spostare, stirare, copiare, unire ad un'altra, dividere, inserendo - con effetto immediato - i minimi dati indispensabili, senza necessità di ricalcolo di tutti i parametri della fondazione da parte dell'utente.

I comandi del menu Edit sono accompagnati dalla descrizione dei dati richiesti, all'interno della barra dei Messaggi di Stato. Tali dati richiesti devono essere inseriti in una casella di testo attivata allo scopo in corrispondenza della fondazione corrente.

I comandi che richiedono un vettore spostamento o comunque coordinate geometriche, possono convenientemente essere preceduti da misurazioni di distanze sul piano grafico 2D: ad esempio, per stirare una fondazione fino a farla coincidere con l'inizio di un'altra, o si conosce già la quantità per l'esecuzione del comando Stira, oppure si può misurare la distanza sulla pianta utilizzando l'apposito comando del menu Immagine della finestra grafica 2D.

*I comandi **Unisci**, **Dividi** non sono eseguibili se non sono stati specificati gli allineamenti.*

**Sposta** = Richiede l'inserimento dello spostamento del baricentro della fondazione corrente.

**Stira** = Stira la fondazione corrente, ossia ne sposta i vertici iniziale e/o finale lungo il suo allineamento. Il comando richiede lo spostamento dei vertici (o estremi), con la convenzione di spostamenti positivi per l'allungamento, negativi per l'accorciamento.

**Copia** = Crea una nuova fondazione, con caratteristiche uguali a quelle della fondazione corrente, alla distanza specificata.

**Unisci** = Unisce due fondazioni (indipendentemente dalla fondazione corrente). Si faccia attenzione, unite le fondazioni, ad unificare gli eventuali Carichi diversi da zero presenti in tabella Dati Fondazioni (PC.M non effettua tale controllo).

Il comando non è eseguibile se non sono stati specificati gli allineamenti.

**Dividi** = Divide la fondazione corrente in 'n' parti di ugual lunghezza. Si deve specificare appunto il numero 'n' per la suddivisione (ad esempio: 2, per spezzare in due parti la fondazione corrente). Si faccia attenzione, spezzata la fondazione, a ripartire gli eventuali Carichi diversi da zero presenti in tabella Dati Fondazioni.

Il comando non è eseguibile se non sono stati specificati gli allineamenti.

**Sposta fondazioni selezionate, Copia pareti selezionate** = Questi comandi consentono di spostare o copiare le fondazioni che risultano attualmente selezionate.

Indipendentemente dalla fondazione corrente, è quindi possibile effettuare lo spostamento o la copia di una o più fondazioni, avendole precedentemente selezionate (mediante la selezione diretta nella tabella Dati Fondazioni, oppure attraverso il comando Seleziona del menu Modifica della finestra Fondazioni stessa, oppure per via grafica attraverso il comando 'Seleziona' del menu Immagine della finestra grafica 2D): PC.M richiede il vettore spostamento.

**Allarga: fondazione corrente, fondazioni selezionate, tutte le fondazioni** = Aumenta o diminuisce la larghezza delle fondazioni specificate. Il comando richiede l'inserimento della variazione di larghezza (positiva: allargamento; negativa: restringimento).

### **B.6.7. Menu DISEGNA**

Il menu Disegna predispone al disegno le fondazioni secondo i seguenti criteri: **Tutte le fondazioni, Solo Selezione, Anche Selezione, Escludi Selezione**.

Le fondazioni che vengono rappresentate nelle finestre grafiche 2D e 3D presentano, nella colonna Dis. dei Dati Fondazioni, un'icona spuntata verde; altrimenti, compare un quadratino rosso. E' anche possibile agire direttamente sulle icone delle singole fondazioni, facendovi clic, per attivarne o meno la rappresentazione grafica.

**Aggiorna 2D e Aggiorna 3D** = Attivano / disattivano l'aggiornamento interattivo dei disegni mostrati nelle finestre grafiche 2D e 3D durante la fase di inserimento / modifica dati. Poiché l'aggiornamento del disegno ne richiede sempre la rigenerazione, può essere utile, soprattutto per strutture complesse, velocizzare la gestione tabellare dei dati disattivando temporaneamente l'aggiornamento interattivo dei disegni.

## B.7. FINESTRA SOLAI

### B.7.1. Dati SOLAI

I solai sono presenti ai piani dell'edificio, di cui costituiscono gli orizzontamenti od impalcati, ed in fondazione. E' indispensabile inserire i Dati Solai per effettuare il calcolo automatico delle condizioni di carico. Se invece i carichi vengono calcolati manualmente e direttamente inseriti nella tabella di input delle pareti, i Dati Solai sono superflui per quanto riguarda i carichi.

Può comunque anche verificarsi il caso 'misto' di presenza di dati sui solai e di carichi direttamente inseriti, calcolando ad esempio le condizioni di carico con l'ipotesi, assunta da PC.M, che quelli direttamente inseriti siano aggiuntivi a quelli calcolati automaticamente (un caso simile si ha per esempio per un balcone che produce sulla parete interessata una risultante valutata manualmente dall'utente, che va a sommarsi al carico calcolato automaticamente prodotto da una maglia di solaio; a meno che il balcone non sia schematizzato anch'esso fra le maglie di solaio, utilizzando gli elementi 'trave' appositamente definiti).

Se si sceglie l'input da file DXF, i Dati Solai risulteranno parzialmente predisposti in base alle informazioni geometriche dedotte dal file DXF; in particolare, verranno predeterminate le maglie di solaio (cioè l'elenco degli allineamenti che definisce ogni maglia).

I Dati Solai, in questo caso, dovranno essere completati con i dati non definiti dal file DXF (ad esempio il tipo, con il valore dei carichi permanente e accidentale).

Fra i dati solai, particolare importanza assume una maglia fittizia detta '**Perimetro di Piano**', avente tipologia 'E', che necessariamente deve essere definita, per tutti gli edifici, nuovi ed esistenti, per ogni piano (*escluso il piano di fondazione*). Attraverso questa maglia (per la quale i carichi e l'orditura non hanno significato e possono avere qualunque valore, anche nullo) viene descritta la sequenza di allineamenti che definisce il perimetro di piano, in modo da consentire varie operazioni di calcolo, fra cui la determinazione dell'area in pianta e delle forze del vento che agiscono in direzione normale sulle pareti perimetrali.

**N°** = Numero progressivo del solaio.

**Tipo solaio** = Numero di identificazione del tipo di solaio, definito dai corrispondenti valori dei carichi. Collega il solaio ai dati inseriti nella Tabella dei Solai (vd. paragrafo B.8.1.2.).

**Sp.** = Spessore del solaio. Essendone previsto un uso a soli fini grafici, non influenza il calcolo, e quindi può anche essere posto uguale a zero.

**P. pr.** = Peso proprio del solaio, come carico di superficie.

**Perm. G** = Carico permanente di superficie. Normalmente, coincide con il sovraccarico permanente (cioè, il carico permanente oltre il peso proprio). Se il peso proprio è posto uguale a zero, il totale del carico permanente può comunque essere incluso in questo dato: infatti, il software assumerà nel calcolo come carico permanente complessivo la somma di 'Peso pr.' e di 'Perm. G'.

**Acc. Q** = Carico accidentale di superficie.

**Riduz. "s"** = Coefficiente di riduzione del carico accidentale per il calcolo del peso sismico W.  
Si ricorda che:  $W = G + sQ$ .

**Comb. S.L.** = Coefficiente  $\psi$  di combinazione di carico accidentale per le verifiche agli Stati Limite (punto B.8.2. D.M. 16.1.1996).

**Solaio per Allineamenti (Maglia)** = Stringa alfanumerica di descrizione della maglia del solaio tramite l'elenco



degli allineamenti che la determinano.

Tale elenco può essere inserito sia in senso orario, sia antiorario.

Ad esempio, la maglia di solaio della figura 64 è così descritta: 1X 1Y 2X 2Y.

E' anche possibile descrivere la maglia attraverso i numeri di pareti che la individuano: si veda il comando 'Input Maglia per Pareti' del menu Opzioni.

Sia nel caso di maglia per allineamenti, sia di maglia per pareti, i simboli separatori fra gli allineamenti o le pareti consecutive possono essere indifferentemente lo spazio bianco o la virgola: , (PC.M automaticamente convertirà il separatore 'virgola' in spazio bianco). E' quindi valida, per la maglia dell'esempio, anche la seguente stringa alfanumerica:

1X, 1Y, 2X, 2Y

Nel caso di input da file DXF della maglia di solaio, l'elenco degli allineamenti che la determinano viene generato automaticamente (operazione comunque successiva alla generazione automatica degli allineamenti).

**Angolo ordit.** = Angolo in gradi secondo cui è ordito il solaio. Nel caso di solai a lastra o volte a padiglione, l'angolo di orditura è superfluo poiché il carico viene ripartito su tutto il contorno della maglia di solaio. L'angolo di orditura è positivo se antiorario a partire da +X.

**Pend.** = Pendenza (in %) dell'area di solaio. Questo valore è diverso da zero nel caso di solai di copertura su falde inclinate. Nel calcolo, il carico verticale viene incrementato per tenere conto della reale superficie, di dimensioni maggiori della proiezione in pianta. I carichi di superficie (Peso proprio, Perm. G, Acc. Q) sono sempre da considerarsi come componente verticale.

**Schema statico** = Codice di definizione dello schema statico, che può assumere i seguenti valori:

**M = solaio Monodirezionale:**

questo solaio si appoggia sulle pareti, tra quelle che lo delimitano, che sono ortogonali alla direzione dell'orditura.

Il carico verrà determinato in base alle aree di influenza, secondo la procedura normalmente utilizzata per la ripartizione dei carichi di solaio.

**D = solaio biDirezionale:**

questo solaio ha le stesse caratteristiche del solaio Monodirezionale, ma una quota parte del suo carico viene applicata in direzione ortogonale all'orditura, ossia sulle pareti parallele all'orditura stessa. In questo modo è possibile attribuire anche una limitata parte di carico a pareti che non risulterebbero caricate secondo lo schema Monodirezionale, senza per questo avere necessità di adottare la schematizzazione a lastra.

La quota parte di carico attribuita alle pareti parallele all'orditura è definibile indipendentemente per ciascuna maglia di solaio dal parametro 'Percentuale per Schema D'.

**L = solaio a Lastra:**

il carico viene ripartito su tutti i lati del perimetro della maglia di solaio, in base ovviamente all'incidenza delle aree di sezione delle pareti resistenti.

L'angolo di orditura è influente in quanto non determina la ripartizione del carico, che avviene su tutte pareti che delimitano la maglia del solaio.

**B = volta a Botte:**

dal punto di vista del carico verticale, è equivalente al solaio monodirezionale. La volta, in quanto tale, genera spinte orizzontali sugli stessi due lati su cui si imposta.

**P = volta a Padiglione:**

dal punto di vista del carico verticale equivale al solaio a lastra. La volta genera spinte orizzontali su tutte le pareti del perimetro della maglia di solaio.

**E = pErimetro di piano** (maglia fittizia atta a definire il perimetro di piano, e convenzionalmente inserita fra i dati delle maglie di solaio).

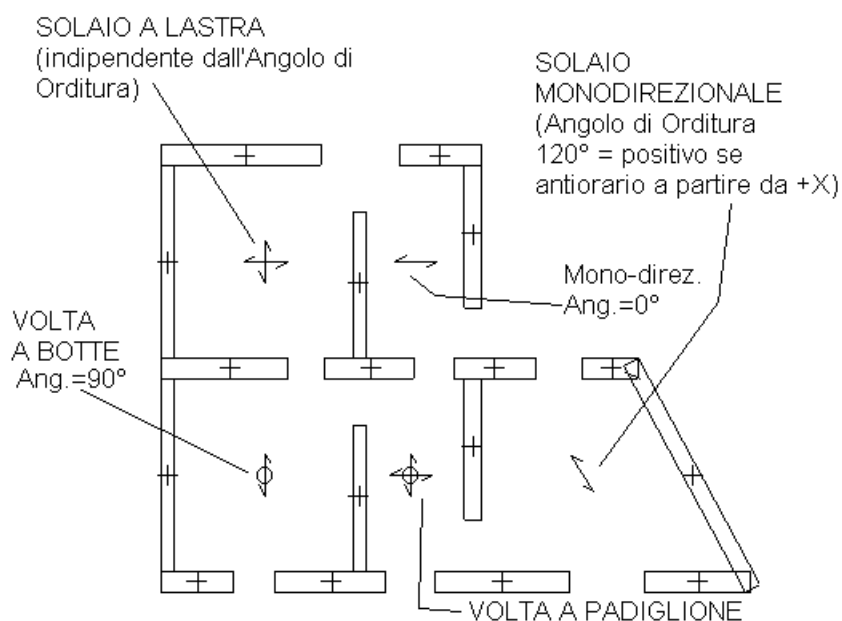
**Percentuale per Schema D** = Rappresenta la quota parte del carico di un solaio a schema D (biDirezionale) che viene ripartita sulle pareti orientate parallelamente alla direzione di orditura del solaio (pareti scariche nei classici solai monodirezionali). Il dato è influente per gli altri schemi statici.

**Spinta elimin.** = Se attivata (casella verde spuntata), permette di non considerare nei calcoli la spinta da solai a volta. Questo dato è influente per solai piani non a volta (schemi M, D, L).

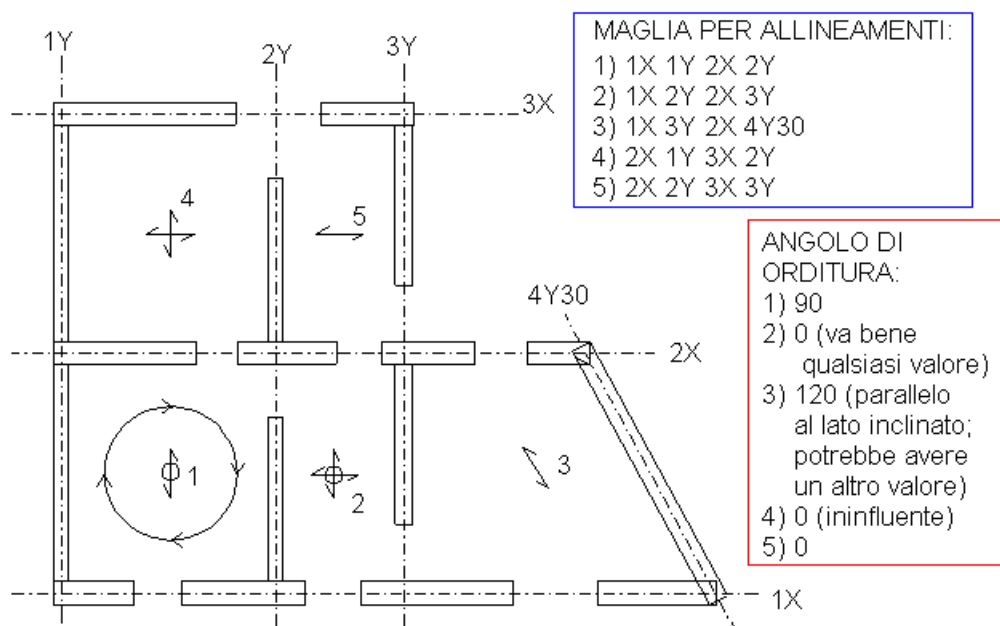
**H imposta** = Altezza di imposta della volta, data dalla distanza fra l'estradosso piano di calpestio realizzato sulla volta, e l'imposta della volta stessa. Permette il calcolo della spinta della volta. Questo dato è ininfluente per solai piani non a volta (schemi M, D, L).

### B.7.2. SCHEMATIZZAZIONE DEI SOLAI

In PC.M, le maglie di solaio sono schematizzate attraverso gli allineamenti a cui appartengono le pareti che le delimitano. Infatti gli allineamenti si intersecano fra loro e generano i riferimenti alle varie aree di impalcato sottoposte a carico (solai). PC.M rileva e scarta, in fase di analisi dei carichi, eventuali maglie non correttamente definite (ad esempio, non chiuse).



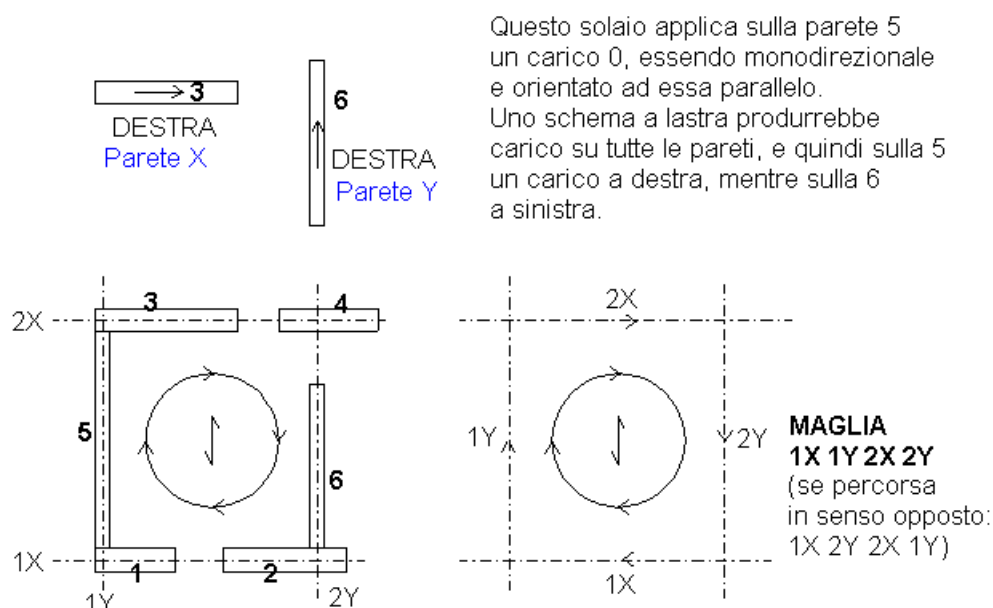
**Fig. 62.** Maglie di solaio.



**Fig. 63.** Definizione delle maglie di solaio attraverso gli allineamenti.

La maglia può essere percorsa indifferentemente in senso orario o antiorario; per fissare le idee, faremo riferimento al senso orario.



Le maglie di solaio generano, sulle pareti che le delimitano, carichi a destra e a sinistra a seconda dell'orientamento reciproco (fig. 64); la distinzione fra destra e sinistra è particolarmente importante ai fini della determinazione dell'eccentricità strutturale. PC.M garantisce la corretta attribuzione del carico a destra o a sinistra purché la forma della maglia sia convessa (forme complesse possono comunque essere suddivise in maglie più semplici).

**Fig. 64.** Carichi a destra e a sinistra delle pareti prodotti dalla maglia di solaio.


Frequentemente alcune pareti fra quelle che descrivono una maglia di solaio si presentano parzialmente interessate dalla maglia stessa: PC.M gestisce automaticamente, con l'analisi dei carichi, le porzioni di parete effettivamente interessate dal carico prodotto dalle maglie di solaio.


Si consulti anche il paragrafo B.9.1.2. riguardante l'analisi dei carichi dei solai.

### B.7.3. Menu ESEGUI


**Analisi Statica** ( **F7** ) [ Barra degli Strumenti:  ], **Analisi Sismica** ( **F8** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Eseguono l'Analisi Statica o Sismica dell'edificio. Questi comandi, presenti già nella finestra principale di PC.M, sono disponibili anche nelle altre finestre di input dati (Piani, Pareti, Fondazioni, Solai) in modo da consentire l'esecuzione (o ri-esecuzione) dei calcoli direttamente dalla finestra attiva, senza l'obbligo di attivare la finestra Edificio. L'uso dei pulsanti grafici della barra degli Strumenti è comunque la via più rapida per l'esecuzione del comando.


### B.7.4. Menu MODIFICA

**Annulla** ( **CTRL + Z** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Torna, se disponibile, alla configurazione precedente, annullando l'ultima modifica effettuata.

**Ripristina** [ Barra degli Strumenti:  ] = Ripristina, se disponibile, la configurazione successiva a quella correntemente visualizzata.

**Attiva Annulla / Ripristina** = Se attivato, consente l'uso dei comandi Annulla e Ripristina. Poiché tali comandi possono produrre un seppur lieve rallentamento nell'esecuzione del programma, dal momento che si devono memorizzare le configurazioni dell'edificio corrispondenti alle modifiche effettuate in successione, la disattivazione consente la velocizzazione delle modifiche.


**Aggiungi ( CTRL + A )** [ Barra degli Strumenti:  ] = Aggiunge un solaio al termine della tabella, posizionandovi la cella corrente in corrispondenza della colonna corrente.

**Inserisci ( CTRL + I )** [ Barra degli Strumenti:  ] = Inserisce un solaio nella posizione corrente della cella, scalando quindi di uno verso il basso la numerazione di tutte le fondazioni ad essa successive. La cella corrente resta nella posizione attuale.

**Taglia ( CTRL + X )** = Elimina il solaio corrente, ponendolo in memoria.

**Copia ( CTRL + C )** = Pone in memoria il solaio corrente.

**Incolla ( CTRL + V )** = Incolla il solaio presente in memoria. Utilizzando Copia e Incolla, associati a Inserisci o Aggiungi, è possibile spostare dati di solai.

**Elimina ( CTRL + Y )** [ Barra degli Strumenti:  ] = Elimina il solaio corrente, senza porlo in memoria.

**Elimina tutto** = Elimina tutti i solai, riducendone ad 1 il numero totale.

**Deseleziona** = Deseleziona immediatamente tutti i solai o le colonne eventualmente selezionate. Per selezionare singolarmente i solai nella tabella dei Dati Solai, è sufficiente spostare la cella di editazione sulla riga corrispondente, e fare clic col mouse sulla freccia indicatrice:



posta tra la colonna 'N°' (numero del solaio) e la colonna 'Tipo solaio'.

La selezione dei solai è particolarmente utile per la visualizzazione dei retini solo per alcune aree di solaio. Questa opzione è resa possibile dal comando 'Aree: Solo Selezione' del menu Disegna.

### B.7.5. Menu SPOSTA

Durante l'introduzione dei solai, il menu Sposta consente lo **spostamento della tabella da un piano all'altro**. Inizialmente, infatti, caricando la tabella Dati Solai vengono proposti i dati del piano 1; successivamente è possibile scorrere i diversi piani utilizzando i tasti di scelta rapida F4, F5, F6 (anche in combinazione con MAIUSC).

Lo spostamento tra piani avviene molto agevolmente utilizzando i pulsanti grafici della barra degli Strumenti:

▲ Piano Superiore ( **F6** )

▼ Piano Inferiore ( **F5** )

▬ Ultimo Piano ( **MAIUSC + F6** )

▬ Piano 1 ( **MAIUSC + F5** )

▬ Fondazioni ( **F4** )

### B.7.6. Menu COPIA

Il menu Copia consente di copiare la tabella dati del piano corrente dalla tabella dati del piano superiore o inferiore. Grazie a questi comandi, l'inserimento dei dati per edifici aventi strutture ripetitive ai diversi piani viene effettuato rapidamente e senza errori.

### B.7.7. Menu UNIFICA

Il menu Unifica consente l'inizializzazione rapida di quei dati che sono uguali per diversi solai.

I comandi di questo menu agiscono per colonna (quindi per il particolare parametro dove si trova la cella) ed hanno effetto *su tutti i solai successivi* a quello corrispondente alla cella: attenzione quindi a *porsi sul primo solaio (riga n.1) per ottenere gli effetti desiderati su tutti i solai*.

Ad esempio, se il campo di editazione si trova alla posizione individuata dal solaio n.5, nel dato Perm.G, il comando Unifica Colonna unificerà il valore Perm.G di tutti i solai dopo il n.5 al valore di Perm.G del solaio n.5.

**Colonna ( CTRL + U )** = Unifica il particolare dato dei solai seguenti a quello del solaio corrente. Questo comando può quindi interessare una qualsiasi colonna di dati.

**Carichi: tutti i seguenti** = Unifica tutte le colonne dei carichi dei solai seguenti al solaio corrente. Se è attivo 'per tipo solai', unifica solo i solai appartenenti allo stesso tipo.

### B.7.8. Menu OPZIONI

**Input Maglie per Pareti** = Se attivato, consente l'inserimento delle maglie di solaio specificando in sequenza, anziché gli allineamenti, un gruppo di pareti sufficienti ad individuarli. PC.M automaticamente risale dalle pareti agli allineamenti corrispondenti per definire correttamente la maglia.

Selezionato questo comando (un segno di spunta appare alla sua sinistra), l'input procederà normalmente, richiedendo - nel campo 'Solai per Allineamenti (Maglia)' la sequenza di pareti anziché di allineamenti. Le pareti devono essere inserite in sequenza (oraria o antioraria), specificandone una per ogni allineamento che costituisce la maglia (eventuali ripetizioni lungo un allineamento - ossia più pareti specificate su uno stesso allineamento - non comportano comunque errori).

Ad esempio, la maglia di solaio della figura 64 può essere così descritta: 1 5 3 6

e la conferma della digitazione equivale a: 1X 1Y 2X 2Y.

(la sequenza: 1 5 3 4 6 2 produce lo stesso risultato).

Sia nel caso di maglia per allineamenti, sia di maglia per pareti, i simboli separatori fra gli allineamenti o le pareti consecutive possono essere indifferentemente lo spazio bianco o la virgola: , (PC.M automaticamente convertirà il separatore 'virgola' in spazio bianco). Sono quindi valide, per la maglia dell'esempio, anche le seguenti stringhe alfanumeriche:

1,5,3,6

1,5,3,4,6,2

**Spinta da solaio inclinato...** = Attiva un'utilità per il calcolo della spinta da un solaio inclinato (ossia con pendenza diversa da zero). Va utilizzato mentre la cella si trova sul solaio di cui si vuole calcolare la spinta. Il comando è accompagnato dalla descrizione dei dati richiesti, all'interno della barra dei Messaggi di Stato. Tali dati richiesti devono essere inseriti in una casella di testo attivata allo scopo in corrispondenza della parete corrente.

Inseriti i dati, confermare con il tasto INVIO: il risultato viene presentato all'interno di una apposita finestra di testo:

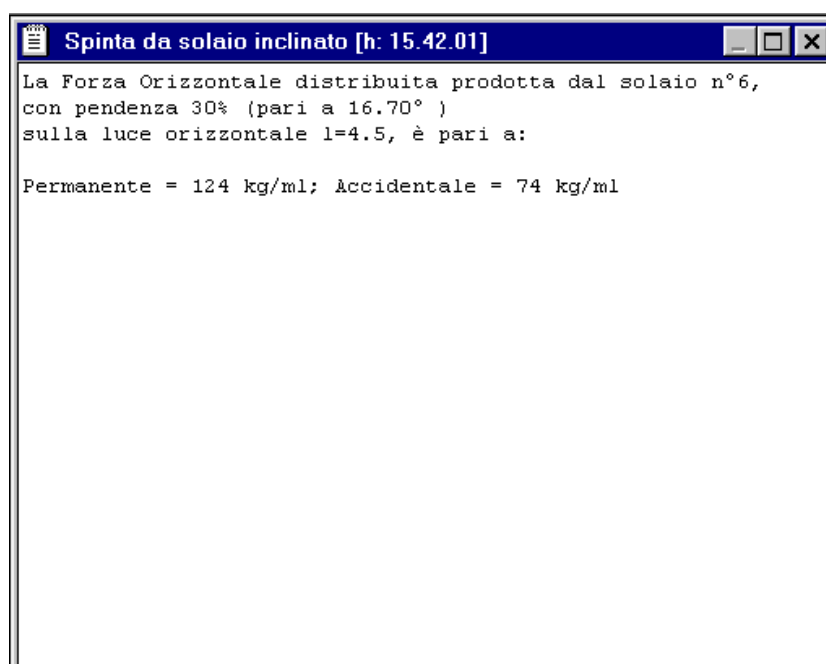


Fig. 65. Spinta da solaio inclinato.

Questi valori possono essere utilizzati nei Dati Pareti per attribuire ad una parete, sede di definizione di setto, la spinta proveniente dalla copertura. Non vengono quindi inseriti automaticamente in nessun campo di input, ma devono essere manualmente digitati in corrispondenza della parete interessata.

Il calcolo viene eseguito con riferimento ad uno schema semplificato ma efficace, proposto in [12]: la spinta è pari a:  $H = pl^2/2 * \tan \alpha / (\tan \alpha * h + l)$

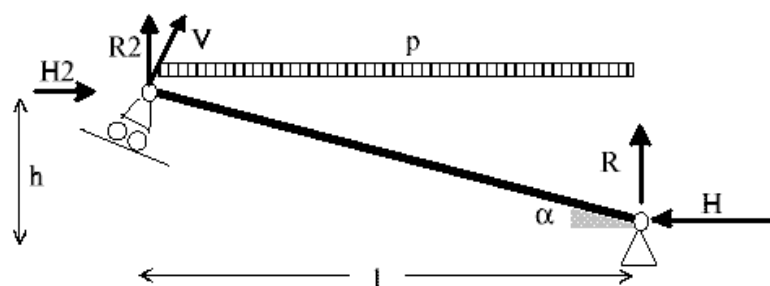


Fig. 66. Schema di calcolo delle reazioni della copertura (da [12]).

**Tabella completa** = Visualizza la tabella dei Dati Solai in forma completa.

**Nascondi colonne** = Nasconde le colonne selezionate nella tabella Dati Solai. Per selezionare una colonna, fare clic sulla sua intestazione.

Per selezionare più colonne contemporaneamente, tenere premuto il tasto MAIUSC mentre si fa clic o si trascina il mouse sulle intestazioni delle colonne interessate.

Per deselegionare le colonne, usare il comando Deseleziona del menu Modifica.

### B.7.9. Menu DISEGNA

**Aggiorna 2D** = Attiva / disattiva l'aggiornamento interattivo del disegno mostrato nella finestra grafica 2D durante la fase di inserimento / modifica dati. Poiché l'aggiornamento del disegno ne richiede sempre la rigenerazione, può essere utile, soprattutto per strutture complesse, velocizzare la gestione tabellare dei dati disattivando temporaneamente l'aggiornamento interattivo del disegno.  
I solai non sono rappresentati nella finestra grafica 3D.

**Aree: Solo Selezione** = Attiva / disattiva la rappresentazione grafica dei retini delle aree solo per i solai selezionati. L'attivazione di questo comando permette una visualizzazione più efficace delle singole aree. Perché l'attivazione abbia effetto, occorre anche che nei 'Parametri di Disegno' sia stata selezionata l'opzione 'Aree' del gruppo 'Solai 2D' della Scheda Dati, e che vi siano correntemente alcuni solai selezionati nella finestra Dati Solai (per selezionare i solai fare clic sulla freccia indicatrice delle righe corrispondenti).  
Quando questo comando di menu è disattivato, vengono disegnati i retini di tutte le aree correttamente definite.

## B.8. ALTRE FINESTRE

### B.8.1. TABELLE DI RIFERIMENTO

PC.M consente l'inserimento di una libreria di materiali (Tabella Materiali) e di tipi di solai (Tabella Solai) a cui fare riferimento durante l'inserimento dei Dati Pareti e dei Dati Solai. Nella dotazione di PC.M, queste tabelle vengono fornite già contenenti alcuni dati di riferimento, e corrispondono ai files:

MAT-NEW.TAB, MAT-OLD.TAB, SOL.TAB

(rispettivamente per materiali di edifici nuovi, per materiali di edifici esistenti, per tipi di solai) installate nella directory C:\PCM2000\FILES.

Vengono inoltre fornite le tabelle standard di riferimento, con estensione STD, che successivamente potranno essere usate per recuperare i dati originari dopo modifiche che non interessano più.

L'utente può comunque introdurre dati aggiuntivi o modificare quelli esistenti a suo piacere, in modo da creare, in ognuno dei due casi, una tabella di riferimento permanente contenente i tipi in uso di materiali e di solai. Nell'ambito dei dati pareti e solai avviene poi l'aggancio a questi tipi, in modo da rendere più semplice e immediato l'inserimento dati.

In linea di principio, comunque, queste due Tabelle non sono strettamente indispensabili in quanto i dati sui materiali e sui solai potranno essere anche introdotti, in una fase successiva, per ogni elemento strutturale, in modo esteso e non solo per riferimento a tipi predefiniti; lo scopo delle Tabelle è ovviamente quello di agevolare l'introduzione dati.

Le Tabelle Materiali e Solai sono specifiche di ogni edificio, cioè fanno parte dell'archivio dei dati dell'edificio.

#### B.8.1.1. FINESTRA TABELLA MATERIALI

##### B.8.1.1.1. Dati TABELLA MATERIALI

**Per tutti gli edifici:**

**N°** = Numero progressivo del tipo di materiale.

**Col.** = Colore rappresentativo del materiale. Facendo doppio clic sulla casella colorata, si apre la finestra di dialogo 'Colori' che permette la scelta di un diverso colore per il materiale corrente; la scelta di un nuovo colore produrrà la rigenerazione automatica dei disegni visualizzati contenenti i colori dei materiali. Il doppio clic sul campo 'Col.' equivale al comando 'Colore' del menu Modifica.

**Descrizione** = Codice alfanumerico di descrizione del materiale.

**Per predefinizione**, si ha: **1. Cemento Armato; 2. Acciaio.**

Tutti i materiali successivi si riferiscono invece a murature.

*I tipi 1 e 2 non devono essere cambiati*, altrimenti PC.M non può associare agli eventuali elementi in c.a. e/o acciaio, inseriti nell'insieme resistente dell'organismo strutturale, il relativo materiale.

**G** = modulo di elasticità tangenziale.

**E** = modulo di Young.

**Dutt.** = duttilità.

**P.spec.** = peso specifico.

**Per edifici nuovi:**

**f<sub>bk</sub>** = resistenza a compressione dell'elemento nella direzione dei carichi verticali.

**f'<sub>bk</sub>** = resistenza a compressione dell'elemento nella direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della



muratura.

**Malta** = tipo di malta.

**f,k** = resistenza caratteristica a compressione della muratura.

**f,vko** = resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali.

#### Per edifici esistenti:

I valori delle caratteristiche di resistenza delle murature predefiniti da PC.M sono tratti dalla Normativa vigente (Circ.Min.LL.PP. n.21745 del 30.7.1981). Tali valori sono da considerarsi “consigliati” in assenza di dati sperimentali; naturalmente essi sono indicativi: il progettista può apportare le modifiche che ritiene opportune a seconda dei casi esaminati, anche al fine di considerare casi non contemplati dalla Normativa. In ogni caso, all'interno della Tabella Materiali, l'utente può definire tutti i tipi di muratura che ritiene necessari.

**Tau,k** = tensione tangenziale caratteristica.

**S,k** = tensione caratteristica a compressione.

**S,tr** = tensione caratteristica a trazione.

### B.8.1.1.2. MURATURE PARTICOLARI PER IL CALCOLO DELLA VULNERABILITA'

Nella Tabella Materiali di default per edifici esistenti, sono presenti anche tutte le tipologie murarie previste nell'Allegato A alla Legge 61/98, ivi espressamente indicate ai fini del calcolo della vulnerabilità (valutazione del coefficiente C convenzionale).

Tali tipologie di materiali sono identificabili dalla descrizione che inizia con “**Vuln.-....**”.

Queste tipologie aggiuntive vengono **automaticamente importate** in edifici schematizzati con versioni precedenti di PC.M.

Utilizzando queste tipologie, i valori di C,conv possono quindi essere completamente coerenti con le indicazioni dell'Allegato A alla Legge 61/98.

Se i valori utilizzati per il calcolo di C,conv non coincidono con quelli che schematizzano l'edificio per il calcolo globale, è consigliabile utilizzare due modelli distinti, archiviando l'edificio con nomi di file diversi.

Si osservi che per quanto riguarda i parametri fisici e meccanici, i materiali riportati nell'Allegato A alla Legge 61/98 sono identificati unicamente dalla resistenza tangenziale di riferimento (o tensione tangenziale caratteristica): per gli altri parametri si sono fatte le seguenti scelte:

- modulo di elasticità tangenziale:  $G = 1100 * \tau,k$ ;
  - modulo di elasticità longitudinale:  $E = 6G$ ;
  - resistenza caratteristica a compressione: impostata con analogia a quanto riportato nella Normativa nazionale (Circ. 21745 del 30.7.1981);
  - resistenza caratteristica a trazione: uguale a  $\tau,k$ ;
  - duttilità: 1.5 per murature esistenti e 2.0 per murature ‘nuove’ (aventi caratteristiche simili appunto alle nuove murature);
  - peso specifico: valori plausibili conformemente alle usuali scelte e ad indicazioni normative vigenti.
- Per tutti questi parametri non direttamente specificati nell'“Allegato”, sarà cura dell'Utente verificarne l'adeguatezza dei valori adottati.

### B.8.1.1.3. Menu MODIFICA

**Aggiungi** ( **CTRL + A** ) = Aggiunge un tipo di materiale al termine della tabella, posizionandovi la cella corrente in corrispondenza della colonna corrente.

**Inserisci** ( **CTRL + I** ) = Inserisce un tipo di materiale nella posizione corrente della cella, scalando quindi di uno verso il basso la numerazione di tutti i tipi ad esso successivi. La cella corrente resta nella posizione attuale.

**Elimina** ( **CTRL + Y** ) = Elimina il tipo di materiale corrente.

**Colore...** = Apre la finestra di dialogo 'Colori' che permette la scelta di un diverso colore per il materiale corrente; la scelta di un nuovo colore produrrà la rigenerazione automatica dei disegni visualizzati contenenti i colori dei materiali. Questo comando equivale al doppio clic sul campo 'Col.'.

#### **B.8.1.1.4. Menu OPZIONI**

**Salva come Tabella Utente** = Archivia la corrente Tabella Materiali come tabella utente MAT\*.TAB contenuta in C:\PCM2000\FILES.

**Carica Tabella Utente** = Recupera la Tabella Materiali Utente (MAT\*.TAB, in C:\PCM2000\FILES) e la utilizzare per reimpostare la tabella materiali dell'edificio corrente.

**Carica Tabella Standard** = Recupera i valori standard predisposti da PC.M per la Tabella Materiali, utilizzandoli per reimpostare la tabella materiali dell'edificio corrente.

**Relazioni su G, E e tensioni di progetto** = Calcola le caratteristiche meccaniche e le tensioni di progetto direttamente in base alle relazioni riportate nel comando di menu. Le relazioni a cui viene fatto riferimento sono coerenti con le indicazioni di Normativa relativamente ai casi distinti di edificio nuovo od esistente.

#### **B.8.1.2. FINESTRA TABELLA SOLAI**

##### **B.8.1.2.1. Dati TABELLA SOLAI**

**N°** = Numero progressivo del tipo di solaio.

**Descrizione** = Codice alfanumerico di descrizione del tipo di solaio.

**Spess.** = Spessore del tipo di solaio. Essendone previsto l'uso a soli fini grafici, non influenza il calcolo, e quindi può anche essere posto uguale a zero.

**P. pr.** = Peso proprio del tipo di solaio, come carico di superficie.

**Perm. G** = Carico permanente di superficie. Normalmente, coincide con il sovraccarico permanente (cioè, il carico permanente oltre il peso proprio). Se il peso proprio è posto uguale a zero, il totale del carico permanente può comunque essere incluso in questo dato: infatti, il software assumerà nel calcolo come carico permanente complessivo la somma di 'Peso pr.' e di 'Perm. G'.

**Acc. Q** = Carico accidentale di superficie.

**Riduz. "s"** = Coefficiente di riduzione del carico accidentale per il calcolo del peso sismico W.  
Si ricorda che:  $W = G + sQ$ .

**Comb. S.L.** = Coefficiente  $\psi$  di combinazione di carico accidentale per le verifiche agli Stati Limite (punto B.8.2. D.M. 16.1.1996).

**H imposta** = Altezza di imposta per tipo di solaio a volta, data dalla distanza fra l'estradosso piano di calpestio realizzato sulla volta, e l'imposta della volta stessa. Permette il calcolo della spinta della volta. Questo dato è influente per tipi di solai piani non a volta.

### B.8.1.2.2. Menu MODIFICA

**Aggiungi ( CTRL + A )** = Aggiunge un tipo di solaio al termine della tabella, posizionandovi la cella corrente in corrispondenza della colonna corrente.

**Inserisci ( CTRL + I )** = Inserisce un tipo di solaio nella posizione corrente della cella, scalando quindi di uno verso il basso la numerazione di tutti i tipi ad esso successivi. La cella corrente resta nella posizione attuale.

**Elimina ( CTRL + Y )** = Elimina il tipo di solaio corrente.

### B.8.1.2.3. Menu OPZIONI

**Salva come Tabella Utente** = Archivia la corrente Tabella Solai come tabella utente SOL.TAB contenuta in C:\PCM2000\FILES.

**Carica Tabella Utente** = Recupera la Tabella Solai Utente (SOL.TAB, in C:\PCM2000\FILES) e la utilizzare per reimpostare la tabella materiali dell'edificio corrente.

**Carica Tabella Standard** = Recupera i valori standard predisposti da PC.M per la Tabella Materiali, utilizzandoli per reimpostare la tabella materiali dell'edificio corrente.

## B.8.2. FINESTRA RELAZIONE

La finestra Relazione consente anzitutto la **visualizzazione della Relazione di calcolo** precedentemente elaborata, in modo da gestirla come finestra interna di PC.M senza necessità di lanciare un software esterno, tipo Word. Resta fermo che, per stamparne il contenuto o arricchirne il testo ad esempio inserendo figure, occorre utilizzare un word-processor, ad esempio Word.

L'uso di questa finestra permette ad esempio di tenere in linea i risultati sotto forma di testo, mentre si consultano anche per via grafica nelle finestre 2D e 3D. E' inoltre utile per consultare risultati di schematizzazioni intermedie dell'edificio, rimandando magari l'elaborazione della relazione su Word alla stesura definitiva del modello strutturale.



La relazione di calcolo visualizzabile deve essere un file RTF posto nella sottodirectory:

C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio

dove vengono collocati tutti i files grafici (BMP, DXF) e di testo (TXT, RTF) prodotti da PC.M per l'edificio corrente.

La finestra Relazione può essere inoltre utilizzata per la **visualizzazione di informazioni dettagliate riguardanti dati e risultati**, operazione estremamente utile nel corso della sessione di lavoro con PC.M.

Anziché produrre la relazione di calcolo estesa (per la quale è necessario creare, come già detto, il file RTF), è possibile sfruttare la presenza di relazioni predefinite, generate da PC.M in corso di elaborazione al termine della fase di calcolo ('Scrittura dati e risultati'), e corrispondenti a tutti i tipi di verifiche eseguiti.

Per usufruire di questa opportunità, è sufficiente eseguire il disegno della verifica desiderata nella finestra Grafica 2D e quindi fare clic sul pulsante grafico  (Richiesta Informazioni): la finestra Relazione viene automaticamente aperta ed al suo interno è riportata in dettaglio numerico la verifica in corso di consultazione. Cambiando 'tipo di disegno' (ad esempio attraverso il comando grafico della barra degli strumenti: ) la finestra Relazione viene immediatamente aggiornata facendoci sopra un clic (non è necessario, cioè, eseguire nuovamente il comando di 'Richiesta Informazioni').

#### B.8.2.1. Menu FILE

**Apri relazione...** = Apre una finestra di dialogo dove è possibile specificare quale relazione visualizzare nella finestra Relazione. Le relazioni devono essere files RTF posti in C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio. Poiché quindi la relazione è selezionabile, possono essere state elaborate - per l'edificio corrente - più relazioni, in modo da confrontarne il contenuto attraverso la loro visualizzazione.

**Salva relazione** = Salva la relazione corrente. Questo comando può essere eseguito dopo aver modificato il testo della Relazione visualizzata nella finestra.

**Salva relazione con nome...** = Apre una finestra di dialogo, dove, dopo modifiche del testo, la relazione correntemente visualizzata può essere salvata con altro nome, in modo da conservare il testo precedente.

#### B.8.2.2. Menu OPZIONI: LEGENDA RELAZIONE

**Legenda Risultati ( CTRL + L )** = Apre una finestra di testo dove viene riportata la Legenda dei Risultati visualizzati nella finestra di Relazione, qualora questa sia utilizzata ad uso interno in seguito al comando di 'Richiesta Informazioni'. In pratica, questo comando permette la consultazione del significato della simbologia utilizzata durante la visualizzazione di dati e risultati nella finestra Relazione.

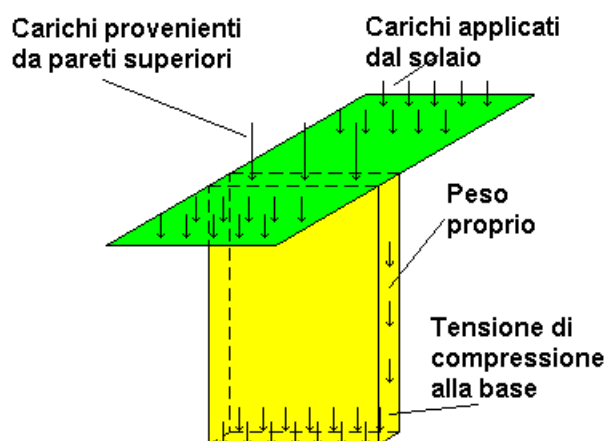
## B.9. ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi, eseguita nel corso dell'esecuzione dell'Analisi Statica e dell'Analisi Sismica, consiste nell'elaborazione dei dati inseriti, al fine di determinare:

- il carico verticale complessivamente agente su ogni parete, tenendo conto dei contributi che derivano dal calcolo automatico e degli eventuali carichi direttamente inseriti nella tabella dei Dati Pareti;
- lo stato tensionale nelle pareti (tensioni medie di compressione) e nelle fondazioni per effetto dei carichi verticali;
- il carico dovuto al vento, agente sia in direzione normale (sulle pareti perimetrali), sia in direzione parallela (su tutte le pareti, ripartendo la risultante in base alle rigidezze);
- i pesi sismici di piano e le forze sismiche di progetto.

Considerando una parete posta ad un certo piano, il carico complessivamente agente su di essa può comporsi di tre contributi:

- a) carichi applicati dalle pareti del piano sovrastante (vd. paragrafo B.9.1.1.);
- b) carichi provenienti dai solai impostati sulla sommità della parete (vd. paragrafo B.9.1.2.);
- c) peso proprio della parete.



**Fig. 67.** Contributi al carico applicato su una parete.

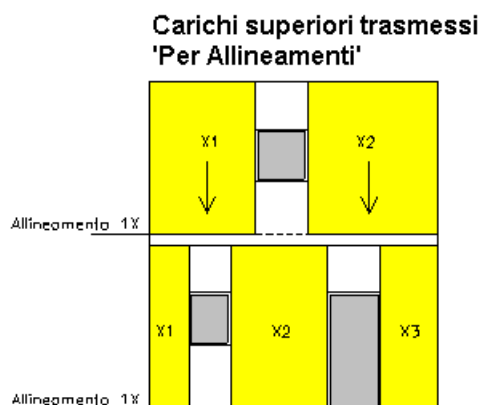
### B.9.1. CARICHI STATICI

#### B.9.1.1. CARICHI DAI PIANI SUPERIORI

In un edificio di 'n' piani, il piano intermedio 'i' assume carico dal piano sovrastante 'i+1'; questo carico contiene in sé tutti i permanenti (pesi propri inclusi) e gli accidentali relativi ai piani da 'i+1' ad 'n'.

La trasmissione dei carichi dai piani superiori avviene attraverso gli allineamenti.

Considerato un paramento murario verticale (allineamento), i carichi vengono gestiti in modo tale che le pareti che appartengono all'allineamento al piano superiore scaricano sulle pareti appartenenti al medesimo allineamento al piano inferiore. Questa tecnica può essere applicata a qualunque configurazione, anche irregolare; il caso di regolarità (aperture allineate, maschi corrispondenti fra piani diversi) è un sottocaso ovviamente compreso.



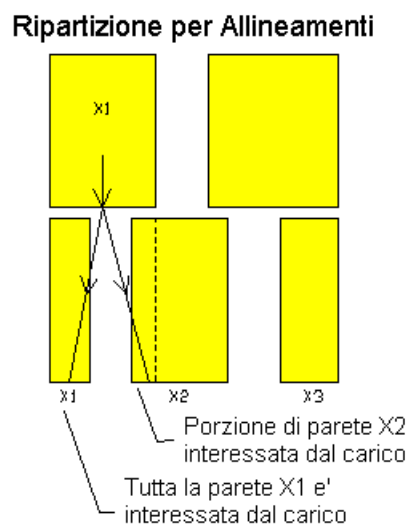
**Fig. 68.** *Trasmissione dei carichi da pareti superiori.*

Il carico di una parete superiore verrà ripartito sul piano sottostante sulle pareti (o porzioni di pareti) sottostanti interessate dalla “proiezione” della parete superiore. I coefficienti di ripartizione attribuiscono più carico alle pareti (o porzioni di pareti) più centrate rispetto all’asse della parete superiore che sta trasmettendo il carico (cioè rispetto all’asse del carico).

PC.M, nel caso di parete che riceve carico superiore da più pareti sovrastanti, calcola correttamente l’eccentricità del carico sovrastante come eccentricità della risultante dei vari contributi.

L’eccentricità del carico superiore è definita come distanza fra il punto di applicazione del carico (risultante) superiore e il baricentro della parete inferiore, misurata ortogonalmente all’asse della parete: l’eccentricità è positiva se il carico superiore è a destra dell’asse della parete, e quindi è concorde con le convenzioni adottate per i carichi di solaio.

Se un allineamento è stato definito per pareti non perfettamente in linea tra di loro, il calcolo automatico dell’eccentricità del carico superiore potrebbe essere non correttamente valutato.



**Fig. 69.** *Ripartizione nella trasmissione dei carichi per allineamenti: il carico della parete sovrastante X1 viene applicato sulle pareti X1 e X2 sottostanti, ripartendolo in base alle pareti o porzioni di pareti intercettate in proiezione. Pareti (o porzioni di pareti) più centrate rispetto all’asse del carico sovrastante assumono più carico.*

Talvolta, l'irregolarità degli edifici esistenti in muratura richiede idonee procedure per la trasmissione del carico dal piano sovrastante. Qualora infatti un allineamento sia presente al piano sovrastante ma non a quello che riceve il carico (si pensi ad esempio al caso di muri in falso, che si impostano su solai), PC.M effettua una ripartizione del carico per 'distanza'. In tal caso, il calcolo del coefficiente di ripartizione per le pareti sottostanti viene eseguito considerando, per ogni parete sottostante, il prodotto dell'area della parete per la sua distanza dalla sovrastante: aree più grandi e più vicine alla parete superiore che sta trasmettendo carico assorbono dunque una quota parte maggiore di carico. In caso di trasmissione di carico 'per distanza', non è possibile avere informazioni sull'eccentricità strutturale, assunta in pari a 0.

PC.M esegue inoltre il controllo se la parete sovrastante si fonda al proprio livello: in tale circostanza, ovviamente, il suo carico non viene trasmesso alle pareti sottostanti, ma agirà direttamente sulla fondazione della parete stessa.

### B.9.1.2. CARICHI DEI SOLAI

Per ogni solaio definito nei dati, nota la maglia e le pareti interessate, il carico viene applicato sulle pareti stesse secondo la tipologia del solaio, come descritto ai paragrafi seguenti.

#### B.9.1.2.1. SOLAI A LASTRA

E' uno schema particolarmente indicato per le strutture in muratura, a comportamento generalmente scatolare. Questa schematizzazione è valida quando il solaio è ben collegato (con cordoli perimetrali) alle murature che lo delimitano. In circostanze di tutt'altro tipo, lo schema a lastra può essere utilizzato quando il solaio, pur deformabile, si imposta su travi (magari doppiamente ordinate) scaricando su tutte le pareti che lo delimitano (in alternativa, PC.M consente la definizione di opportuni elementi 'trave').

Facciamo anzitutto riferimento al caso di solai a lastra perfettamente rettangolari.

Ogni lato del solaio a lastra, incastrato sulla muratura sottostante, si considera o meno vincolato a seconda che vi siano o meno pareti sottostanti su cui il solaio stesso si imposta (il vincolo viene assicurato anche dalla presenza di una sola porzione di parete).

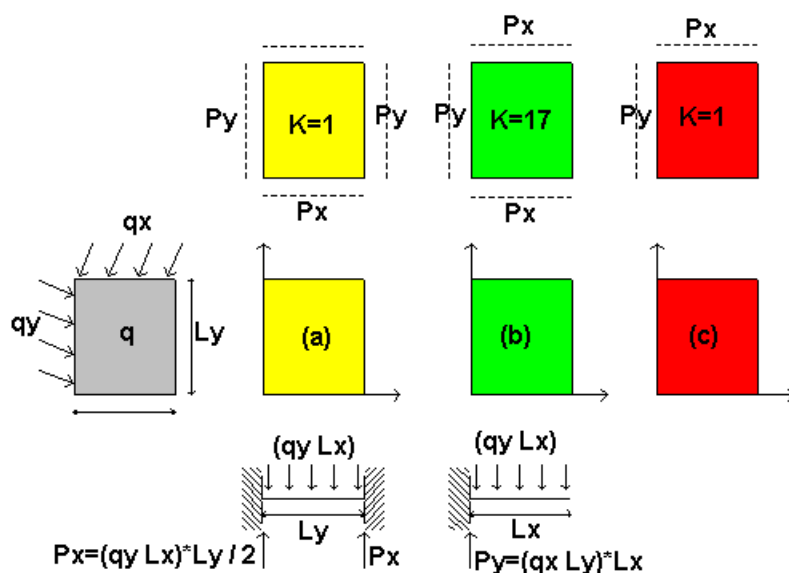


Fig. 70. Tipi di vincolamento per solai a lastra.

Con riferimento alla fig. 70, nel caso (a) i 4 lati poggiano tutti su pareti sottostanti; nel caso (b) soltanto tre lati

si impostano sulla muratura; nel caso ( c ), infine, soltanto due.

Per ognuno di questi tre casi, si determina il carico agente sulle murature sottostanti.

Il carico di superficie 'q' si ripartisce nelle due componenti  $q_x$  e  $q_y$  in base alla formula (secondo Grashov):

$$q_x = q * L_y^4 / ( K * L_x^4 + L_y^4 )$$

$$q_y = q - q_x$$

con  $q_x$  e  $q_y$  carichi di superficie. Il carico totale della maglia di solaio vale:

$$Q_{tot} = q * L_x * L_y$$

Il coefficiente K dipende dal vincolamento lungo i lati della maglia. Quindi, noto K si determinano  $q_x$  e  $q_y$  (il carico q e le dimensioni geometriche  $L_x$  e  $L_y$  della maglia di solaio sono noti).

( a ) Sui due lati X, con schema statico di trave doppiamente incastrata:

$$P_x = (q_y * L_x) * L_y / 2$$

e sui lati Y, analogamente:

$$P_y = (q_x * L_y) * L_x / 2$$

La somma dei carichi agenti sui lati perimetrali vincolati è pari al carico totale della maglia di solaio:

$$2 P_x + 2 P_y = (q_x + q_y) * L_x * L_y = q * L_x * L_y = Q_{tot}$$

( b ) Sui due lati vincolati (per esempio X), si ha, in direzione X:

$$P_x = (q_y * L_x) * L_y / 2$$

mentre in direzione Y la reazione al carico si manifesta tutta sul lato vincolato:

$$P_y = (q_x * L_y) * L_x$$

Anche in questo caso la somma delle reazioni è pari al carico totale:

$$2 P_x + P_y = Q_{tot}$$

( c ) Per la direzione Y si ha:

$$P_y = (q_x * L_y) * L_x$$

mentre per la X analogamente:

$$P_x = (q_y * L_x) * L_y$$

e la somma dei carichi perimetrali è:

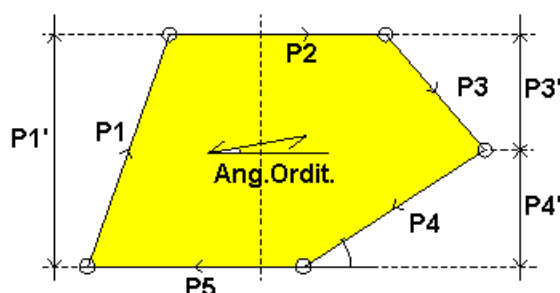
$$P_x + P_y = Q_{tot}$$

Questa formulazione può effettivamente essere applicata soltanto nel caso di maglie perfettamente rettangolari, con allineamenti ortogonali fra loro. PC.M, tuttavia, accetta solai a lastra per qualunque tipo di definizione della maglia. Nel caso che questa non sia perfettamente rettangolare, la ripartizione dei carichi avviene comunque su tutte le pareti perimetrali, determinando un coefficiente di ripartizione in base alla propria area d'influenza.

#### **B.9.1.2.2. SOLAI MONODIREZIONALI**

L'angolo di orditura può essere o meno parallelo a uno dei lati. Per la ripartizione del carico, si scartano anzitutto le pareti parallele alla direzione di orditura del solaio (P2, P5 nella figura 53).





**Fig. 71.** *Ripartizione del carico per Solai Monodirezionali.*

Per le altre pareti, nota la retta ortogonale alla direzione di orditura e passante per il baricentro della maglia, questa le divide in due gruppi; con riferimento alla figura 71, P1 si trova da una parte, P3 e P4 dall'altra. Secondo le aree di influenza, metà carico viene attribuito ad un gruppo, metà all'altro. In un gruppo, poi, la ripartizione del carico ad esso competente avviene considerando la proiezione di ogni parete in direzione ortogonale all'orditura, attraverso la definizione di coefficienti di ripartizione.

#### B.9.1.2.3. SOLAI BIDIREZIONALI

Questo solaio ha le stesse caratteristiche del solaio Monodirezionale, ma una quota parte del suo carico viene applicata in direzione ortogonale all'orditura, ossia sulle pareti parallele all'orditura stessa. In questo modo è possibile attribuire anche una limitata parte di carico a pareti che non risulterebbero caricate secondo lo schema Monodirezionale, senza per questo avere necessità di adottare la schematizzazione a lastra.

Per ogni solaio, la quota parte di carico attribuita alle pareti parallele all'orditura è specificata, come percentuale, dal corrispondente parametro presente nella finestra Dati Solai.

#### B.9.1.2.4. SOLAI A VOLTA

PC.M gestisce solai a volta, a botte o a padiglione. La distribuzione del carico verticale sulle pareti murarie sottostanti avviene: per volta a padiglione, come per un solaio a lastra; per volta a botte, come per un solaio monodirezionale. I due tipi di volta generano spinte diverse all'imposta.

La spinta della volta agisce staticamente, in direzione ortogonale alla parete su cui si imposta, e ad una quota definita dall'altezza di imposta.

Il suo effetto statico risulta nelle Verifiche a Ribaltamento (sia statiche, sia sismiche) e a PressoFlessione per Azioni Ortogonali, quando si esaminano i setti a tutt'altezza.

PC.M non considera i fenomeni di attrito fra le murature, in base ai quali frequentemente trova la sola giustificazione possibile l'equilibrio manifestato dall'edificio in muratura.

Le maglie dei solai a volta richiedono forma quadrilatera (non necessariamente rettangolare); la volta a botte richiede un'orditura parallela ad uno dei lati della maglia.

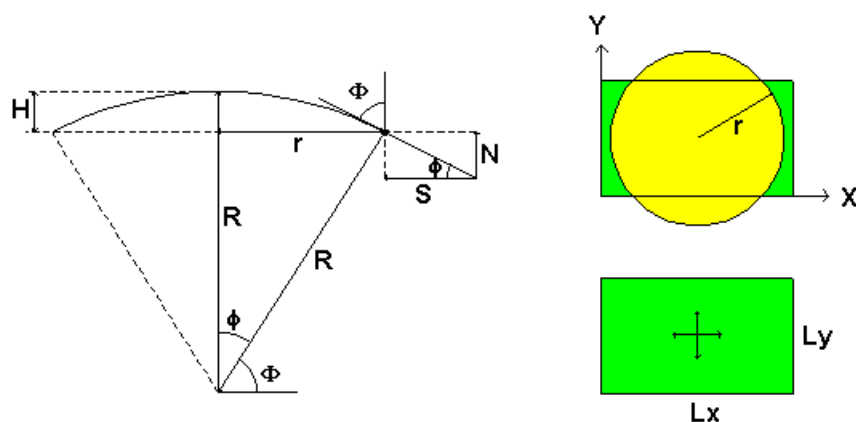


Fig. 72. Volta a padiglione.

La volta a padiglione (figura 72) è equiparata ad una cupola sferica che copre la stessa superficie.

Secondo la Teoria della Membrana, la reazione al bordo della volta ha direzione tangente alla superficie; la componente verticale equilibra i pesi, quella orizzontale fornisce la spinta.

Il raggio della proiezione sul piano di solaio della cupola sferica equivalente è:

$$\pi * r^2 = Lx * Ly, \text{ da cui: } r = (Lx * Ly / \pi)^{(1/2)}$$

Se H è l'altezza di imposta della volta (altezza della cupola sferica), il raggio della sfera è:

$$(R - H)^2 + r^2 = R^2, \text{ da cui: } R = (H^2 + r^2) / (2 H)$$

La tangente alla superficie della volta in corrispondenza dell'imposta è:

$$\operatorname{tg} \phi = (R - H) / r$$

La spinta orizzontale S è dunque data da:

$$S = N * \operatorname{tg} \phi$$

dove N è il carico verticale. Se q è il carico di superficie:  $N = q * Lx * Ly$ .

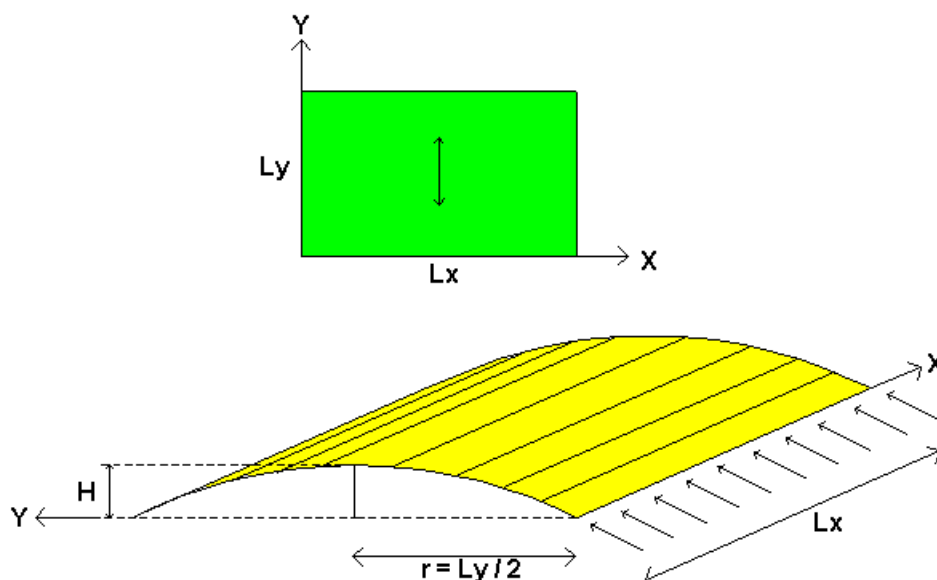


Fig. 73. Volta a botte.

Il carico verticale è ripartito sulle pareti perimetrali considerando la volta a padiglione come un solaio a lastra; i

coefficienti di ripartizione così determinati si applicano anche per la spinta. In questo modo, viene calcolata la forza orizzontale, prodotta dalla volta, agente su ogni parete su cui la volta stessa è impostata.

Anche per la volta a botte (figura 73) vale l'ipotesi di reazione tangente alla superficie cilindrica della volta in corrispondenza del bordo. Supponendo, per fissare le idee, che la volta si imposti sui lati X, cioè con orditura parallela a Y, il raggio della volta cilindrica è:

$$r = L_y / 2$$

Applicando le relazioni già illustrate per la volta a padiglione, si determinano i carichi verticale N e orizzontale S agenti sui lati di imposta della volta (non su tutto il perimetro come per la volta a padiglione, ma solo sui due lati X).

Il carico verticale è ripartito sulle pareti perimetrali considerando la volta a botte come un solaio monodirezionale; i coefficienti di ripartizione così determinati si applicano anche per la spinta. In questo modo, viene calcolata la forza orizzontale, prodotta dalla volta, agente su ogni parete su cui la volta stessa è impostata.

L'effetto della **spinta di eventuali volte** che insistono sulle pareti viene considerato anche per le verifiche sismiche ad azioni ortogonali condotte sulle pareti stesse ad altezza di interpiano. Nel caso di contemporanea presenza di spinta delle volte e di spinta del terreno, poiché queste sono considerate non equiverse (il terreno agisce dall'esterno verso l'edificio, mentre la volta spinge con azione ribaltante verso l'esterno), viene utilizzata l'azione che determina la massima sollecitazione nelle sezioni di riferimento (mezzeria o anche base e sommità). Per quanto riguarda i Setti, la spinta del terreno rimane - a favore di sicurezza - esclusa dalle verifiche sia a Ribaltamento, sia a PressoFlessione Ortogonale, in quanto costituente azione stabilizzante.

### B.9.1.3. CARICHI DIRETTAMENTE INSERITI

PC.M, oltre ai metodi automatici di determinazione dei carichi, prevede la possibilità di inserire direttamente nei Dati Pareti carichi distribuiti e concentrati verticali, e forze orizzontali concentrate (agenti in direzione ortogonale alla parete, ad es. spinte dalla copertura).

I carichi verticali possono essere inseriti con la propria eccentricità.

L'inserimento diretto dei carichi può essere particolarmente indicato per carichi non bene schematizzabili come quelli dovuti sbalzi (se non si sono utilizzati idonei elementi 'trave') o corpi aggiuntivi non modellabili nell'organismo resistente.

Nei Dati Pareti è infine possibile inserire direttamente le tensioni verticali  $\sigma_{0,0}$  (per compatibilità con vecchie impostazioni dei calcoli tipo Por): se non nulle, esse prevalgono su ogni altro carico, facendo peraltro perdere informazioni sulle eccentricità di carico, poste uguali a 0, e sulla suddivisione fra contributo permanente e accidentale (PC.M assume tutto il carico come permanente).

### B.9.1.4. CARICHI SU TRAVI

Si rimanda al paragrafo B.5.2.9. per la descrizione dell'elemento 'trave' utilizzato in PC.M.

Le travi sono utilizzate sia come elemento delimitatore della maglia di solaio, sia per sostenere carichi sovrastanti. Ad esempio, è possibile in PC.M definire una trave che sostiene un muro direttamente sovrastante. Per la comprensione delle varie modalità con cui può essere utilizzato l'elemento 'trave', si rimanda alla consultazione degli esempi forniti con PC.M, e più esattamente agli esempi E-A-05.

### B.9.1.5. VENTO

L'azione del vento, di cui nei Parametri di Calcolo (scheda 'Analisi Statica') vengono forniti i valori di Pressione e Depressione come forze di superficie, è, per ogni piano, data dalla somma della forza del vento di piano con le forze del vento di tutti i piani sovrastanti. Essendo pari al tagliante di piano, cioè all'azione orizzontale complessiva agente superiormente, è questa la forza del vento che viene ripartita sulle pareti

resistenti del piano stesso.

Per ogni piano, la forza del vento viene calcolata sulla fascia media del piano stesso (per la definizione di 'fascia media' si fa riferimento alla fig. 56 del paragrafo B.9.2.1.)

Sul singolo piano, la forza del vento agisce in corrispondenza dell'impalcato che si imposta sulle pareti del piano, ed è ottenuta come risultante della pressione applicata su metà altezza del piano sovrastante e su metà altezza del piano stesso.

Anziché fare riferimento alle due sole direzioni X e Y, la verifica viene automaticamente eseguita ruotando la direzione di provenienza del vento nell'angolo giro, con un passo prefissato di 1°, in modo da individuare gli effetti massimi sulle pareti (diversamente dall'analisi del Dominio di Resistenza sismico, dove invece il passo angolare viene scelto dall'Utente).

La forza del vento produce anche un momento, diversamente valutato a seconda che per le pareti venga adottato lo schema statico di 'Mensole Accoppiate' (Parametri di Calcolo, scheda 'Parametri Vari (1)') (mensole incastrate alla base e libere in sommità dell'edificio, a tutt'altezza quindi dell'edificio stesso) oppure lo schema di elementi vincolati nel piano (cioè lo schema generalmente utilizzato anche per le verifiche sismiche).

La forza del vento agente fino al piano risulta applicata ad una certa quota sopra il piano stesso, generando così il momento alla base delle pareti del piano stesso.

Se si sceglie lo schema di 'Mensole Accoppiate', questo momento verrà usato per ripartirlo sulle pareti ottenendo così per ognuna il momento dovuto al vento parallelo (azione complanare); altrimenti tale momento verrà per ogni parete calcolato con lo schema di parete doppiamente vincolato, secondo il vincolo specificato in input nei Dati Pareti.

Sulle pareti, pertanto, possono agire due tipi di forze dovute al vento:

**Vento normale** = Vento agente in direzione normale alla parete, dovuto alla 'Pressione' specificata nei Parametri di Calcolo, scheda 'Analisi Statica'. Questo carico è presente solo nelle pareti perimetrali, individuate attraverso il 'Perimetro di Piano' definito come maglia fittizia di solaio con schema statico 'E', nella quale sono descritti in sequenza (oraria o antioraria) gli allineamenti consecutivi che individuano appunto il perimetro del piano.

Tutte le pareti appartenenti a tali allineamenti aventi almeno una porzione di lunghezza intercettata da detto perimetro, risultano soggette ad un'azione di vento normale. Questa azione si considera come carico distribuito lungo l'altezza della parete:  $v$  (kg/ml); essa genera un momento pari a  $M = v * h^2 / 'x'$ , dove 'x' è il denominatore indicato nei Dati Pareti per le Azioni Ortogonali (8, secondo il Metodo dell'Articolazione).

La forza del vento normale viene calcolata sulla superficie della parete investita dal vento, riconducendo sulla parete le azioni da vento esercitate su vani intermedi con le pareti contigue. In pratica, ciò equivale a considerare per la parete una superficie maggiorata fino a metà vano rispetto alla parete contigua.

Se fra le pareti contigue sono però definite strisce o travi, si ipotizza che tali azioni vengano già di per sé riportate a livello di impalcato; per conseguenza, in tal caso sulla parete agisce solo l'azione definita dalla sua stessa superficie investita.

Il vento normale viene considerato nella Verifica Statica a Compressione secondo il D.M. 20.11.1987.

**Vento parallelo** = Forza del vento agente sulla parete, complanare alla parete stessa. La forza del vento totale di pia77no (dovuta alla somma di 'Pressione' e 'Depressione' specificate nei Parametri di Calcolo, scheda 'Analisi Statica'), si ripartisce sulle pareti resistenti in base alle loro rigidezze alla traslazione nella direzione di provenienza del vento. Per la valutazione della rigidezza alla traslazione secondo un orientamento diverso dagli assi ortogonali di riferimento X e Y, si rimanda al volume 'La Teoria'.

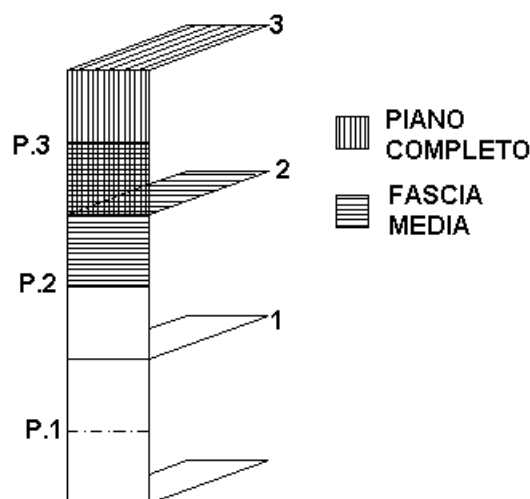
Alla forza  $V$  corrisponde un momento  $M$ : tale momento è calcolato come  $(V * h / n)$  nel caso di schema statico di parete vincolata nell'interpiano ( $n=2$  per doppio incastro: vincolo flessionale  $12EJ/h^3$  nei Dati Pareti;  $n=1$  per mensola: vincolo flessionale  $3EJ/h^3$ ;  $n$  compreso fra 1 e 2 per vincoli flessionali intermedi); è invece ottenuto ripartendo in base alle rigidezze il momento di piano calcolato per mensole accoppiate, nel caso di tale schema statico.

Il vento parallelo viene considerato nella Verifica Statica a PressoFlessione secondo il D.M. 20.11.1987.

## B.9.2. CARICHI SISMICI

### B.9.2.1. CALCOLO DI MASSE E FORZE SISMICHE

Per le modalità di calcolo delle forze sismiche per gli edifici in muratura, si rimanda al paragrafo A.4.1.4. del volume 'La Teoria'. In questo paragrafo, si analizza invece un'importante opzione riguarda la scelta della modalità di calcolo delle masse sismiche, cioè dei carichi verticali competenti ad ogni impalcato per la valutazione della massa sismica (a questa opzione corrisponde un apposito 'Parametro di Calcolo' di PC.M).



**Fig. 74.** Definizione fasce di piano per calcolo di masse e forze sismiche.

Per un dato impalcato, la massa competente è determinabile con riferimento:

- a tutta l'altezza delle pareti su cui l'impalcato stesso si imposta (piani completi),
- oppure a metà altezza superiore e metà inferiore (fasce medie).

Scegliendo "piani completi" piuttosto che "fasce medie" si posiziona il baricentro della forza sismica complessiva ad una quota superiore, poiché un maggior carico viene considerato agente a livello di impalcato. La diversità fra le due schematizzazioni riguarda direttamente la quota di attribuzione del peso proprio delle pareti, che spesso - soprattutto per vecchie murature - costituisce la quota parte principale del carico complessivamente agente.

"Piani completi" opera a favore di sicurezza. Lo schema a "fasce medie" può tuttavia essere vantaggiosamente adottato, soprattutto qualora gli impalcati siano ben rigidi e collegati alle murature (come per edifici nuovi o adeguatamente consolidati).

Al piano 1 (generalmente il piano terreno, o quello a quota minima), la "fascia media" può essere considerata analoga ai piani sovrastanti oppure comprensiva della totalità dell'altezza del piano 1 stesso: quest'ultima possibilità consente di non tener fuori dal computo delle masse in gioco la metà inferiore di altezza delle pareti del piano 1.

Le due possibili schematizzazioni delle "fasce medie" corrispondono alle scelte di tipo B e C nella finestra di dialogo Parametri di Calcolo, Analisi Sismica, Definizione Masse di Piano.

Eseguito il calcolo delle masse e delle forze sismiche, per ogni piano è nota la forza sismica fino al piano, data dalla somma della forza sismica di piano con le forze sismiche di tutti i piani sovrastanti. Essendo pari al tagliante di piano, cioè all'azione orizzontale complessiva agente superiormente, è questa la forza sismica che deve essere confrontata con la capacità reattiva delle pareti del piano.

Si deve inoltre considerare il momento torcente di piano dato dalla Forza Sismica di Piano moltiplicata per l'eccentricità aggiuntiva. Assume valore diverso da zero quando  $(D/B) > 2.5$ . Secondo Normativa (D.M).

16.1.1996), essendo  $D$  la dimensione dell'edificio in pianta maggiore e  $B$  la minore, si può considerare un'eccentricità 'aggiuntiva': essa viene sommata a quella strutturale nei metodi di calcolo tipo Por.

## B.10. RISULTATI DELL'ELABORAZIONE

### B.10.1. RISULTATI ELABORAZIONE ANALISI STATICA

Nei paragrafi seguenti, sono indicati i risultati ottenuti dall'Analisi Statica di PC.M, con le relative convenzioni adottate, così come vengono riportati nella relazione di calcolo.

Eseguita l'Analisi Statica, è possibile visualizzare graficamente i risultati, e comporre una relazione di calcolo per la consultazione dettagliata dei valori dei diversi parametri.

Si consiglia di utilizzare le rappresentazioni grafiche, ed in particolare le post-elaborazioni eseguite da PC.M (mappe a colori, ecc.) per una dettagliata ed efficace comprensione del comportamento strutturale dell'edificio.

#### B.10.1.1. PARETI: CARICHI DA SOLAI E PESI PROPRI

I carichi dai solai provengono dal calcolo automatico dei solai. Gli eventuali carichi verticali concentrati e distribuiti direttamente inseriti nei Dati Pareti vengono invece inclusi nei carichi trasmessi dalle pareti sovrastanti. I carichi di superficie direttamente inseriti, data la loro natura, vengono invece inclusi nei pesi propri. Per strisce, travi e elementi di sottofinestra, i carichi archiviati sono comunque già stati trasmessi alle pareti (quindi per un controllo di verifica, al fine di ottenere il carico totale  $G$  o  $Q$ , non vanno sommati ai carichi delle pareti).

Per le fondazioni e per i piani in elevazione, i risultati dell'analisi dei carichi anzitutto riportano, per le varie maglie di solaio, i parametri: Area, carico Permanente totale, carico Accidentale totale, Perimetro.

$G$ ,  $Q$  = rispettivamente: carichi permanenti e accidentali, suddivisi in  $dx$  e  $sx$ , a seconda che siano carichi sulla destra o sulla sinistra della parete. Per individuare la destra e la sinistra della parete, essa deve essere percorsa nel verso positivo del suo allineamento.

$sQ$  = carico accidentale ridotto per la valutazione dell'azione sismica.

$Q_c$  = carico accidentale affetto dal coefficiente di combinazione  $\psi$  per Stati Limite.

$sQ_c$  = carico accidentale combinato e ridotto per la valutazione dell'azione sismica.

$Sp$ ,  $Sa$  = componenti permanente e accidentale delle spinte di eventuali solai a volta impostati sulla parete.

$Sac$  = spinta accidentale affetta dal coefficiente di combinazione  $\psi$  per Stati Limite.

$hS$  = altezza di applicazione della spinta della volta, valutata rispetto alla base della parete.

$G_{st}$ ,  $Q_{st}$  = carichi permanenti e accidentali provenienti da strisce e/o travi impostate sulla parete.

$Q_{c,st}$  = carico accidentale proveniente da strisce e/o travi impostate sulla parete e affetto dal coefficiente di combinazione  $\psi$  per Stati Limite.

$Pp$  = peso proprio della parete, comprendente l'eventuale carico di superficie direttamente specificato nei Dati Pareti.

$Ec$  = eccentricità del peso proprio; un valore diverso da zero viene determinato solo da un carico di superficie eccentrico.

#### B.10.1.2. PARETI: CARICHI DAL PIANO SOVRASTANTE

Sono i carichi trasmessi dalle pareti del piano sovrastante.

I '**Carichi calcolati**' sono quelli elaborati automaticamente attraverso la distribuzione lungo l'allineamento (= paramento murario verticale) dal piano sovrastante sulle pareti del piano corrente; sono quindi assenti per l'ultimo piano (= piano più alto dell'edificio).

I '**Carichi totali**' includono i concentrati e i distribuiti inseriti direttamente nei Dati Pareti (si tratta di carichi che agiscono in sommità della parete e quindi vengono assimilati a carichi trasmessi da strutture sovrastanti. Si osservi che i carichi di superficie inseriti nei Dati Pareti sono invece inclusi nei pesi propri, e quindi rilevabili dai 'Carichi dai Solai e Pesi propri').

Oltre ai valori permanente  $G$ , accidentale  $Q$ , accidentale combinato  $Q_{comb}$  (affetto dal coefficiente di combinazione  $\psi$  per Stati Limite), sono riportate le corrispondenti eccentricità. L'eccentricità è positiva se alla

destra del piano medio (baricentro) della parete. Per definire 'destra' e 'sinistra' della parete, questa deve essere percorsa nel verso positivo del corrispondente asse di riferimento. Per esempio, una parete X viene percorsa da destra a sinistra e quindi la sua destra è verso il basso, nel piano del disegno; una parete Y viene percorsa dal basso verso l'alto e quindi la sua destra è a destra, nel piano del disegno. Pareti lungo allineamenti obliqui sono sottoposte alla stessa convenzione corrispondente al tipo di allineamento (X o Y).

### B.10.1.3. PIANI: CARICHI VERTICALI E ORIZZONTALI (Vento)

#### **AREE RESISTENTI, PESI E TENSIONI**

**N.** = numero progressivo del piano. 'Fo' = piano di fondazione.

**A res.** = area totale resistente, formata dalle sezioni trasversali di tutti gli elementi verticali resistenti (inclusi elementi non murari, in c.a. e/o acciaio).

**A mur.** = area totale resistente formata dalle sezioni trasversali delle sole pareti in muratura.

**P** = peso totale di piano, dato dalla somma dei contributi dei carichi permanenti ed accidentali di solaio e del peso proprio relativi a tutte le pareti.

**P, comb** = peso totale di piano, avendo considerato gli accidentali affetti dal coefficiente di combinazione  $\psi$  per Stati Limite.

**P,tot** = peso totale fino al piano, dato dalla somma del peso di piano con i pesi di tutti i piani sovrastanti.

**Ptot,com** = peso totale fino al piano, avendo considerato gli accidentali affetti dal coefficiente di combinazione  $\psi$  per Stati Limite.

**s,med** = tensione di compressione media, ottenuta ripartendo il peso totale P,tot su tutte le aree resistenti.

**s,mur** = tensione di compressione media nelle murature, ottenuta ripartendo il carico (complessivamente agente sulle pareti murarie) sulle stesse pareti murarie resistenti.

**Centro geom.** = posizione del baricentro geometrico (calcolato in base alle aree resistenti di tutti gli elementi verticali presenti: maschi, pareti in c.a., pilastri, pareti in muratura armata). L'area della sezione trasversale di ogni elemento viene concentrata nel baricentro della sezione stessa, in modo da rendere coerente il confronto con la posizione del baricentro dei pesi (o centro di pressione), definito dalla risultante dei carichi verticali ognuno dei quali agisce nel baricentro del proprio elemento strutturale.

**Baricentro** = posizione del baricentro dei pesi (centro di pressione).

#### **VENTO E PARAMETRI D.M. 20.11.1987**

**Vento** = forza del vento fino al piano, data dalla somma della forza del vento di piano con le forze del vento di tutti i piani sovrastanti. Essendo pari al tagliante di piano, cioè all'azione orizzontale complessiva agente superiormente, è questa la forza del vento che viene ripartita sulle pareti resistenti del piano stesso. Per ogni piano, la forza del vento viene calcolata sulla fascia media del piano stesso, con riferimento ad ognuna delle due direzioni di calcolo X e Y. Sul singolo piano, la forza del vento agisce in corrispondenza dell'impalcato che si imposta sulle pareti del piano, ed è ottenuta come risultante della pressione applicata su metà altezza del piano sovrastante e su metà altezza del piano stesso.

**M.v sup** = momento prodotto dalla forza del vento, corrispondente allo schema statico di pareti come mensole accoppiate. La forza del vento agente fino al piano risulta applicata ad una certa quota sopra il piano stesso, generando così il momento alla base delle pareti del piano stesso.

Se nei Parametri di calcolo è stato scelto lo schema di 'Mensole Accoppiate', questo momento verrà usato per ripartirlo sulle pareti ottenendo così per ognuna il momento dovuto al vento complanare; altrimenti tale momento verrà per ogni parete calcolato con lo schema di mensola inflessa sull'altezza di interpiano, con schema statico definito dal vincolo flessionale specificato nei Dati Pareti.

**Area Mur.** = area della sezione di muratura resistente, valutata nelle due direzioni di calcolo X e Y. Per le pareti oblique in pianta, viene considerata la proiezione lungo la direzione di riferimento.

**Pianta** = superficie totale in pianta del piano.

**% Area mur.** = percentuale dell'area della sezione di muratura resistente rispetto alla superficie in pianta del piano.

**% Norm.** = percentuale di riferimento prevista dalla Normativa vigente per il parametro precedente.

**Tensione** = tensione media nella sezione di muratura resistente.



**Rapp. dim.** = rapporto fra lato minore e lato maggiore del rettangolo in cui viene inscritta la planimetria del piano.

**Snel. max** = snellezza massima della muratura. Per ogni parete del piano, essa viene calcolata come rapporto fra la lunghezza libera di inflessione della parete e lo spessore della parete stessa. La lunghezza libera di inflessione è pari all'altezza interna di piano moltiplicata per il fattore laterale di vincolo (per quest'ultimo parametro, in questo tipo di calcolo, PC.M assume sempre il valore 1, a favore di sicurezza).

#### B.10.1.4. PARETI: CARICHI ORIZZONTALI (Vento, Spinte del terreno)

**Vento normale** = vento agente in direzione normale (ortogonale) alla parete. Questo carico è presente solo nelle pareti perimetrali, individuate attraverso il 'perimetro di piano' definito come maglia fittizia di solaio con schema statico 'E', nella quale sono descritti in sequenza (oraria o antioraria) gli allineamenti consecutivi che individuano appunto il perimetro del piano. Tutte le pareti appartenenti a tali allineamenti aventi almeno una porzione di lunghezza intercettata da detto perimetro, risultano soggette ad un'azione di vento normale. Questa azione si considera come carico distribuito lungo l'altezza della parete:  $v$  (kg/ml); essa genera un momento pari a  $M (= v * h^2 / x)$ , dove 'x' è il denominatore per azioni ortogonali ( $qh^2/x$ ) definito nei Dati Pareti). Il vento normale viene considerato nella verifica statica a Compressione, eseguita nel rispetto del D.M. 20.11.1987 ('Verifica dei muri per carichi verticali').

**Vento parallelo** = forza del vento agente sulla parete, complanare alla parete stessa. La forza del vento totale di piano si ripartisce sulle pareti resistenti proporzionalmente alle loro rigidezze. Alla forza **V** corrisponde un momento all'estremo superiore (sommità) **Ms** e all'estremo inferiore (base) **Mi**. Il momento viene calcolato:

- se è stato selezionato il parametro 'Mensole Accoppiate' nei 'Parametri di Calcolo', ripartendo in base alle rigidezze il momento di piano calcolato per mensole accoppiate;
- altrimenti, adottando lo schema statico di parete sull'altezza di interpiano, come  $(V * h / n)$ , dove  $n$  dipende dal vincolo flessionale  $x$  ( $x * EJ / h^3$ ) definito nei Dati Pareti.

La direzione di provenienza del vento viene ruotata automaticamente lungo i 360°, con passo di 1°, ed il valore archiviato per ogni parete rappresenta il valore della forza massimo fra tutte le direzioni: **a°max** individua la direzione di massima sollecitazione per la parete. La componente complanare di tale valore massimo viene utilizzata nelle verifiche a PressoFlessione e a Taglio, eseguite nel rispetto del D.M. 20.11.1987 ('Verifica dei muri per forze orizzontali').

**Spinte del terreno** = azione del terreno sulla parete. Vengono riportate la spinta **statica** e l'incremento **sismico**, con le rispettive altezze **h**, valutate rispetto alla base della parete. Le spinte vengono utilizzate per le verifiche ad azioni ortogonali effettuate sull'altezza di interpiano: quindi, dal punto di vista statico, nella verifica a Compressione, eseguita nel rispetto del D.M. 20.11.1987 ('Verifica dei muri per carichi verticali'); dal punto di vista sismico, nella verifica per azioni sismiche ortogonali (analoga alla verifica statica, ma eseguita con il sisma anziché con il vento). Mentre nelle verifiche ad azioni ortogonali sulle pareti di interpiano, la spinta può essere considerata equiversa alla vibrazione della massa della muratura verso l'interno dell'edificio (e questo è il motivo per cui viene considerata nella verifica), invece nelle verifiche ad azioni ortogonali dei setti, dove si studia specificatamente un'inflessione verso l'esterno, la spinta delle terre (stabilizzante, agente - quando presente - alle quote basse del setto) viene trascurata, a favore di sicurezza.

#### B.10.1.5. TENSIONI MEDIE DI COMPRESSIONE

I risultati dell'analisi statica delle Tensioni medie di Compressione si articolano nel seguente modo.

**s,Gsup, s,Qsup** = tensioni nella parete per effetto dei carichi trasmessi dalle pareti sovrastanti.

**s,Gsol, s,Qsol** = tensioni nella parete per effetto dei carichi di solaio.

**s,pp** = tensione nella parete per effetto del suo peso proprio.

**s,calc** = tensione verticale agente nella parete per effetto di tutte le componenti precedenti (rimane esclusa l'eventuale tensione di precompressione verticale).

**s,v** = tensione verticale effettiva nella parete, comprendente l'effetto della precompressione verticale.

**s,vc** = tensione verticale effettiva nella parete, dove il contributo della componente accidentale è affetto dal coefficiente  $\psi$  per Stati Limite.

**N** = sforzo normale agente nella parete (comprensivo della quota determinata dalla precompressione verticale).

**N,c** = sforzo normale agente nella parete (comprensivo della quota determinata dalla precompressione verticale), dove il contributo della componente accidentale è affetto dal coefficiente  $\psi$  per Stati Limite.

La verifica di sicurezza delle tensioni medie di compressione viene condotta confrontando la tensione verticale effettiva **s,v** con la tensione ammissibile  $s_{amm} = s_k / 5$ . Le pareti evidenziate con il simbolo \* non rispettano tale verifica.

Si osservi che nella verifica alle Tensioni Medie di Compressione si fa riferimento alla configurazione di massimo carico dell'edificio senza considerare i coefficienti amplificativi utilizzati nelle combinazioni di carico agli Stati Limite; lo scopo infatti è semplicemente quello di analizzare il comportamento dell'edificio a compressione sotto l'azione della totalità del carico applicato ( $G + Q$ ). I valori **s,vc** e **N,c** contenenti l'informazione della eventuale riduzione del carico per effetto dei coefficienti  $\psi$ , sono riportati a titolo di controllo dei calcoli svolti.

#### B.10.1.6. VERIFICA STATICA IN FONDAZIONE

I risultati dell'analisi statica delle Fondazioni si articolano nel seguente modo.

*Valori generali.*

**A,mur p.1** = area complessiva della sezione degli elementi verticali impostati sopra le fondazioni.

**A,fond** = area complessiva di impronta delle fondazioni.

**xG,fond , yG,fond** = coordinate del baricentro geometrico delle fondazioni.

**J,csi , J,eta** = momenti d'inerzia dell'insieme delle sezioni di fondazione.

**Direz. princ.** = angolo che individua la direzione degli assi principali (Csi, Eta) rispetto alle direzioni ortogonali di riferimento (X, Y). Intorno alla direzione Csi si ha la massima inerzia; intorno a Eta, la minima.

**N** = carico complessivo dell'edificio (incluso peso proprio delle fondazioni).

**x,N , y,N** = coordinate del centro di pressione (punto di applicazione di N). Per l'analisi statica delle tensioni in fondazione, la posizione del centro di pressione ha influenza sul risultato qualora si effettui il calcolo con lo schema di Fondazioni Rigide.

**s,max , s,min** = tensioni statiche massime e minime.

*Valori relativi alle fondazioni.*

Per ogni fondazione, viene riportata:

**Perm.Sup., Acc.Sup** = carichi permanenti e accidentali applicati dalle pareti in elevazione.

**Perm.F, Acc.F** = carichi permanenti e accidentali agenti sul piano di fondazione.

**P.p.** = peso proprio.

**Totale** = carico complessivamente agente sulla fondazione.

**s,max,loc** = massima tensione statica trasmessa al terreno dalla fondazione nello schema 'locale'.

**s,max** = massima tensione statica trasmessa al terreno dalla fondazione. Nello schema di calcolo a Fondazioni Locali, tale tensione è costante sotto l'impronta della fondazione; nello schema a Fondazioni Rigide, la tensione è variabile linearmente (secondo il piano di tensione), e ne viene riportato il valore massimo.

La verifica statica delle fondazioni viene condotta confrontando la tensione sul terreno con la tensione ammissibile, ricavata dalla Capacità Portante specificata nei 'Parametri di Calcolo' divisa per il coefficiente 3. Le fondazioni evidenziate con il simbolo \* non rispettano tale verifica.

#### B.10.1.7. VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO

Per ogni setto analizzato, vengono riportate le verifiche statiche effettuate facendo cerniera alla base di ogni piano, in corrispondenza della parete che definisce il setto.

Le azioni significative sono le seguenti.

**Azioni Stabilizzanti:**

- peso proprio, agente lungo l'asse della parete;
- carichi di solaio, applicati con una distribuzione triangolare, con massima tensione sul lato di appoggio;
- azione da tirantaggio agente in sommità della parete: il suo significato è generalizzato; infatti, i tiri sono spesso dovuti a catene, ma possono essere generati da qualunque sistema in grado di contrastare il ribaltamento rigido della parete (p.es. una rete elettrosaldata nel solaio ammorsata nel cordolo della parete dove si schematizza il setto, può - con i propri tondini - realizzare un tiro resistente idealmente simile a 'catene' diffuse).

**Azioni Instabilizzanti:**

- carico da vento normale (azione di depressione, dall'interno verso l'esterno dell'edificio);
- forza orizzontale concentrata in sommità (p.es. spinta dalla copertura);
- spinta da volte di solaio, agente in corrispondenza dell'imposta della volta.

Vengono considerate le Combinazioni di Carico previste dal D.M. 20.11.1987 per le Verifiche a Compressione ( = verifiche con azioni ortogonali alla parete) [ G = Carichi Permanenti, Q = Carichi Accidentali o Variabili, W = Forza orizzontale dovuta al vento ]:

**Tensioni Ammissibili:**

(1)  $(G + Q) + W$ ; (2)  $G + W$

**Stati Limite:**

(A)  $1.5 G + 1.5 (Q + 0.75 W)$ ; (B)  $1.5 G + 1.5 (W + 0.60 Q)$

Viene infine evidenziata la **Configurazione più sfavorevole**, per la quale si riporta il Rapporto fra Momento Stabilizzante e Momento Ribaltante ( $>1$  nel caso di Verifica Soddisfatta).

**B.10.1.8. DIMENSIONAMENTO SEMPLIFICATO secondo D.M. 20.11.1987****PARAMETRI DI PIANO**

**Area Mur.** = area della sezione di muratura resistente, valutata nelle due direzioni di calcolo X e Y. Per le pareti oblique in pianta, viene considerata la proiezione lungo la direzione di riferimento. Dal computo, vengono escluse: strisce, travi, elementi di sottofinestra e pareti che non sono sia portanti sia di controvento. Fra le altre pareti, sono escluse quelle aventi lunghezza inferiore a 50 cm. Il software non considera in automatico le porzioni di muratura 'continue' dal piano di riferimento fino in fondazione; per ottenere tale risultato, occorre frazionare adeguatamente le pareti e disattivare, ad esempio, la proprietà di Controvento agli elementi non continui.

**Pianta** = superficie totale in pianta del piano.

**% Area mur.** = percentuale dell'area della sezione di muratura resistente rispetto alla superficie in pianta del piano.

**% Norm.** = percentuale di riferimento prevista dalla Normativa vigente per il parametro precedente.

**Tensione** = tensione media nella sezione di muratura resistente.

**Rapp. dim.** = rapporto fra lato minore e lato maggiore del rettangolo in cui viene inscritta la planimetria del piano.

**Snel. max** = snellezza massima della muratura. Per ogni parete del piano, essa viene calcolata come rapporto fra la lunghezza libera di inflessione della parete e lo spessore della parete stessa. La lunghezza libera di inflessione è pari all'altezza interna di piano moltiplicata per il fattore laterale di vincolo (per quest'ultimo parametro, si assume sempre il valore 1, a favore di sicurezza).

**CONDIZIONI del D.M. 20.11.1987**

I punti 2.1. e 3.1. del D.M. 20.11.1987 definiscono le prescrizioni secondo cui è possibile eseguire il dimensionamento semplificato di edifici in muratura, sotto azioni statiche (carichi verticali permanenti e accidentali, vento), rispettivamente per edifici realizzati in muratura formata da elementi resistenti artificiali pieni o semipieni, e per elementi resistenti naturali. E' possibile omettere le verifiche di sicurezza estese nel caso vengano rispettate le prescrizioni seguenti:

- A) l'edificio sia costituito da non più di tre piani entro e fuori terra;  
 B) la planimetria dell'edificio sia inscritta in un rettangolo con rapporti fra lato minore e lato maggiore non inferiore a 1/3;  
 C) la snellezza della muratura, secondo la definizione del punto 2.2.1.3, non sia in nessun caso superiore a 12;  
 D) l'area della sezione di muratura resistente alle azioni orizzontali, espressa in percentuale rispetto alla superficie totale in pianta dell'edificio, sia non inferiore al 4% nelle due direzioni principali escluse le parti aggettanti; non sono da prendere in considerazione, ai fini della percentuale di muratura resistente, i muri di lunghezza L inferiore a 50 cm, misurata al netto delle aperture.

Deve inoltre risultare:

$$E) s_{\text{mur}} = N / (0.65 A) \leq s_{\text{amm}}$$

in cui:

N = carico verticale totale alla base del piano più basso dell'edificio;

A = area totale dei muri portanti allo stesso piano;

$s_{\text{amm}}$  = tensione base ammissibile della muratura, definita al punto 2.4.1.

Le condizioni A) B) C) D) E) vengono evidenziate in tabella seguente per tutti i piani dell'edificio: 'si' indica che la condizione è soddisfatta. Il calcolo esteso può dunque essere omesso qualora tutte le condizioni in tabella (da A) ad E), per tutti i piani) siano soddisfatte.

#### B.10.1.9. VERIFICA STATICA A COMPRESSIONE secondo D.M. 20.11.1987

*Verifica dei muri soggetti ai Carichi Verticali.*

*Verifiche di sicurezza con il metodo delle Tensioni Ammissibili.*

Il punto 2.4.1.1. tratta la verifica dei muri soggetti ai carichi verticali, secondo il metodo delle tensioni ammissibili; se ne riporta di seguito il testo.

“Viene denominata tensione base ammissibile a compressione  $s_m$  la tensione ammissibile in una muratura in assenza di fenomeni legati alla eccentricità di carico ed alla snellezza.

La tensione base ammissibile a compressione  $s_m$  nella muratura sarà dedotta dalla resistenza caratteristica della muratura a compressione  $f_k$  applicando la formula seguente:

$$s_m = f_k / 5.$$

La verifica di resistenza a compressione si effettuerà accertando che la tensione normale media nella sezione del muro rispetti la condizione seguente:

$$s = N / (F_i \cdot A) \leq s_m$$

dove:

N : carico verticale totale calcolato alla base del muro;

A: area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$F_i$ : coefficiente di riduzione della resistenza (p. 2.2.1.4) valutato per l'eccentricità trasversale massima nella sezione da verificare;

$s_m$ : tensione base ammissibile della muratura.”

Nelle verifiche alle tensioni ammissibili, le componenti di sollecitazione dovute alle azioni permanenti e quelle provocate dalle azioni variabili devono valutarsi separatamente, per poi essere combinate in sede di verifica nel modo più sfavorevole. Vengono pertanto considerate le seguenti combinazioni di carico:

$$(1) (G + Q) + W$$

$$(2) G + W$$

(G = Carichi Permanenti, Q = Carichi Variabili, W = Forza orizzontale dovuta al vento).

*Verifiche di sicurezza con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.*

Il punto 2.4.2.2. tratta la verifica dei muri soggetti ai carichi verticali, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite; se ne riporta di seguito il testo.

“La resistenza di calcolo  $f_d$  si valuta mediante l'espressione:

$$f_d = f_k / \gamma_m,$$

in cui  $f_k$  è la resistenza caratteristica della muratura e  $\gamma_m$  è pari a 3.

Affinché la sezione del muro risulti verificata occorre che il carico verticale agente di calcolo  $N_d$  rispetti la seguente condizione:

$$N,d \leq (F_i * f,d * A)$$

dove:

$N,d$  : carico verticale agente di calcolo alla base del muro;

$A$ : area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$f,d$  : resistenza di calcolo della muratura;

$F_i$ : coefficiente di riduzione della resistenza del muro.”

In PC.M, la verifica agli stati limite suddetta viene ricondotta ad una verifica tensionale, in forma analoga all'espressione di calcolo della tensione nel metodo delle tensioni ammissibili:

$$s = N,d / (F_i * A) \leq f,d$$

Le verifiche agli stati limite devono essere condotte considerando le combinazioni di carico previste al punto

2.4.2.1. In particolare, per le verifiche a carichi verticali vengono considerate le seguenti combinazioni di carico:

(A)  $1.5 G + 1.5 (Q + 0.75 W)$

(B)  $1.5 G + 1.5 (W + 0.60 Q)$

Per ogni parete, si riportano i risultati per tutte le condizioni di carico suddette (due alle Tensioni Ammissibili, e due agli Stati Limite), in due sezioni significative:

**S = sezione di sommità** della parete, dove appoggia il solaio;

**M = sezione nella mezzeria** della parete (a metà altezza), in corrispondenza del momento massimo dovuto al vento spirante in direzione ortogonale al piano medio della parete.

La tabella dei risultati viene articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**Ecc.lim.** =  $0.33*s$  = eccentricità trasversale limite (punto 2.2.1.2.);

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

1) Tensioni Ammissibili (1) - 2) Tensioni Ammissibili (2)

3) Stati Limite (A) - 4) Stati Limite (B).

**N,S** = sforzo normale nella sezione S di sommità;

**N,M** = sforzo normale nella sezione M di mezzeria (metà altezza della parete);

**M,M** = momento nella sezione M di mezzeria, pari a  $qh^2/x$ , dove il denominatore 'x' è definito nei Dati Pareti;

**e,str** = eccentricità strutturale, ottenuta per combinazione dell'eccentricità di appoggio del solaio e dell'eccentricità dovuta al dissamento tra il piano medio della parete sovrastante ed il piano medio della parete da verificare. Nella sezione M, l'eccentricità strutturale si riduce a metà, poiché scendendo lungo l'altezza dalla sommità verso la base, lo sforzo normale tende a ricentrarsi;

**e,acc** = eccentricità accidentale, forfettariamente assunta pari a  $H/200$  ( $H$ =altezza della parete);

**e,ven** = eccentricità dovuta all'azione del vento spirante in direzione ortogonale al piano medio della parete, calcolata come rapporto tra il momento massimo (che si verifica nella sezione M) e lo sforzo normale  $N,M$ ;

**e,S** = eccentricità teorica di calcolo (indicata nel D.M. 20.11.1987 con 'e1') nella sezione S;

**e,M** = eccentricità teorica di calcolo (indicata nel D.M. 20.11.1987 con 'e2') nella sezione M;

**f<sub>i</sub>,S** , **f<sub>i</sub>,M** = coefficienti di riduzione della resistenza del muro in corrispondenza delle sezioni S e M;

**s,S** , **s,M** = tensioni a compressione calcolate per le sezioni S e M;

**s,rif** = tensione di riferimento: se la tensione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta. La  $s,rif$  è pari alla tensione ammissibile, per le CdC 1) e 2); è invece pari a  $f,d$  per le CdC 3) e 4).

All'azione del vento viene sostituita la spinta del terreno se la parete è collocata al di sotto della quota del piano di campagna (le due condizioni di carico - vento e spinta terreno - sono considerate alternative).

Per gli edifici esistenti, in assenza di determinazione più precisa delle caratteristiche dei materiali, il valore di  $f,k$  coincide con quello di  $\sigma,k$  riportato nella Tab.1., punto 3.1.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981.

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

#### B.10.1.10. VERIFICA STATICA A PRESSOFLESSIONE secondo D.M. 20.11.1987

*Verifica dei muri soggetti alle Forze Orizzontali agenti nel piano del muro: verifica a PressoFlessione.*

*Verifiche di sicurezza con il metodo delle Tensioni Ammissibili*

Il punto 2.4.1.2.1. tratta la verifica dei muri a pressoflessione, secondo il metodo delle tensioni ammissibili; se ne riporta di seguito il testo.

“L'azione flettente delle forze orizzontali determina sollecitazioni nei muri che si sommano a quelle indotte dai carichi verticali. L'eccentricità  $e, b$  nel piano mediano del muro della risultante dei carichi verticali non deve superare il limite indicato dalla seguente espressione:

$$6 e, b / b \leq 1.3$$

in cui:

$e, b$ : eccentricità longitudinale dovuta al momento indotto dalle forze orizzontali nella sezione di verifica;

$b$ : lunghezza del muro.

La verifica di resistenza si effettuerà accertando che nella sezione del muro sia rispettata la condizione seguente:

$$s = N / (F_{i,t} * F_{i,b} * A) \leq s_m$$

in cui:

$N$ : carico verticale calcolato alla base del muro;

$A$ : area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$F_{i,t}$ : coefficiente di riduzione della resistenza valutato per l'eccentricità trasversale  $e, 2$  [cioè nella sezione  $M$  di mezzaria] (p. 2.2.1.4);

$F_{i,b}$ : coefficiente di riduzione delle resistenza valutato per l'eccentricità longitudinale  $e, b$ ; si ricava (p. 2.2.1.4) tramite il coefficiente di eccentricità  $6 e, b / t$  e ponendo  $h_0 / t = 0$ .”

Nelle verifiche alle tensioni ammissibili, le componenti di sollecitazione dovute alle azioni permanenti e quelle provocate dalle azioni variabili devono valutarsi separatamente, per poi essere combinate in sede di verifica nel modo più sfavorevole. Vengono pertanto considerate le seguenti combinazioni di carico:

$$(1) (G + Q) + W$$

$$(2) G + W$$

( $G$  = Carichi Permanenti,  $Q$  = Carichi Variabili,  $W$  = Forza orizzontale dovuta al vento).

*Verifiche di sicurezza con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.*

Il punto 2.4.2.3.1. tratta la verifica dei muri a pressoflessione, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite; se ne riporta di seguito il testo.

“Il momento flettente dovuto all'azione orizzontale di calcolo si combina con il carico verticale agente di calcolo  $N, d$ ; la risultante è una forza  $N, d$  con eccentricità longitudinale  $e, b$  riferita al baricentro dell'area della sezione del muro. Tale eccentricità  $e, b$  non deve superare il limite indicato dalla seguente espressione:

$$6 e, b / b \leq 2$$

in cui:

$e, b$ : eccentricità longitudinale del carico  $N, d$ ;

$b$ : lunghezza del muro.

Affinché la sezione del muro risulti verificata occorre che il carico verticale agente di calcolo  $N, d$  sia inferiore al carico di rottura del muro in applicazione della seguente espressione:

$$N, d \leq (F_{i,t} * F_{i,b} * f, d * A)$$

in cui:

$N, d$ : carico verticale agente di calcolo alla base del muro;

$A$ : area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$f, d$ : resistenza a compressione di calcolo del muro;

$F_{i,t}$ : coefficiente di riduzione della resistenza in funzione delle eccentricità trasversali (p. 2.2.1.4);

$F_{i,b}$ : coefficiente di riduzione delle resistenza (p. 2.4.1.2.1.)”

In PC.M, la verifica agli stati limite suddetta viene ricondotta ad una verifica tensionale, in forma analoga all'espressione di calcolo della tensione nel metodo delle tensioni ammissibili:

$$s = N, d / (F_{i,t} * F_{i,b} * A) \leq f, d$$

Le verifiche agli stati limite devono essere condotte considerando le combinazioni di carico previste al punto 2.4.2.1. In particolare, per le verifiche alle forze orizzontali vengono considerate le seguenti combinazioni di carico:

$$(A) 1.5 G + 1.5 (Q + 0.75 W)$$

$$(B) 1.5 G + 1.5 (W + 0.60 Q)$$

$$(C) G + 1.5 W$$

Per ogni parete, si riportano i risultati per tutte le condizioni di carico suddette (due alle Tensioni Ammissibili, e due agli Stati Limite) nella sezione di base.

La tabella dei risultati viene articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**e,b lim** =  $1.3 \cdot B/6$  = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.1.2.1.) per le CdC alle Tensioni Ammissibili;

**e,b lim** =  $2 \cdot B/6$  = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.2.3.1.) per le CdC agli Stati Limite;

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

1) Tensioni Ammissibili (1) - 2) Tensioni Ammissibili (2)

3) Stati Limite (A) - 4) Stati Limite (B) - 5) Stati Limite (C).

**N** = sforzo normale nella sezione di base;

**M** = momento nella sezione di base;

**e,tra** = eccentricità trasversale;

**e,b** = eccentricità longitudinale dovuta al momento indotto dalle forze orizzontali nella sezione di base;

**fi,t** = coefficiente di riduzione della resistenza del muro per eccentricità trasversale;

**fi,b** = coefficiente di riduzione della resistenza del muro per eccentricità longitudinale;

**s** = tensione di compressione nella sezione di base;

**s,rif** = tensione di riferimento: se la tensione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta. La s,rif è pari alla tensione ammissibile, per le CdC 1) e 2); è invece pari a f,d per le CdC 3) 4) 5).

La resistenza di calcolo f,d e la tensione ammissibile s,m sono ricavate dalla resistenza caratteristica f,k (  $f,d = f,k / 3$ ;  $s,m = f,k / 5$  ). Per gli edifici esistenti, in assenza di determinazione più precisa delle caratteristiche dei materiali, il valore di f,k coincide con quello di  $\sigma_k$  riportato nella Tab.1., punto 3.1.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981.

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

#### B.10.1.11. VERIFICA STATICA A TAGLIO secondo D.M. 20.11.1987

*Verifica dei muri soggetti alle Forze Orizzontali agenti nel piano del muro: verifica a Taglio.*

La resistenza caratteristica a taglio per ogni parete (punto 2.3.2.1 del D.M. 20.11.1987), è data da:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_o$$

dove:

**f<sub>vko</sub>** = resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali (per gli edifici esistenti, in assenza di determinazione più precisa delle caratteristiche dei materiali, è possibile equiparare il valore della resistenza f<sub>vko</sub> al valore di  $\tau_k$  riportato nella Tab. 1., punto 3.1.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981);

**$\sigma_o$**  = tensione normale media dovuta ai carichi verticali.

*Verifiche di sicurezza con il metodo delle Tensioni Ammissibili.*

Il punto 2.4.1.2.2. tratta la verifica dei muri a taglio, secondo il metodo delle tensioni ammissibili; se ne riporta di seguito il testo.

“Nelle sezioni orizzontali dei muri si verificherà che la tensione tangenziale, considerata uniformemente ripartita sulla sezione reagente, rispetti la seguente condizione:

$$t = V / (\beta \cdot A) \leq f_{vk} / 5$$

in cui:

**V**: forza di taglio totale agente nel piano del muro;

**A**: area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

**f<sub>vk</sub>**: resistenza caratteristica a taglio della muratura;

**$\beta$** : coefficiente di parzializzazione della sezione; tiene conto della eventuale zona di muro soggetta a trazione e assume i valori:

$\beta = 1$ , per:  $6 e, b / b \leq 1$

$\beta = 3/2 - 3 e, b / b$ , per:  $1 < 6 e, b / b \leq 1.3$ ."

Nelle verifiche alle tensioni ammissibili, le componenti di sollecitazione dovute alle azioni permanenti e quelle provocate dalle azioni variabili devono valutarsi separatamente, per poi essere combinate in sede di verifica nel modo più sfavorevole. Vengono pertanto considerate le seguenti combinazioni di carico:

(1)  $(G + Q) + W$

(2)  $G + W$

(G = Carichi Permanenti, Q = Carichi Variabili, W = Forza orizzontale dovuta al vento).

*Verifiche di sicurezza con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.*

Il punto 2.4.2.3.2. tratta la verifica dei muri a taglio, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite; se ne riporta di seguito il testo.

"La resistenza a taglio di calcolo  $f_{vd}$  si valuta mediante la seguente espressione:

$f_{vd} = f_{vk} / 3$

in cui  $f_{vk}$  è la resistenza caratteristica a taglio.

Affinché la sezione del muro risulti verificata occorre che l'azione orizzontale di calcolo  $V_d$  sia inferiore alla resistenza a taglio di calcolo  $f_{vd}$  secondo la seguente espressione:

$V_d \leq \beta * f_{vd} * A$

in cui:

$V_d$ : azione orizzontale di calcolo agente nel piano del muro;

A: area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$f_{vd}$ : resistenza a taglio di calcolo della muratura;

$\beta$ : coefficiente di parzializzazione della sezione (p.2.4.1.2.2.)."

In PC.M, la verifica agli stati limite suddetta viene ricondotta ad una verifica tensionale, in forma analoga all'espressione di calcolo della tensione nel metodo delle tensioni ammissibili:

$t = V_d / (\beta * A) \leq f_{vd}$

Le verifiche agli stati limite devono essere condotte considerando le combinazioni di carico previste al punto 2.4.2.1. In particolare, per le verifiche alle forze orizzontali vengono considerate le seguenti combinazioni di carico:

(A)  $1.5 G + 1.5 (Q + 0.75 W)$ , avendo assunto:  $(\psi)=1$ , a favore di sicurezza;

(B)  $1.5 G + 1.5 (W + 0.60 Q)$

(C)  $G + 1.5 W$

Per ogni parete, si riportano i risultati per tutte le condizioni di carico suddette (due alle Tensioni Ammissibili, e tre agli Stati Limite) nella sezione scelta per l'esecuzione delle Verifiche a Taglio (vd. 'Parametri di Calcolo'): sommità, mezzeria (metà altezza) o base.

Nei 'Parametri di Calcolo', è possibile che sia stata scelta l'opzione di trascurare la parzializzazione della sezione (assumendo  $\beta = 1$ ).

La tabella dei risultati viene articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**e, b lim** =  $1.3 * B / 6$  = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.1.2.1.) per le CdC alle Tensioni Ammissibili;

**e, b lim** =  $2 * B / 6$  = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.2.3.1.) per le CdC agli Stati Limite;

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

1) Tensioni Ammissibili (1) - 2) Tensioni Ammissibili (2)

3) Stati Limite (A) - 4) Stati Limite (B) - 5) Stati Limite (C).

Per la sezione di riferimento, si riportano i valori di:

**N** = sforzo normale;

**T** = taglio;

**M** = momento flettente prodotto dalle azioni orizzontali (vento);

**ecc.** = eccentricità longitudinale data dal rapporto  $M/N$ ;

**beta** =  $\beta$ , coefficiente di parzializzazione;

**t** = tensione tangenziale calcolata;



**t<sub>rif</sub>** = tensione di riferimento: se la tensione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta. La t<sub>rif</sub> è pari alla tensione ammissibile, per le CdC 1) e 2); è invece pari a f<sub>vd</sub> per le CdC 3) 4) 5).

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

## B.10.2. RISULTATI ELABORAZIONE ANALISI SISMICA

Nei paragrafi seguenti, sono indicati i risultati ottenuti dall'Analisi Sismica di PC.M, con le relative convenzioni adottate, così come vengono riportati nella relazione di calcolo. Per ogni tipo di verifica, viene riportata la descrizione, così come ottenibile in relazione. Alcuni concetti potranno essere ripetuti più volte nell'ambito di verifiche similari, dal momento che ogni singola verifica consultata viene descritta in maniera esaustiva.

Eseguita l'Analisi Sismica, è possibile visualizzare graficamente i risultati, e comporre una relazione di calcolo per la consultazione dettagliata dei valori dei diversi parametri.

Si consiglia di utilizzare le rappresentazioni grafiche, ed in particolare le post-elaborazioni eseguite da PC.M (mappe a colori, deformate, lesioni, ecc.) per una dettagliata ed efficace comprensione del comportamento strutturale dell'edificio.

### B.10.2.1. FORZE SISMICHE

**W** = peso sismico di piano, calcolato come somma del carico permanente di piano, del peso proprio delle pareti (valutato in base al metodo adottato: "piani completi" o "fasce medie", come risulta dai 'Parametri di Calcolo') e del carico accidentale (carico accidentale ridotto secondo la tabella 3 del punto C.6.1.1. del D.M. 16.1.1996).

**W<sub>tot</sub>** = peso sismico fino al piano, dato dalla somma del peso sismico di piano con i pesi sismici di tutti i piani sovrastanti.

**Gamma** = coefficiente di distribuzione  $\gamma_i$  definito da:  $\gamma_i = h_i \cdot (\sum W_j) / (\sum W_j h_j)$  (punto C.6.1.1. del D.M. 16.1.1996), essendo  $h_i$  la quota del piano i-esimo rispetto allo zero sismico di riferimento (intradosso delle fondazioni; la quota 0.00 può essere variata se è stata specificata nei 'Parametri di Calcolo'.

**F** = forza sismica di piano, determinata dai pesi sismici **W** attraverso la relazione:

$F_i = K_i \cdot W_i$ , dove:  $K_i = (C \cdot R \cdot \epsilon \cdot \beta \cdot \gamma_i \cdot I)$ .

**F<sub>tot</sub>** = forza sismica fino al piano, data dalla somma della forza sismica di piano con le forze sismiche di tutti i piani sovrastanti. Essendo pari al tagliante di piano, cioè all'azione orizzontale complessiva agente superiormente, è questa la forza sismica che deve essere confrontata con la capacità reattiva delle pareti del piano (nei metodi tipo Por), o che deve essere ripartita fra le pareti per determinare il taglio sismico agente sulle pareti stesse.

La risultante complessiva delle forze orizzontali sismiche è data da:  $F = C \cdot R \cdot \epsilon \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot I \cdot W$ .

Nel caso di edifici su piani sfalsati, aventi fondazioni anche a livelli superiori al piano 1, ad ogni piano il tagliante corrisponde all'effettivo carico superiormente non fondato, in modo da condurre correttamente l'analisi anche per i piani più in basso, che si ritiene ragionevole non gravare dalla quota parte di forza sismica corrispondente a masse fondate superiormente. La modalità secondo la quale le forze sovrastanti, agenti su piani parzialmente fondati, vengono trasmesse ai piani inferiori, è specificata nei 'Parametri di Calcolo'.

**Torc<sub>agg</sub>** = momento torcente di piano dato dalla Forza Sismica di Piano moltiplicata per l'eccentricità aggiuntiva. Assume valore diverso da zero quando  $(D/B) > 2.5$ . L'azione torcente aggiuntiva dipende quindi dalla forma della pianta (rapporto tra dimensioni massima e minima).

**E<sub>c,a</sub>** = eccentricità aggiuntiva di piano dovuta a  $(D/B) > 2.5$ . Secondo Normativa (D.M. 16.1.1996), essendo D la dimensione dell'edificio in pianta maggiore e B la minore, l'eccentricità aggiuntiva è data da:

$E_{c,agg} = \lambda \cdot D$  (con  $D > B$ ), dove:

$\lambda = 0.03 + 0.02 \cdot [(D/B) - 2.5]$ , per  $(D/B) < 3.5$ ;

$\lambda = 0.05$ , per  $(D/B) \geq 3.5$ .

Questa eccentricità si chiama 'aggiuntiva' in quanto viene sommata a quella strutturale nei metodi di calcolo che prevedono la definizione della posizione del centro delle rigidezze rispetto al baricentro.

**H<sub>p,f</sub>** = altezza totale del piano dallo spiccato delle fondazioni. Se nei Dati Piani è stata specificata, per il piano 0 (=fondazione), un'altezza diversa da zero (pari all'altezza delle fondazioni), ciò equivale a considerare le quote

per l'applicazione delle forze sismiche (=altezza totale dal piano delle fondazioni) a partire dal piano di appoggio delle fondazioni (intradosso).

**H<sub>q,r</sub>** = altezza totale dalla quota di riferimento. Se il corrispondente parametro dei 'Parametri di Calcolo' è stato assunto diverso da zero, le altezze dei piani per la valutazione dei coefficienti di distribuzione delle forze sismiche vengono calcolate a partire dalla quota di riferimento.

Questo gruppo di parametri viene riportato in **due schemi**:

1) Valori determinati da carichi accidentali NON affetti dai **coefficienti di Combinazione  $\psi$**  agli Stati Limite, di cui al punto B.8.2. del D.M. 16.1.1996; 2) valori con carichi accidentali affetti dai coefficienti  $\psi$ .

I valori affetti dai coefficienti  $\psi$  sono utilizzati nelle verifiche sismiche che fanno riferimento a metodi agli Stati Limite. Per gli edifici in muratura, in pratica, la Normativa vigente prevede tutti metodi agli Stati Limite (metodi tipo Por e altri, in quanto la forza sismica agente sull'edificio è comunque calcolata 'a rottura'), eccetto che per la Muratura Armata, per la quale è possibile la verifica alle Tensioni Ammissibili (punto C.5.3.6. del D.M. 16.1.1996).

Un altro caso in cui si fa riferimento a pesi sismici e forze non affette dai coefficienti  $\psi$  (e quindi, si considerano carichi accidentali completi) è la valutazione dell'azione ribaltante sulle fondazioni, per la successiva analisi sismica delle fondazioni stesse. Poiché per tale analisi la Normativa prevede il coefficiente di struttura  $\beta_2$  posto = 1 (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), non si tiene conto delle modalità di verifica a rottura, e quindi non si deve fare riferimento ai coefficienti  $\psi$  per Stati Limite.

Per gli edifici in Muratura Armata, oltre ai due schemi suddetti (riferiti all'edificio stesso rivisto come nuovo in muratura ordinaria, con i coefficienti  $\beta$  definiti nei Parametri di Calcolo), viene anche riportato lo schema corrispondente al calcolo effettivo della muratura armata, condotto utilizzando  $\beta=1.4$  o  $\beta=1.5$  a seconda che sia prevista l'armatura diffusa aggiuntiva o meno.

### B.10.2.2. COEFFICIENTI SISMICI

#### \* Coefficienti Sismici:

- **Grado di Sismicità S** = ha valore 6, 9 o 12 a seconda della classificazione sismica del Comune dove l'edificio corrente è ubicato.

- **Coefficiente di Intensità Sismica di riferimento C<sub>rif</sub>** =  $(S-2) / 100$  = coefficiente di intensità sismica di riferimento.

- **Coefficiente di Sicurezza nei confronti dell'Adeguamento Sismico C<sub>Sic</sub>** = permette di definire un grado di sicurezza nei confronti dell'Adeguamento Sismico.

Per i consueti interventi di Adeguamento: C<sub>Sic</sub>=1.00.

Per interventi di Miglioramento secondo la Legge 61 del 30.3.1998: C<sub>Sic</sub>=0.65. Il prodotto: C<sub>Sic</sub> \* C<sub>Rif</sub> indica il valore del coefficiente C corrispondente all'azione sismica che l'edificio deve essere in grado di sostenere con tutte le verifiche soddisfatte (si intendono le verifiche significative per la configurazione in esame; alcuni metodi, infatti, possono essere o meno applicati a seconda della schematizzazione dell'edificio: ad esempio, il Metodo Por non verrà eseguito nel caso di edificio con impalcati tutti deformabili).

- **Coefficiente di Risposta R** = coefficiente di risposta, dipendente dal periodo fondamentale di vibrazione. Per le strutture in muratura, normalmente R = 1.

- **Coefficiente di Fondazione (eps:  $\epsilon$ , Fa)** = assume valore  $\geq 1.00$  in dipendenza delle caratteristiche geotecniche del terreno.

- **Coefficienti di Struttura  $\beta_1$  e  $\beta_2$**  = i coefficienti di struttura, secondo la Normativa vigente, assumono normalmente seguenti valori:

- per gli edifici esistenti:

$\beta_1 = 2$ , tiene conto delle caratteristiche di duttilità delle costruzioni in muratura;

$\beta_2 = 2$ , tiene conto delle modalità di verifica a rottura.

Il valore:  $\beta = \beta_1 * \beta_2 = 4$  è inoltre prescritto dalla Circ.Min.LL.PP. n.21745 del 30.7.1981, punto 3.1.1, in accordo quindi con il metodo di verifica sismica, dove si adotta una ipotesi di comportamento elasto-plastico con controllo della duttilità;

- per gli edifici nuovi:

$\beta_1 = 2$ ,

$\beta_2 = 1$ : (punto C.5.2., Circ.Min.LL.PP. n.65 del 10.4.1997) questa scelta è coerente con la riduzione a 1/3 della resistenza caratteristica a taglio valutata secondo il D.M. 20.11.1987.

- **Coefficiente di Protezione I** = per le opere la cui resistenza al sisma sia di importanza primaria per le necessità della protezione civile, deve porsi:  $I = 1.4$ . Per le opere che presentano un particolare rischio per le loro caratteristiche d'uso, si pone:  $I = 1.2$ . In tutti gli altri casi, si assume  $I = 1.0$ .

**K** = coefficiente moltiplicatore della massa sismica per ottenere la risultante delle forze sismiche:

$F = K W = C * R * \epsilon * \beta_1 * \beta_2 * I * W$ , e dunque:  $K = C * R * \epsilon * \beta_1 * \beta_2 * I$

### B.10.2.3. DIMENSIONAMENTO SEMPLIFICATO secondo D.M. 16.1.1996

#### PARAMETRI DI PIANO

**Area Mur.** = area della sezione di muratura resistente, valutata nelle due direzioni di calcolo X e Y. Per le pareti oblique in pianta, viene considerata la proiezione lungo la direzione di riferimento. Dal computo, vengono escluse: strisce, travi, elementi di sottofinestra e pareti che non sono sia portanti sia di controvento. Fra le altre pareti, sono escluse quelle aventi rapporto altezza/lunghezza superiore a **3**. Il software non considera in automatico le porzioni di muratura 'continue' dal piano di riferimento fino in fondazione: per ottenere tale risultato, occorre frazionare adeguatamente le pareti e disattivare, ad esempio, la proprietà di Controvento agli elementi non continui.

**Pianta** = superficie totale in pianta del piano.

**% Area mur.** = percentuale dell'area della sezione di muratura resistente rispetto alla superficie in pianta del piano.

**% Norm.** = percentuale di riferimento prevista dalla Normativa vigente per il parametro precedente.

**Tensione** = tensione media nella sezione di muratura resistente.

**Rapp. dim.** = rapporto fra lato minore e lato maggiore del rettangolo in cui viene inscritta la planimetria del piano.

**Snel. max** = snellezza massima della muratura. Per ogni parete del piano, essa viene calcolata come rapporto fra la lunghezza libera di inflessione della parete e lo spessore della parete stessa. La lunghezza libera di inflessione è pari all'altezza interna di piano moltiplicata per il fattore laterale di vincolo (per quest'ultimo parametro, si assume sempre il valore 1, a favore di sicurezza).

#### CONDIZIONI del punto C.5.2. del D.M. 16.1.1996

Il punto C.5.2. del D.M. 16.1.1996 definisce le prescrizioni secondo cui è possibile eseguire il dimensionamento semplificato di edifici in muratura, sotto azioni sismiche. Per gli edifici nuovi, e per gli edifici esistenti sottoposti ad intervento di adeguamento, è possibile omettere le verifiche sismiche estese nel caso vengano rispettate le prescrizioni dei commi da a) a m).

Il software controlla automaticamente le seguenti condizioni:

**A)** la pianta dell'edificio sia inscritta in un rettangolo con rapporti fra lato minore e lato maggiore non inferiore a **1/3**;

**E)** la distanza massima fra lo spiccatto delle fondazioni e l'intradosso del primo solaio o fra due solai successivi non superi **m.5**, e

**E')** la snellezza dei setti murari sia inferiore a **12**;

**L)** l'area della sezione di muratura resistente alle azioni orizzontali, espressa in percentuale rispetto alla superficie totale in pianta dei piani dell'edificio, sia non inferiore ad una percentuale di riferimento ottenuta dalla Tabella 4a o 4b, p. C.5.2., dipendente dalla natura della muratura (artificiale, in blocchi pieni o semipieni, o naturale squadrate) e dalla zona sismica; detta percentuale è compresa fra il **5%** e il **7%**. Non sono da prendere in considerazione, ai fini della percentuale di muratura resistente, i muri aventi rapporto altezza / lunghezza superiore a **3**.

Per **edifici nuovi**, il software individua le caratteristiche della muratura identificandole con quelle della prima parete. Peraltro, se la muratura dell'edificio, pur nuova, non fosse omogenea, sarebbe comunque preferibile non limitare i calcoli sismici al solo dimensionamento semplificato, ma estenderli alla verifica con i metodi tipo Por. Per gli **edifici esistenti**, data la eterogeneità delle situazioni, si fa riferimento direttamente ai massimi valori presenti in tabella.

Il valore della percentuale di riferimento è assunto pari a 0 nel caso di situazioni non ammissibili (murature nuove in pietra naturale non squadrata). Per muratura listata, occorre che l'utente assicuri il rispetto del comma f); la percentuale di riferimento è per tal caso posta pari a 0. Anche per la muratura listata, è consigliabile svolgere la verifica con metodi tipo Por.

Oltre al rispetto della percentuale di muratura resistente, deve risultare:

$$L') s_{mur} = N / (0.50 A) \leq s_{amm}$$

in cui:

N = carico verticale relativo al piano in esame;

A = area totale dei muri portanti allo stesso piano;

s<sub>amm</sub>: tensione base ammissibile della muratura, come definita al punto 2.4.1. del D.M.20.11.1987.

Le condizioni A) E) E') L) L') vengono evidenziate in tabella seguente per tutti i piani dell'edificio: 'si' indica che la condizione è soddisfatta. Il calcolo esteso può dunque essere omesso qualora tutte le condizioni in tabella (da A) ad E), per tutti i piani) siano soddisfatte, ferma restando la necessità di verificare le altre condizioni del punto C.5.2. del D.M.16.1.1996.

Per quanto riguarda gli edifici in **muratura armata**, le prescrizioni del punto C.5.2. del D.M. 16.1.1996 sono modificate secondo quanto specificato ai punti C.5.3., e più esattamente:

- nel calcolo dell'area della sezione di muratura resistente, valutata nelle due direzioni X e Y, vengono escluse aventi rapporto altezza/lunghezza superiore a 4. Lo spessore netto delle pareti murarie resistenti all'azione sismica non deve essere inferiore al maggiore dei seguenti valori: **1/14** dell'altezza compresa tra due diaframmi orizzontali, e **24 cm.**;

E) la distanza massima fra lo spiccato delle fondazioni e l'intradosso del primo solaio o fra due solai successivi non deve superare m.7;

E') la snellezza dei setti murari non deve essere superiore a **14**;

$$L') \text{ deve aversi: } s_{mur} = N / (0.60 A) \leq s_{amm}$$

L) le percentuali di riferimento (con cui confrontare l'area della sezione di muratura resistente alle azioni orizzontali, espressa in percentuale rispetto alla superficie totale in pianta dei piani dell'edificio), ottenute dalla Tabella 4a o 4b, p. C.5.2., possono essere ridotte di 1.5: pertanto, esse risultano comprese fra **3.5%** e **5.5%**.

#### B.10.2.4. VERIFICA SISMICA IN FONDAZIONE

Secondo il punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996, "le verifiche relative alle fondazioni, previste dal D.M. 11.3.1988, vanno eseguite secondo i criteri stabiliti in detto decreto; le azioni sismiche sono calcolate assumendo per il coefficiente  $\beta_2$  il valore  $\beta_2 = 1$ ."

Con tale coefficiente vengono pertanto valutate le forze sismiche utilizzate per la verifica della capacità portante delle fondazioni.

Nello schema di calcolo a Fondazioni Locali, la tensione statica dovuta ai carichi verticali è costante sotto l'impronta della fondazione, e dipende unicamente dal carico trasmesso dalla parete sovrastante; nello schema a Fondazioni Rigide, la tensione è variabile linearmente, secondo il piano di tensione. Le sollecitazioni sismiche in fondazione risultano dalla combinazione delle tensioni statiche e delle tensioni generate dal momento ribaltante prodotto dalla forza sismica complessiva applicata ad una quota corrispondente al baricentro delle forze sismiche agenti ai vari livelli.

In particolare, esistono due direzioni principali dell'azione sismica, tra loro ortogonali, che individuano la massima inerzia (direzione Csi:  $\xi$ ) e la minima (direzione Eta:  $\eta$ ). Il sisma diretto lungo Csi chiama in causa la minima inerzia (intorno a Eta), e viceversa in direzione Eta. Il metodo di calcolo consiste nel considerare l'azione sismica agente in ognuna delle due direzioni Csi ed Eta (ed in entrambi i versi: +Csi, -Csi; +Eta, -Eta) e nel condurre conseguentemente le verifiche, consistenti nella condizione che la pressione massima di contatto della fondazione di ogni parete sia inferiore alla tensione ammissibile del terreno.

I risultati dell'analisi si articolano nel seguente modo:

*Valori generali.*

**H,Fs** = quota del punto di applicazione della risultante delle forze sismiche.

**Mom. Ribalt.** = momento ribaltante prodotto dalla risultante delle forze sismiche.

**xN , yN** = coordinate del centro di pressione (punto di applicazione di N), sotto l'azione ribaltante della forza sismica lungo: +Csi, -Csi; +Eta, -Eta.

**s,max, s,min** = massimi e minimi valori delle tensioni totali (statiche + sismiche) sotto l'azione ribaltante della forza sismica lungo: +Csi, -Csi; +Eta, -Eta.

*Valori relativi alle fondazioni.*

Per ogni fondazione, vengono riportate le tensioni:

**s,max** = tensioni totali (statiche + sismiche) sotto l'azione ribaltante della forza sismica lungo: +Csi, -Csi; +Eta, -Eta. Per la verifica della fondazione, ognuno di questi valori viene confrontato con la tensione ammissibile del terreno (pari alla Capacità Portante divisa per il coefficiente 3 nel caso di edifici nuovi e 2.4 nel caso di edifici esistenti).

Le fondazioni evidenziate con il simbolo \* non rispettano la verifica di sicurezza.

### B.10.2.5. CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

Il comportamento sismico dell'edificio può essere caratterizzato attraverso i seguenti parametri:

- **Coefficienti di sicurezza** globali, secondo i metodi di calcolo VeT, Por e PorFlex.

- **Accelerazioni strutturali** (o spettrali), secondo le prescrizioni di Normativa, e secondo i metodi di calcolo VeT, Por e PorFlex, con riferimento alle prime lesioni, e al collasso globale. Le accelerazioni possono essere espresse in 'g', ossia multiple dell'accelerazione di gravità, oppure in valore assoluto (nell'unità di misura consuetamente adottata: mm/sec<sup>2</sup>).

Con riferimento alle accelerazioni del terreno corrispondenti all'intensità sismica, è quindi possibile ipotizzare l'amplificazione strutturale. Si riportano, a titolo indicativo di riferimento, i valori di accelerazione sismica del terreno competenti alla Scala Mercalli Modificata dell'Intensità Sismica (Richter, 1956) (fonte: Dinamica delle Strutture, Manuale di Ingegneria Civile, Ed. Cremonese, 1982, pp. 292-293):

Grado di intensità sismica	Accelerazione massima del terreno (valore indicativo) in mm/sec <sup>2</sup>
I	< 2.5
II	2.5-5
III	5-10
IV	10-25
V	25-50
VI	50-100
VII	100-250
VIII	250-500
IX	500-1000
X	1000-2500
XI	2500-5000
XII	5000-10000

- **Tensione massima sul terreno**, in condizioni statiche e dinamiche.

- **Direzione sismica più sfavorevole**, risultante dall'analisi delle fondazioni dell'edificio.

- **Periodo proprio di oscillazione** (sec), calcolato per l'edificio in muratura nelle due direzioni di riferimento X,Y. Viene utilizzata la seguente relazione (anch'essa tratta dalla fonte di cui sopra) :

$$T = 6.28 * H^{(3/2)} / B^{(1/2)} / (H+2B)^{(1/2)}$$

essendo H e B rispettivamente l'altezza totale dell'edificio e la sua larghezza nel piano di oscillazione.

### B.10.2.6. VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO

Per ogni setto analizzato, vengono riportate le verifiche sismiche effettuate facendo cerniera alla base di ogni piano, in corrispondenza della parete che definisce il setto.

Le azioni significative sono le seguenti.

#### **Azioni Stabilizzanti:**

- peso proprio, agente lungo l'asse della parete;
- carichi di solaio, applicati con una distribuzione triangolare, con massima tensione sul lato di appoggio;
- azione da tirantaggio agente in sommità della parete: il suo significato è generalizzato; infatti, i tiri sono spesso dovuti a catene, ma possono essere generati da qualunque sistema in grado di contrastare il ribaltamento rigido della parete (p.es. una rete elettrosaldata nel solaio ammorsata nel cordolo della parete dove si schematizza il setto, può - con i propri tondini - realizzare un tiro resistente idealmente simile a 'catene' diffuse).

#### **Azioni Instabilizzanti:**

- carico sismico distribuito in altezza, dovuto alla massa propria della parete;
- forza sismica concentrata in corrispondenza dell'impalcato impostato sulla sommità della parete, pari a  $\beta CW$ , dove  $W=G+Q$  (senza il coefficiente di riduzione "s", che riveste valore statistico globale sull'edificio; localmente, infatti, è possibile che sia presente la totalità del carico accidentale; è invece incluso l'effetto del coefficiente  $\psi$  per Stati Limite, coerentemente ai metodi di verifica e a quanto riportato al punto B.8.2. del D.M. 16.1.1996). Si ricorda, dal punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996: "L'azione sismica ortogonale alla parete sarà rappresentata da un carico orizzontale distribuito, pari a  $\beta C$  volte il peso della parete e da forze concentrate pari a  $\beta C$  volte il carico degli orizzontamenti che si appoggiano su di essa se questi non sono efficacemente collegati a muri trasversali." Mentre nella Verifica a Pressoflessione ortogonale del setto, questa forza concentrata sarà o meno presente a seconda che il vincolo sia efficace o meno, nella Verifica sismica a Ribaltamento - dove si studia un equilibrio del paramento murario sotto l'azione di forze, indipendentemente dallo schema dei vincoli - il software consente, tramite un apposito parametro definito nei 'Parametri di Calcolo', di considerare nulla la forza concentrata, nel caso di vincoli efficaci;
- forza orizzontale concentrata in sommità (p.es. spinta dalla copertura);
- spinta da volte di solaio, agente in corrispondenza dell'imposta della volta.

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [  $G$  = Carichi Permanenti,  $Q$  = Carichi Accidentali o Variabili,  $S$  = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

Viene infine evidenziata la **Configurazione più sfavorevole**, per la quale si riporta il Rapporto fra Momento Stabilizzante e Momento Ribaltante ( $>1$  nel caso di Verifica Soddisfatta).

#### **B.10.2.7. VERIFICA SISMICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI ORTOGONALI secondo D.M. 20.11.1987**

Le pareti che si trovano orientate ortogonalmente alla direzione sismica, a causa della piccola rigidezza in tale direzione non solo non forniscono alcuna collaborazione all'insieme strutturale, ma - tramite i solai - vengono a scaricare le risultanti delle azioni ad esse competenti sulle pareti di controvento (cioè quelle orientate parallelamente al sisma). Per la resistenza di queste pareti, come ricorda anche la Normativa, svolgono un ruolo essenziale i collegamenti con gli orizzontamenti e con le pareti di controvento.

Questa verifica può essere condotta sia sui Setti (a tutta altezza d'edificio) sia sulle Pareti ad altezza di interpiano (a seconda delle opzioni scelte nei 'Parametri di Calcolo').

Sui setti, la trave continua (incastro alla base, appoggi ai piani se vincoli efficaci) porta a una soluzione esatta e quindi al momento effettivo.

Sulle pareti di interpiano si ipotizza un vincolo in sommità e alla base da cerniera a incastro, corrispondente al denominatore per momento in mezz'aria specificato nei Dati Pareti, nella colonna Az.Ort.qh<sup>2</sup>/x (ad es. x=10 per semincastro debole): infatti, in tal caso, prescindendo dalla continuità in altezza del setto, occorre definire a priori un vincolo agli estremi superiore ed inferiore: tale definizione è ininfluente nella trave continua, dove si risolve lo schema così come effettivamente è.

Frequentemente, in uno Stato Attuale si sceglie la verifica sui Setti, mentre nello Stato Modificato si fa riferimento alle sole Pareti di interpiano.

I setti sono sempre da considerarsi posti in corrispondenza dei prospetti; infatti, se ne studia la tendenza al ribaltamento verso l'esterno (sia dal punto di vista rigido [verifica a Ribaltamento], sia dal punto di vista flessionale [verifica a PressoFlessione per azioni ortogonali]). Le pareti di interpiano, invece, possono essere analizzate sotto l'effetto delle azioni sismiche ortogonali in una qualunque posizione nel complesso murario, anche interna.

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [  $G$  = Carichi Permanenti,  $Q$  = Carichi Accidentali o Variabili,  $S$  = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ .

L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $f_k$ ;

- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad  $1/3$  della resistenza caratteristica:  $f_d=f_k/3$  (secondo le prescrizioni del D.M. 20.11.1987).

### **Verifica dei SETTI a tutta altezza dell'edificio, sottoposti ad Azioni Ortogonali**

Per ogni setto analizzato, vengono riportate le verifiche sismiche consistenti nel calcolo delle tensioni normali e nel confronto con i valori di riferimento, in seguito all'analisi dello stato di sollecitazione secondo lo schema di 'trave continua' (striscia di larghezza 1.00 m., dalle fondazioni in sommità, sottoposta a carichi verticali e carichi orizzontali ortogonali).

La 'trave continua' viene costruita posizionando gli appoggi nei punti di vincolamento efficace dei solai. Quindi, una campata può coincidere con l'altezza di piano, nel caso di vincoli efficaci sia superiormente che inferiormente, oppure con due o più piani se mancano alcuni vincoli efficaci. Nel caso di assenza completa di vincoli efficaci, lo schema statico diviene a mensola. Se una campata è formata da più piani, le grandezze  $E, J$  sono mediate sui corrispondenti valori delle pareti componenti la campata.

Le azioni applicate sulle campate della trave continua possono essere le seguenti.

#### **Carichi Verticali:**

- peso proprio, agente lungo l'asse della parete; il peso proprio di una parete può generare un momento concentrato sulla parete sottostante, nel caso di disassamento (ad es. rastremazione della muratura nel passaggio dai piani inferiori ai superiori);

- carichi di solaio, applicati con una distribuzione triangolare, con massima tensione sul lato di appoggio; il carico di solaio genera un momento concentrato (verso l'interno) dovuto alla posizione della risultante della distribuzione triangolare rispetto all'asse della parete su cui il solaio grava;

**Carichi Orizzontali:** [ in presenza di vincolo efficace, tutte le forze orizzontali concentrate in sommità alla parete componente la campata sono ininfluenti (agiscono in corrispondenza dell'appoggio): tiri, forze sismiche da carico di solaio, spinta dalle coperture ]

- azioni da tirantaggio agenti in corrispondenza degli impalcati (assenti in caso di vincolo efficace); agiscono verso l'interno;

- carico sismico distribuito in altezza, dovuto alla massa propria della parete; agisce verso l'esterno;

- forza sismica concentrata in corrispondenza dell'impalcato impostato sulla sommità della parete, pari a  $\beta CW$ , dove  $W=G+Q$  (senza il coefficiente di riduzione "s", che riveste valore statistico globale sull'edificio; localmente, infatti, è possibile che sia presente la totalità del carico accidentale; è invece incluso l'effetto del coefficiente  $\psi$  per Stati Limite, coerentemente ai metodi di verifica e a quanto riportato al punto B.8.2. del D.M. 16.1.1996). Si ricorda, dal punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996: "L'azione sismica ortogonale alla parete sarà rappresentata da un carico orizzontale distribuito, pari a  $\beta C$  volte il peso della parete e da forze concentrate pari a  $\beta C$  volte il carico degli orizzontamenti che si appoggiano su di essa se questi non sono efficacemente collegati a muri trasversali." La forza sismica concentrata è assente in caso di vincolo efficace;

- forza orizzontale concentrata in sommità (p.es. spinta dalla copertura);  
 - spinta da volte di solaio, agente in corrispondenza dell'imposta della volta.

Per ogni campata, si effettueranno le verifiche di resistenza nelle sezioni di massimo e minimo momento flettente.

L'eccentricità viene calcolata pari al rapporto  $(M / N)$ .

Nei risultati, sono riportati: l'altezza libera di inflessione; le caratteristiche di sollecitazione; l'eccentricità [ pari al rapporto  $(M / N)$  ]; il coefficiente di riduzione 'phi':  $\Phi$ ; la tensione di calcolo a compressione; la resistenza di calcolo (tensione di confronto a compressione).

### **Verifica delle PARETI sull'altezza di interpiano, sottoposte ad Azioni Ortogonali**

Per la verifica di ogni parete sull'altezza di interpiano, sottoposta ad azioni sismiche ortogonali, si applicano modalità del tutto analoghe alla verifica a Compressione prevista dal D.M. 20.11.1987 per l'analisi delle pareti murarie sottoposte al carico verticale, con forza orizzontale dovuta al vento agente in direzione ortogonale alla parete stessa.

Si riporta il testo del punto 2.4.2.2. del D.M. 20.11.1987, che tratta la verifica dei muri soggetti ai carichi verticali, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

"La resistenza di calcolo  $f_{d,d}$  si valuta mediante l'espressione:

$$f_{d,d} = f_{t,k} / \gamma_m,$$

in cui  $f_{t,k}$  e' la resistenza caratteristica della muratura e  $\gamma_m$  e' pari a 3.

Affinché la sezione del muro risulti verificata occorre che il carico verticale agente di calcolo  $N_{d,d}$  rispetti la seguente condizione:

$$N_{d,d} \leq (F_i * f_{d,d} * A)$$

dove:

$N_{d,d}$  : carico verticale agente di calcolo alla base del muro;

$A$ : area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$f_{d,d}$  : resistenza di calcolo della muratura;

$F_i$ : coefficiente di riduzione della resistenza del muro."

In PC.M, la verifica agli stati limite suddetta viene ricondotta ad una verifica tensionale, nella forma:

$$s = N_{d,d} / (F_i * A) \leq f_{d,d}$$

Per ogni parete, si riportano i risultati per le due condizioni di carico esaminate, in due sezioni significative:

**S** = **sezione di sommità** della parete, dove appoggia il solaio;

**M** = **sezione nella mezzeria** della parete (a metà altezza), in corrispondenza del massimo momento sismico agente in direzione ortogonale al piano medio della parete.

La tabella dei risultati viene articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**Ecc.lim.** = **0.33\*s** = eccentricità trasversale limite (punto 2.2.1.2.);

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

(1) Stati Limite (1)

(2) Stati Limite (2)

**N,S** = sforzo normale nella sezione S di sommità;

**N,M** = sforzo normale nella sezione M di mezzeria (metà altezza della parete);

**M,S** = momento nella sezione S di sommità;



**M,M** = momento nella sezione M di mezzeria, pari a  $qh^2/x$ , dove il denominatore 'x' è definito nei Dati Pareti;

**e, str** = eccentricità strutturale, ottenuta per combinazione dell'eccentricità di appoggio del solaio e dell'eccentricità dovuta al disassamento tra il piano medio della parete sovrastante ed il piano medio della parete da verificare. Nella sezione M, l'eccentricità strutturale si riduce a metà, poiché scendendo lungo l'altezza dalla sommità verso la base, lo sforzo normale tende a ricentrarsi;

**e, acc** = eccentricità accidentale, forfettariamente assunta pari a  $H/200$  (H=altezza della parete);

**e, s, M** = eccentricità dovuta all'azione del sisma agente in direzione ortogonale al piano medio della parete, calcolata come rapporto tra il momento massimo (che si verifica nella sezione M) e lo sforzo normale N,M;

**e, S , e, M** = eccentricità complessive in sommità e in mezzeria;

**fi, S , fi, M** = coefficienti di riduzione della resistenza del muro in corrispondenza delle sezioni S e M;

**s, S , s, M** = tensioni a compressione calcolate per le sezioni S e M;

**s, rif** = tensione di riferimento f,d: se la tensione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;

**C, max** = massimo valore del coefficiente di intensità sismica sostenibile dalla parete. Il minimo fra i valori di C, max corrispondenti a tutte le pareti sottoposte a questa verifica nell'intero edificio, definisce il dominio di resistenza (o coefficiente 'C') competente a questo meccanismo di collasso (pressoflessione ortogonale secondo il D.M. 20.11.1987). Se la verifica è soddisfatta, C, max risulta maggiore o uguale del valore di C adottato per l'analisi sismica (ad esempio: 0.07, nel caso delle consuete analisi in zona sismica di IIa categoria; oppure 0.0455 nel caso degli interventi di ricostruzione secondo la Legge 61/98 con coefficiente C di riferimento 0.07 e coefficiente di sicurezza 0.65).

Anche se la verifica ad Azioni Ortogonali non è eseguita nel piano della parete, viene applicata solo alle pareti di controvento, cioè quelle che sono considerate, per definizione, sismicamente reagenti.

All'azione del sisma viene sommata la spinta del terreno se la parete è collocata al di sotto della quota del piano di campagna. Le due azioni si pensano equiverse (quindi dirette verso l'interno dell'edificio). Le eccentricità vengono combinate convenzionalmente in valore assoluto.

Alla spinta statica del terreno si applica il coefficiente di combinazione del carico permanente.

Vi è inoltre l'azione di spinta delle volte: se è presente la spinta del terreno, viene scelta tra le due quella che produce effetti maggiori: esse infatti corrispondono a sismi entrambi in direzione ortogonale alla parete, ma in versi opposti.

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

#### **B.10.2.8. VERIFICA SISMICA a PRESSOFLESSIONE PER AZIONI ORTOGONALI secondo Circ. n°21745 del 30.7.1981**

Le pareti che si trovano orientate ortogonalmente alla direzione sismica, a causa della piccola rigidezza in tale direzione non solo non forniscono alcuna collaborazione all'insieme strutturale, ma - tramite i solai - vengono a scaricare le risultanti delle azioni ad esse competenti sulle pareti di controvento (cioè quelle orientate parallelamente al sisma). Per la resistenza di queste pareti, come ricorda anche la Normativa, svolgono un ruolo essenziale i collegamenti con gli orizzontamenti e con le pareti di controvento.

Questa verifica può essere condotta sia sui Setti (a tutta altezza d'edificio) sia sulle Pareti ad altezza di interpiano (a seconda delle opzioni scelte nei 'Parametri di Calcolo').

Sui setti, la trave continua (incastro alla base, appoggi ai piani se vincoli efficaci) porta a una soluzione esatta e quindi al momento effettivo.

Sulle pareti di interpiano si ipotizza un vincolo in sommità e alla base da cerniera a incastro, corrispondente al denominatore per momento in mezzeria specificato nei Dati Pareti, nella colonna Az.Ort. $qh^2/x$  (ad es.  $x=10$  per semincastro debole): infatti, in tal caso, prescindendo dalla continuità in altezza del setto, occorre definire a priori un vincolo agli estremi superiore ed inferiore: tale definizione è ininfluente nella trave continua, dove si risolve lo schema così come effettivamente è.

Frequentemente, in uno Stato Attuale si sceglie la verifica sui Setti, mentre nello Stato Modificato si fa riferimento alle sole Pareti di interpiano.

I setti sono sempre da considerarsi posti in corrispondenza dei prospetti; infatti, se ne studia la tendenza al ribaltamento verso l'esterno (sia dal punto di vista rigido [verifica a Ribaltamento], sia dal punto di vista flessionale [verifica a PressoFlessione per azioni ortogonali]). Le pareti di interpiano, invece, possono essere analizzate sotto l'effetto delle azioni sismiche ortogonali in una qualunque posizione nel complesso murario, anche interna.

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [  $G$  = Carichi Permanenti,  $Q$  = Carichi Accidentali o Variabili,  $S$  = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ .

L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta;

- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad  $1/3$  della resistenza caratteristica.

#### **Verifica dei SETTI a tutta altezza dell'edificio, sottoposti ad Azioni Ortogonali**

Per ogni setto analizzato, vengono riportate le verifiche sismiche consistenti nel calcolo delle tensioni normali e nel confronto con i valori di riferimento, in seguito all'analisi dello stato di sollecitazione secondo lo schema di 'trave continua' (striscia di larghezza 1.00 m., dalle fondazioni in sommità, sottoposta a carichi verticali e carichi orizzontali ortogonali).

La 'trave continua' viene costruita posizionando gli appoggi nei punti di vincolamento efficace dei solai. Quindi, una campata può coincidere con l'altezza di piano, nel caso di vincoli efficaci sia superiormente che inferiormente, oppure con due o più piani se mancano alcuni vincoli efficaci. Nel caso di assenza completa di vincoli efficaci, lo schema statico diviene a mensola. Se una campata è formata da più piani, le grandezze  $E, J$  sono mediate sui corrispondenti valori delle pareti componenti la campata.

Le azioni applicate sulle campate della trave continua possono essere le seguenti.

##### **Carichi Verticali:**

- peso proprio, agente lungo l'asse della parete; il peso proprio di una parete può generare un momento concentrato sulla parete sottostante, nel caso di disassamento (ad es. rastremazione della muratura nel passaggio dai piani inferiori ai superiori);

- carichi di solaio, applicati con una distribuzione triangolare, con massima tensione sul lato di appoggio; il carico di solaio genera un momento concentrato (verso l'interno) dovuto alla posizione della risultante della distribuzione triangolare rispetto all'asse della parete su cui il solaio grava;

**Carichi Orizzontali:** [ in presenza di vincolo efficace, tutte le forze orizzontali concentrate in sommità alla parete componente la campata sono ininfluenti (agiscono in corrispondenza dell'appoggio): tiri, forze sismiche da carico di solaio, spinta dalle coperture ]

- azioni da tirantaggio agenti in corrispondenza degli impalcati (assenti in caso di vincolo efficace); agiscono verso l'interno;

- carico sismico distribuito in altezza, dovuto alla massa propria della parete; agisce verso l'esterno;

- forza sismica concentrata in corrispondenza dell'impalcato impostato sulla sommità della parete, pari a  $\beta C W$ , dove  $W=G+Q$  (senza il coefficiente di riduzione "s", che riveste valore statistico globale sull'edificio; localmente, infatti, è possibile che sia presente la totalità del carico accidentale; è invece incluso l'effetto del coefficiente  $\psi$  per Stati Limite, coerentemente ai metodi di verifica e a quanto riportato al punto B.8.2. del D.M. 16.1.1996). Si ricorda, dal punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996: "L'azione sismica ortogonale alla parete sarà rappresentata da un carico orizzontale distribuito, pari a  $\beta C$  volte il peso della parete e da forze concentrate pari a  $\beta C$  volte il carico degli orizzontamenti che si appoggiano su di essa se questi non sono efficacemente collegati a muri trasversali." La forza sismica concentrata è assente in caso di vincolo efficace;

- forza orizzontale concentrata in sommità (p.es. spinta dalla copertura);

- spinta da volte di solaio, agente in corrispondenza dell'imposta della volta.

Per ogni campata, si effettueranno le verifiche di resistenza nelle sezioni di massimo e minimo momento flettente.

L'eccentricità viene calcolata pari al rapporto ( $M / N$ ).

Nei risultati, sono riportati: le caratteristiche di sollecitazione; l'eccentricità [ pari al rapporto ( $M / N$ ) ]; le tensioni calcolate massima e minima; le resistenze di calcolo (tensione di confronto a compressione e a trazione).

### **Verifica delle PARETI sull'altezza di interpiano, sottoposte ad Azioni Ortogonali**

L'effetto flessionale dell'azione ortogonale alla parete viene valutato nell'ipotesi di comportamento lineare a sezione interamente reagente. Nell'ambito di applicazione di questo metodo è possibile trascurare le eccentricità derivanti dai carichi verticali e quelle derivanti dalle tolleranze di esecuzione.

La tensione massima di trazione, in assenza di dati sperimentali adeguatamente documentati, può essere assunta pari alla resistenza tangenziale caratteristica  $\tau_k$  secondo la Tabella 1 della Circ. n°21745 del 30.7.1981.

La verifica tensionale consiste nel confrontare le massime tensioni di trazione e di compressione con le resistenze di calcolo (=valori di riferimento).

Per ogni parete, si riportano i risultati per le due condizioni di carico esaminate, in due sezioni significative:

**S** = **sezione di sommità** della parete, dove appoggia il solaio;

**M** = **sezione nella mezzeria** della parete (a metà altezza), in corrispondenza del massimo momento sismico agente in direzione ortogonale al piano medio della parete.

La tabella dei risultati viene articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**Ecc.lim.** = **0.33\*s** = eccentricità trasversale limite (questo valore non influenza il calcolo, ma viene riportato a titolo di riferimento);

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

(1) Stati Limite (1) - (2) Stati Limite (2);

**N,S** = sforzo normale nella sezione S di sommità;

**N,M** = sforzo normale nella sezione M di mezzeria (metà altezza della parete);

**M,S** = momento nella sezione S di sommità;

**M,M** = momento nella sezione M di mezzeria, pari a  $qh^2/x$ , dove il denominatore 'x' è definito nei Dati Pareti;

**e,S** = eccentricità nella sezione S;

**e,M** = eccentricità nella sezione M;

**sSmax** , **sSmin** , **sMmax** , **sMmin** = tensioni massime e minime calcolate per le sezioni S e M;

**sComp** = resistenza di calcolo a compressione: se la tensione di compressione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;

**sTraz** = resistenza di calcolo a trazione: se l'eventuale tensione di trazione è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;

**C,max** = massimo valore del coefficiente di intensità sismica sostenibile dalla parete. Il minimo fra i valori di C,max corrispondenti a tutte le pareti sottoposte a questa verifica nell'intero edificio, definisce il dominio di resistenza (o coefficiente 'C') competente a questo meccanismo di collasso (pressoflessione ortogonale secondo la Circ. n°21745 del 30.7.1981). Se la verifica è soddisfatta, C,max risulta maggiore o uguale del valore di C adottato per l'analisi sismica (ad esempio: 0.07, nel caso delle consuete analisi in zona sismica di IIa categoria; oppure 0.0455 nel caso degli interventi di ricostruzione secondo la Legge 61/98 con coefficiente C di riferimento 0.07 e coefficiente di sicurezza 0.65).

Anche se la verifica ad Azioni Ortogonali non è eseguita nel piano della parete, viene applicata solo alle pareti di controvento, cioè quelle che sono considerate, per definizione, sismicamente reagenti.

All'azione del sisma viene sommata la spinta del terreno se la parete è collocata al di sotto della quota del piano di campagna. Le due azioni si pensano equiverse (quindi dirette verso l'interno dell'edificio).

Alla spinta statica del terreno si applica il coefficiente di combinazione del carico permanente.

Vi è inoltre l'azione di spinta delle volte: se è presente la spinta del terreno, viene scelta tra le due quella che produce effetti maggiori: esse infatti corrispondono a sismi entrambi in direzione ortogonale alla parete, ma in

versi opposti.

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

#### **B.10.2.9. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: D.M. 20.11.1987: PIANI RIGIDI**

Le **azioni sismiche complanari** alle pareti sono valutate prendendo in esame l'edificio nella sua interezza, con i collegamenti operati dai solai in quanto a tale scopo efficaci, considerando di norma trascurabile la rigidezza delle pareti per deformazioni ortogonali al loro piano.

La ripartizione delle forze sismiche al piano tra i maschi murari resistenti deve quindi essere effettuata considerando la più appropriata delle due ipotesi limite:

1. solai infinitamente rigidi nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica orizzontale di calcolo sarà applicata al baricentro delle masse di piano;
2. solai infinitamente deformabili nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica di competenza di ciascun muro sarà determinata proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti su di esso.

Anche per quanto riguarda il comportamento delle pareti resistenti, è possibile prendere in considerazione i due casi estremi di: 1) carico limite determinato dalla resistenza a taglio; 2) carico limite determinato dalla resistenza a pressoflessione.

Nella presente verifica, si esamina:

- l'ipotesi di **Piani Rigidi**, secondo la quale la ripartizione del tagliante di piano tra le varie pareti avviene proporzionalmente alle rispettive rigidezze ed alla posizione rispetto al baricentro delle rigidezze;
- la **Verifica a Taglio** secondo il **D.M. 20.11.1987**.

La resistenza caratteristica a taglio per ogni parete (punto 2.3.2.1 del D.M. 20.11.1987), è data da:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_o$$

dove:

$f_{vko}$  = resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali (per gli edifici esistenti, in assenza di determinazione più precisa delle caratteristiche dei materiali, è possibile equiparare il valore della resistenza  $f_{vko}$  al valore di  $\tau_k$  riportato nella Tab. 2.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981);

$\sigma_o$  = tensione normale media dovuta ai carichi verticali dovuti ai carichi verticali combinati come al punto B.8.2. del D.M. 16.1.1996.

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $f_{vk}$ ;
- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad 1/3 della resistenza caratteristica:  $f_{vd}=f_{vk}/3$  (secondo le prescrizioni del D.M. 20.11.1987).

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996 al punto B.8.2. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [ G = Carichi Permanenti, Q = Carichi Accidentali o Variabili, S = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

La modalità di verifica è del tutto analoga alla verifica a Taglio prevista dal D.M. 20.11.1987 per l'analisi delle pareti murarie sottoposte alle forze orizzontali dovute al vento.

Si riporta il testo del punto 2.4.2.3.2. del D.M. 20.11.1987, che tratta la verifica dei muri a taglio, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

“La resistenza a taglio di calcolo  $f_{vd}$  si valuta mediante la seguente espressione:

$$f_{vd} = f_{vk} / 3$$

in cui  $f_{vk}$  è la resistenza caratteristica a taglio.

Affinché la sezione del muro risulti verificata occorre che l'azione orizzontale di calcolo  $V_d$  sia inferiore alla resistenza a taglio di calcolo  $f_{vd}$  secondo la seguente espressione:

$$V_d \leq \beta * f_{vd} * A$$

in cui:

$V_d$ : azione orizzontale di calcolo agente nel piano del muro;

$A$ : area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$f_{vd}$ : resistenza a taglio di calcolo della muratura;

$\beta$ : coefficiente di parzializzazione della sezione (p.2.4.1.2.2.).”

In PC.M, la verifica agli stati limite suddetta viene ricondotta ad una verifica tensionale, nella forma:

$$t = V_d / (\beta * A) \leq f_{vd}$$

Per ogni parete, si riportano i risultati per le due condizioni di carico esaminate nella sezione scelta per l'esecuzione delle Verifiche a Taglio (vd. 'Parametri di Calcolo'): sommità, mezzeria (metà altezza) o base.

Nei 'Parametri di Calcolo', è possibile che sia stata scelta l'opzione di trascurare la parzializzazione della sezione (assumendo  $\beta = 1$ ).

I risultati vengono organizzati secondo le due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, e riportano:

*come valori di piano:*

- la forza sismica agente sull'organismo murario;

- la rigidezza globale;

- lo spostamento del baricentro.

*Come valori relativi alle pareti:*

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**e<sub>b</sub> lim = 1.3\*B/6** = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.1.2.1.) (questo valore si riferisce a metodi alle Tensioni Ammissibili, e quindi non viene utilizzato in questo contesto, ed è riportato solo a titolo di riferimento);

**e<sub>b</sub> lim = 2\*B/6** = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.2.3.1.) per le CdC agli Stati Limite;

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

1) Stati Limite (1) - 2) Stati Limite (2).

Per la sezione di riferimento, si riportano i valori di:

**N** = sforzo normale;

**T** = taglio;

**M** = momento flettente prodotto dalle azioni sismiche orizzontali;

**ecc.** = eccentricità longitudinale data dal rapporto M/N;

**beta** =  $\beta$ , coefficiente di parzializzazione;

**t** = tensione tangenziale calcolata;

**f<sub>vd</sub>** = tensione di riferimento (= resistenza di calcolo a taglio): se la tensione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;

**Rigidezza** = rigidezza alla traslazione orizzontale della parete;

**Spost** = spostamento della parete dovuto all'azione del taglio T;

**C<sub>max</sub>** = massimo valore del coefficiente di intensità sismica sostenibile dalla parete. Il minimo fra i valori di  $C_{max}$  corrispondenti a tutte le pareti sottoposte a questa verifica nell'intero edificio, definisce il dominio di resistenza (o coefficiente 'C') competente a questo meccanismo di collasso (azione complanare di taglio per piani rigidi, secondo il D.M. 20.11.1987). Se la verifica è soddisfatta,  $C_{max}$  risulta maggiore o uguale del valore di C adottato per l'analisi sismica (ad esempio: 0.07, nel caso delle consuete analisi in zona sismica di IIa categoria; oppure 0.0455 nel caso degli interventi di ricostruzione secondo la Legge 61/98 con coefficiente C di riferimento 0.07 e coefficiente di sicurezza 0.65).

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

### **Calcolo degli Spostamenti**

In corrispondenza della verifica globale a taglio, ogni parete presenta uno spostamento relativo (nel proprio piano) ed assoluto (determinato anche dagli spostamenti dei piani sottostanti).

Gli spostamenti vengono riportati utilizzando la seguente simbologia:

*come valori di piano:*

**d,rel** = spostamento di piano relativo: è lo spostamento del baricentro;

**d,ass** = spostamento di piano assoluto, ottenuto sommando lo spostamento relativo allo spostamento assoluto sottostante (somma degli spostamenti dei baricentri dei piani sottostanti);

**Rapp.Spost.** = valore massimo, fra tutte le pareti, del rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

*Come valori per le pareti:*

**d** = spostamento relativo della parete nel piano;

**d,ass** = spostamento assoluto della parete nel piano (ottenuto sommando lo spostamento assoluto del piano sottostante allo spostamento relativo della parete nel piano);

**Rapp.Spost.** = rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

### **Azioni su elementi in C.a. / Acciaio**

La presenza di elementi in c.a. / acciaio nell'edificio in muratura può avvenire secondo due modalità:

1) nell'edificio, tutti i piani resistenti sono sostanzialmente in muratura, ma all'interno di uno o più di essi sono presenti pilastri o pareti in c.a. e/o acciaio, che si ritiene svolgano un ruolo statico non secondario nei confronti delle sollecitazioni per carichi sismici;

2) un piano dell'edificio è interamente in c.a. / acciaio. Generalmente si tratta:

- o del piano (semi)interrato, su cui si imposta l'edificio murario sovrastante;

- o di un ultimo piano, realizzato come sopraelevazione di un edificio esistente in muratura.

Il software consente la massima flessibilità, potendo inserire ovunque, nell'edificio, elementi in c.a. / acciaio, anche in piani intermedi o su più piani. Come sempre, il progettista è responsabile della corretta schematizzazione e interpretazione strutturale dell'organismo edilizio, da effettuarsi comunque nel rispetto della Normativa vigente.

#### **1) Elementi resistenti in c.a. / acciaio inseriti fra le pareti murarie.**

Nel caso siano presenti, inseriti nell'organismo murario, elementi verticali (pareti e/o pilastri) in acciaio o in cemento armato, e qualora sia stato deciso di considerarne il contributo di resistenza, questi concorrono alla ripartizione della forza sismica e quindi è possibile definire le corrispondenti caratteristiche di sollecitazione: forza orizzontale  $F$ , momento  $M$ , carico verticale  $N$  (il software non fornisce le verifiche delle sezioni resistenti in c.a./acciaio). Poiché la forza sismica, per l'edificio in muratura, è calcolata utilizzando coefficienti a rottura, si ritiene che anche gli elementi in c.a. / acciaio possano essere verificati con i metodi agli Stati Limite.

Secondo la Normativa vigente (D.M. 16.1.1996, punto C.5.4.), "nell'ambito delle costruzioni in muratura è consentito utilizzare strutture di diversa tecnologia per sopportare i carichi verticali, purché l'azione sismica sia integralmente affidata alla parte di muratura (...)". Pertanto, i procedimenti di calcolo che tengano conto del contributo degli elementi in c.a. / acciaio offerto a organismi resistenti prevalentemente murari, dovranno essere valutati criticamente; si ritiene comunque che in alcune circostanze (per esempio, presenza di setti in c.a. fra pareti in muratura, magari previsti da un intervento di consolidamento) non sia opportuno prescindere dalla resistenza degli elementi in c.a. / acciaio, seppur affiancati alle pareti murarie.

#### **2) Piani interamente in c.a. / acciaio.**

Per il piano in c.a. / acciaio, la forza sismica che per la muratura sarebbe calcolata con un coefficiente di struttura:  $\beta = \beta_1 * \beta_2$ ,

viene invece calcolata con il coefficiente di struttura proprio delle strutture in c.a. o acciaio, ossia:

$\beta = 1.4$  se il piano è costituito da tutte pareti in c.a. (valore competente agli edifici 'a pannelli portanti');  $\beta = 1.2$  se, fra le pareti irrigidenti, esiste almeno un pilastro in c.a.;  $\beta = 1$ , se gli elementi resistenti verticali sono tutti pilastri.

La forza sismica viene inoltre incrementata del 50% qualora si tratti dell'ultimo piano, costruito in sopraelevazione (punto C.5.4., Strutture miste, D.M.16.1.1996).

La forza sismica viene ripartita fra gli elementi in c.a. / acciaio proporzionalmente alla loro rigidezza alla traslazione. Le forze risultanti (sforzo normale, forza orizzontale e momento) sono quindi le sollecitazioni competenti all'azione sismica secondo Normativa. Tali forze, essendo calcolate con il coefficiente di struttura appropriato per elementi in c.a., possono essere utilizzate per la verifica elastica (alle tensioni ammissibili) degli elementi stessi in c.a. / acciaio.

Sia per il caso 1) che per il 2), le azioni sugli elementi in c.a. / acciaio dovranno essere utilizzate per verifiche complementari degli elementi stessi.

#### **B.10.2.10. VERIFICA SISMICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI NEL PIANO: D.M. 20.11.1987: PIANI RIGIDI**

Le **azioni sismiche complanari** alle pareti sono valutate prendendo in esame l'edificio nella sua interezza, con i collegamenti operati dai solai in quanto a tale scopo efficaci, considerando di norma trascurabile la rigidezza delle pareti per deformazioni ortogonali al loro piano.

La ripartizione delle forze sismiche al piano tra i maschi murari resistenti deve quindi essere effettuata considerando la più appropriata delle due ipotesi limite:

1. solai infinitamente rigidi nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica orizzontale di calcolo sarà applicata al baricentro delle masse di piano;
2. solai infinitamente deformabili nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica di competenza di ciascun muro sarà determinata proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti su di esso.

Anche per quanto riguarda il comportamento delle pareti resistenti, è possibile prendere in considerazione i due casi estremi di: 1) carico limite determinato dalla resistenza a taglio; 2) carico limite determinato dalla resistenza a pressoflessione.

Nella presente verifica, si esamina:

- l'ipotesi di **Piani Rigidi**, secondo la quale la ripartizione del tagliante di piano tra le varie pareti avviene proporzionalmente alle rispettive rigidezze ed alla posizione rispetto al baricentro delle rigidezze;
- la **Verifica a PressoFlessione** secondo il **D.M. 20.11.1987**.

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $f_k$  (in assenza di determinazione più precisa delle caratteristiche dei materiali, tale valore coincide con quello di  $\sigma_k$  riportato nella Tab.1., punto 3.1.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981);
- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad  $1/3$  della resistenza caratteristica:  $f_{d,f,k}/3$  (secondo le prescrizioni del D.M. 20.11.1987).

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996 al punto B.8.2. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [  $G$  = Carichi Permanenti,  $Q$  = Carichi Accidentali o Variabili,  $S$  = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

La modalità di verifica è del tutto analoga alla verifica a PressoFlessione prevista dal D.M. 20.11.1987 per

l'analisi delle pareti murarie sottoposte alle forze orizzontali dovute al vento.

Si riporta il testo del punto 2.4.2.3.1. del D.M. 20.11.1987, che tratta la verifica dei muri a pressoflessione, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

“Il momento flettente dovuto all'azione orizzontale di calcolo si combina con il carico verticale agente di calcolo  $N_d$ ; la risultante è una forza  $N_d$  con eccentricità longitudinale  $e, b$  riferita al baricentro dell'area della sezione del muro. Tale eccentricità  $e, b$  non deve superare il limite indicato dalla seguente espressione:

$$6 e, b / b \leq 2$$

in cui:

$e, b$ : eccentricità longitudinale del carico  $N_d$ ;

$b$ : lunghezza del muro.

Affinché la sezione del muro risulti verificata occorre che il carico verticale agente di calcolo  $N_d$  sia inferiore al carico di rottura del muro in applicazione della seguente espressione:

$$N_d \leq (F_{i,t} * F_{i,b} * f_{c,d} * A)$$

in cui:

$N_d$ : carico verticale agente di calcolo alla base del muro;

$A$ : area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$f_{c,d}$ : resistenza a compressione di calcolo del muro;

$F_{i,t}$ : coefficiente di riduzione della resistenza in funzione delle eccentricità trasversali (p. 2.2.1.4);

$F_{i,b}$ : coefficiente di riduzione delle resistenze (p. 2.4.1.2.1.)”

In PC.M, la verifica agli stati limite suddetta viene ricondotta ad una verifica tensionale, nella forma:

$$s = N_d / (F_{i,t} * F_{i,b} * A) \leq f_{c,d}$$

Per ogni parete, si riportano i risultati per le due condizioni di carico esaminate nella sezione di base.

La tabella dei risultati, organizzata secondo le due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, viene articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**$e, b_{lim} = 1.3 * B / 6$**  = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.1.2.1.) (questo valore si riferisce a metodi alle Tensioni Ammissibili, e quindi non viene utilizzato in questo contesto, ed è riportato solo a titolo di riferimento);

**$e, b_{lim} = 2 * B / 6$**  = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.2.3.1.) per le CdC agli Stati Limite;

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

1) Stati Limite (1) - 2) Stati Limite (2).

**N** = sforzo normale nella sezione di base;

**M** = momento nella sezione di base;

**$e, tra$**  = eccentricità trasversale;

**$e, b$**  = eccentricità longitudinale dovuta al momento indotto dalle forze orizzontali nella sezione di base;

**$f_{i,t}$**  = coefficiente di riduzione della resistenza del muro per eccentricità trasversale;

**$f_{i,b}$**  = coefficiente di riduzione della resistenza del muro per eccentricità longitudinale;

**s** = tensione di compressione nella sezione di base;

**$f_{c,d}$**  = tensione di riferimento: se la tensione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;

**C<sub>max</sub>** = massimo valore del coefficiente di intensità sismica sostenibile dalla parete. Il minimo fra i valori di  $C_{max}$  corrispondenti a tutte le pareti sottoposte a questa verifica nell'intero edificio, definisce il dominio di resistenza (o coefficiente 'C') competente a questo meccanismo di collasso (azione complanare di pressoflessione per piani rigidi, secondo il D.M. 20.11.1987). Se la verifica è soddisfatta,  $C_{max}$  risulta maggiore o uguale del valore di C adottato per l'analisi sismica (ad esempio: 0.07, nel caso delle consuete analisi in zona sismica di IIa categoria; oppure 0.0455 nel caso degli interventi di ricostruzione secondo la Legge 61/98 con coefficiente C di riferimento 0.07 e coefficiente di sicurezza 0.65).

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

#### B.10.2.11. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: Circ. n°21745 del 30.7.1981: PIANI RIGIDI: METODO POR



Le **azioni sismiche complanari** alle pareti sono valutate prendendo in esame l'edificio nella sua interezza, con i collegamenti operati dai solai in quanto a tale scopo efficaci, considerando di norma trascurabile la rigidezza delle pareti per deformazioni ortogonali al loro piano.

La ripartizione delle forze sismiche al piano tra i maschi murari resistenti deve quindi essere effettuata considerando la più appropriata delle due ipotesi limite:

1. solai infinitamente rigidi nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica orizzontale di calcolo sarà applicata al baricentro delle masse di piano;
2. solai infinitamente deformabili nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica di competenza di ciascun muro sarà determinata proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti su di esso.

Anche per quanto riguarda il comportamento delle pareti resistenti, è possibile prendere in considerazione i due casi estremi di: 1) carico limite determinato dalla resistenza a taglio; 2) carico limite determinato dalla resistenza a pressoflessione.

Nella presente verifica, si esamina:

- l'ipotesi di **Piani Rigidi**, secondo la quale la ripartizione del tagliante di piano tra le varie pareti avviene proporzionalmente alle rispettive rigidezze ed alla posizione rispetto al baricentro delle rigidezze;
- la **Verifica a Taglio** secondo la **Circ. n°21745 del 30.7.1981**.

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $\tau_k$ ;
- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad 1/3 della resistenza caratteristica.

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996 al punto B.8.2. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [  $G$  = Carichi Permanenti,  $Q$  = Carichi Accidentali o Variabili,  $S$  = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

Per l'esecuzione della verifica, si adotta l'ipotesi di comportamento elasto-plastico con controllo della duttilità. Una delle possibili metodologie consiste nell'applicazione del Metodo Por (Appendice alla Circ. n°21745 del 30.7.1981).

### **METODO POR**

Il Metodo Por fornisce una valutazione della resistenza sismica di edifici in muratura, il cui schema resistente è costituito da un insieme di "maschi", cioè di pareti resistenti a taglio.

Viene condotta, per la struttura in muratura, un'analisi statica non lineare, definendo gli stati limite e determinando la massima capacità reattiva del complesso murario, da confrontare con la forza sismica competente all'edificio secondo Normativa.

Le ipotesi fondamentali del Metodo Por sono:

1) i solai sono sufficientemente rigidi nel proprio piano ed efficacemente connessi alle murature. Essi pertanto garantiscono la ripartizione delle forze orizzontali, supposte agenti esclusivamente a livello del piano, fra le diverse pareti murarie proporzionalmente alla loro rigidezza alla traslazione;

2) tutte le pareti murarie seguono una legge di comportamento del materiale del tipo elasto-plastico, ovvero a bilatera, ed il meccanismo di rottura dei maschi murari (cioè gli elementi murari verticali compresi fra le

aperture, tramite i quali si individua il complesso delle pareti resistenti) è del tipo a taglio. Inoltre le sezioni vengono supposte rettangolari e costanti nell'interpiano.

Il Metodo Por non garantisce controlli sulla sicurezza degli elementi strutturali, oltre i maschi murari resistenti a taglio, che siano fonti di possibili collassi come la "trave alta" di collegamento, la connessione fra pareti ortogonali, il collegamento dei solai alle pareti, la possibilità di collasso per crisi flessionale di un maschio snello. Pertanto, nell'impiego del Metodo Por si assume che sia stato messo in atto ogni provvedimento inteso a salvaguardare tutti gli aspetti critici del funzionamento strutturale.

Facoltativamente, è possibile tenere conto, accanto al contributo dovuto alla rigidità delle singole pareti nel proprio piano, anche del contributo trasversale al piano della parete. Tale scelta può giustificarsi con la necessità di mettere in conto, in modo sia pure largamente approssimato, le risorse della struttura non rappresentate nello schema di calcolo, risorse legate al funzionamento scatolare dell'edificio in muratura.

### **Simbologia adottata e procedimento seguito nel programma di calcolo.**

I risultati del Metodo Por relativi al piano 'i' comprendono le due analisi nelle direzioni X e Y, per ognuna delle due combinazioni di carico esaminate. Per ogni direzione e per ogni combinazione, vengono riportate le seguenti grandezze.

#### *Parametri caratteristici del piano.*

Sono dati da:

- peso, cioè carico verticale sismico complessivo di piano;
- momento polare;
- coordinate del baricentro G e del centro delle rigidità R;
- eccentricità di G rispetto a R.

#### *Valori iniziali relativi alle pareti.*

Per ogni parete:

- Area della sezione trasversale ( $A = L_x * L_y$ );
- Rigidità alla traslazione, data da:  
 $K = GA / [ h * ( 1.2 + 2/n * (h/b)^2 ) ]$ ,  $3 \leq n \leq 12$   
dove  $n=12$  nella classica ipotesi di incastro scorrevole in sommità; si ottiene in tal caso la più nota formula:  
 $K = ( GA ) / ( 1.2 * H ) * \{ 1 / [ 1 + ( 1 / 1.2 ) * ( G / E ) * ( H / L )^2 ] \}$ ;
- Tensione tangenziale ultima della muratura sotto l'azione del carico verticale espresso dalla tensione normale  $\sigma_0$ , data da (criterio di Turnsek-Cacovic):  
 $\tau_{ult} = \tau_k * [ 1 + ( \sigma_0 + \sigma_{pv} + \sigma_{po} ) / ( 1.5 * \tau_k ) + ( \sigma_0 + \sigma_{pv} ) * \sigma_{po} / ( 2.25 * \tau_k^2 ) ]^{1/2}$ ;
- Forza ultima a taglio data da:  
 $F_{ult} = L_x * L_y * \tau_{ult}$  (eventualmente moltiplicata per un coefficiente riduttivo pari a 0.9);
- Spostamento al limite elastico  $\delta_0$ .

Seguono gli *Stati Limite* (Elastico, di Fessurazione, Ultimo, di Verifica, di Collasso Prima Parete); per ognuno di essi sono indicati:

#### *come valori di piano:*

- la forza reattiva sviluppata dall'organismo murario  $F_r$ ;
- la rigidità globale;
- lo spostamento del baricentro;
- la forza sismica  $F_s$ ;
- il coefficiente di sicurezza dato dal rapporto tra forza reattiva e forza sismica ( $F_r / F_s$ ), che deve essere non inferiore ad 1.00 affinché la verifica sia soddisfatta;
- il coefficiente "calcolato", cioè il coefficiente di sicurezza del secondo tipo, dato dal rapporto fra la capacità reattiva limite del complesso murario del piano ed il peso verticale totale che compete al piano stesso;
- il coefficiente minimo del secondo tipo secondo Normativa.

*Come valori relativi alle pareti:*

- la forza reattiva competente alla singola parete;
- la rigidezza;
- lo spostamento  $\delta$ ;
- il rapporto ( $\delta / \delta_0$ ) tra spostamento allo Stato Limite considerato e spostamento allo Stato Limite Elastico. In corrispondenza dello Stato Limite Elastico, ovviamente, questo rapporto è uguale a 1.00 per la parete che ne segna il raggiungimento; allo Stato Limite di Fessurazione è uguale ad 1.20, sempre per la parete che ne segna il raggiungimento; si avrà il collasso della parete quando questo rapporto è pari alla duttilità della parete stessa;
- lo Sforzo Normale  $N$  agente nella parete;
- il Momento  $M$  corrispondente alla forza reattiva  $F$ ;
- il Tipo di lesione, con i seguenti valori convenzionali:
  - 10 = 1M: collasso a taglio;
  - 20 = 2M: lesione a taglio senza collasso;
  - 80 = 8M: parete totalmente integra e verificata;
- lo Schema statico, con il seguente valore convenzionale:
  - 0 = parete con incastro scorrevole in sommità.

Acquisiti i dati, il programma determina i valori iniziali di piano (posizione baricentro, centro delle rigidezze, eccentricità e momento polare), quindi si esegue l'analisi separatamente nelle due direzioni X e Y, secondo il seguente procedimento.

Fra tutti i valori dello spostamento del centro delle rigidezze che portano ciascuna parete al proprio limite elastico, viene determinato quello minimo: esso segna la fine del comportamento elastico del complesso murario; si osservi che in questa prima fase le rigidezze che entrano in gioco per risalire dagli spostamenti alle forze sono quelle elastiche iniziali.

A partire dallo Stato Limite Elastico, si innesca un procedimento passo-passo che consente di determinare le capacità reattive del complesso murario al Limite di Fessurazione ed a quello di rottura (Stato Limite Ultimo). Infatti, operando per incrementi prefissati dello spostamento del centro delle rigidezze, si segue il comportamento della struttura passo-passo, fino a che una parete non raggiunge uno spostamento pari ad 1.2 volte il suo spostamento al limite elastico, soglia convenzionale per indicare lo stato limite di fessurazione.

Il procedimento quindi riprende, e lo Stato Limite Ultimo verrà raggiunto quando si avrà nel corso di più iterazioni un aumento della deformazione in presenza di forza reattiva stazionaria oppure decrescente. Lo Stato Limite Ultimo viene quindi identificato con la configurazione corrispondente alla massima forza reattiva sviluppabile dall'organismo murario, prima di iniziare eventualmente a decrescere.

La verifica risulta soddisfatta quando la forza reattiva del generico piano risulta maggiore della somma delle forze di natura sismica agenti superiormente fino a tale piano.

Nel corso del procedimento è possibile definire lo Stato Limite di Collasso Prima Parete all'atto del collasso della prima parete; questo stato può non coincidere con lo Stato Limite Ultimo qualora nelle iterazioni successive, pur essendosi manifestato già quel collasso, la forza reattiva continui a crescere.

Lo Stato Limite di Verifica, infine, ha luogo per definizione qualora la forza reattiva raggiunga, nel corso delle iterazioni, il valore di progetto della forza sismica. Questa configurazione può effettivamente manifestarsi soltanto nel caso in cui la verifica sia soddisfatta (cioè qualora al termine del procedimento il coefficiente di sicurezza risulti non inferiore ad 1.00).

### **Calcolo degli Spostamenti**

In corrispondenza della verifica globale a taglio, ogni parete presenta uno spostamento relativo (nel proprio piano) ed assoluto (determinato anche dagli spostamenti dei piani sottostanti).

Gli spostamenti vengono riportati utilizzando la seguente simbologia:

*come valori di piano:*

**d,rel** = spostamento di piano relativo: è lo spostamento del baricentro;

**d,ass** = spostamento di piano assoluto, ottenuto sommando lo spostamento relativo allo spostamento assoluto sottostante (somma degli spostamenti dei baricentri dei piani sottostanti);

**Rapp.Spost.** = valore massimo, fra tutte le pareti, del rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

*Come valori per le pareti:*

**d** = spostamento relativo della parete nel piano;

**d,ass** = spostamento assoluto della parete nel piano (ottenuto sommando lo spostamento assoluto del piano sottostante allo spostamento relativo della parete nel piano);

**Rapp.Spost.** = rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

### **Azioni su elementi in C.a. / Acciaio**

La presenza di elementi in c.a. / acciaio nell'edificio in muratura può avvenire secondo due modalità:

1) nell'edificio, tutti i piani resistenti sono sostanzialmente in muratura, ma all'interno di uno o più di essi sono presenti pilastri o pareti in c.a. e/o acciaio, che si ritiene svolgano un ruolo statico non secondario nei confronti delle sollecitazioni per carichi sismici;

2) un piano dell'edificio è interamente in c.a. / acciaio. Generalmente si tratta:

- o del piano (semi)interrato, su cui si imposta l'edificio murario sovrastante;

- o di un ultimo piano, realizzato come sopraelevazione di un edificio esistente in muratura.

Il software consente la massima flessibilità, potendo inserire ovunque, nell'edificio, elementi in c.a. / acciaio, anche in piani intermedi o su più piani. Come sempre, il progettista è responsabile della corretta schematizzazione e interpretazione strutturale dell'organismo edilizio, da effettuarsi comunque nel rispetto della Normativa vigente.

#### **1) Elementi resistenti in c.a. / acciaio inseriti fra le pareti murarie.**

Nel caso siano presenti, inseriti nell'organismo murario, elementi verticali (pareti e/o pilastri) in acciaio o in cemento armato, questi vengono considerati agenti in fase elastica fino alla soglia di snervamento, oltre la quale - nel corso del procedimento di calcolo passo-passo - la forza reattiva diviene costante.

Questi elementi concorrono, assieme alle pareti murarie, alla definizione dei vari Stati Limite. In particolare, per pareti e/o pilastri in acciaio e c.a. interessano le azioni applicate in corrispondenza dello Stato Limite di Verifica: esse infatti 'fotografano' la sollecitazione delle strutture quando la forza orizzontale agente è pari al valore di Normativa.

Poiché la forza sismica, per l'edificio in muratura, è calcolata utilizzando coefficienti a rottura, si ritiene che anche gli elementi in c.a. / acciaio possano essere verificati con i metodi agli Stati Limite, utilizzando le sollecitazioni ricavate dal calcolo Por: forza orizzontale F, momento M corrispondente a F nell'ipotesi di doppio incastro, carico verticale N. Il software fornisce tali caratteristiche di sollecitazione (non le verifiche delle sezioni resistenti in c.a./acciaio).

Secondo la Normativa vigente (D.M. 16.1.1996, punto C.5.4.), "nell'ambito delle costruzioni in muratura è consentito utilizzare strutture di diversa tecnologia per sopportare i carichi verticali, purché l'azione sismica sia integralmente affidata alla parte di muratura (...)". Pertanto, i procedimenti di calcolo che tengano conto del contributo degli elementi in c.a. / acciaio offerto a organismi resistenti prevalentemente murari, dovranno essere valutati criticamente; si ritiene comunque che in alcune circostanze (per esempio, presenza di setti in c.a. fra pareti in muratura, magari previsti da un intervento di consolidamento) non sia opportuno prescindere dalla resistenza degli elementi in c.a. / acciaio, seppur affiancati alle pareti murarie.

#### **2) Piani interamente in c.a. / acciaio.**

Per il piano in c.a. / acciaio, la forza sismica che per la muratura sarebbe calcolata con un coefficiente di struttura:  $\beta = \beta_1 * \beta_2$ ,

viene invece calcolata con il coefficiente di struttura proprio delle strutture in c.a. o acciaio, ossia:

$\beta = 1.4$  se il piano è costituito da tutte pareti in c.a. (valore competente agli edifici 'a pannelli portanti');  $\beta = 1.2$

se, fra le pareti irrigidenti, esiste almeno un pilastro in c.a.;  $\beta = 1$ , se gli elementi resistenti verticali sono tutti pilastri.

La forza sismica viene inoltre incrementata del 50% qualora si tratti dell'ultimo piano, costruito in sopraelevazione (punto C.5.4., Strutture miste, D.M.16.1.1996).

La forza sismica viene ripartita fra gli elementi in c.a. / acciaio proporzionalmente alla loro rigidezza alla traslazione. Le forze risultanti (sforzo normale, forza orizzontale e momento) corrispondono dunque allo 'Stato Limite di Verifica' in quanto si tratta esattamente delle sollecitazioni competenti all'azione sismica secondo Normativa. Tali forze, essendo calcolate con il coefficiente di struttura appropriato per elementi in c.a., possono essere utilizzate per la verifica elastica (alle tensioni ammissibili) degli elementi stessi in c.a. / acciaio.

Sia per il caso 1) che per il 2), le azioni sugli elementi in c.a. / acciaio dovranno essere utilizzate per verifiche complementari degli elementi stessi. Se lo Stato Limite di Verifica non è effettivo, esso è stato convenzionalmente assunto pari allo Stato Limite Ultimo, e quindi ad esso competono tali azioni.

#### **B.10.2.12. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: Circ. n°21745 del 30.7.1981: PIANI RIGIDI: METODO PORFLEX**

Le **azioni sismiche complanari** alle pareti sono valutate prendendo in esame l'edificio nella sua interezza, con i collegamenti operati dai solai in quanto a tale scopo efficaci, considerando di norma trascurabile la rigidezza delle pareti per deformazioni ortogonali al loro piano.

La ripartizione delle forze sismiche al piano tra i maschi murari resistenti deve quindi essere effettuata considerando la più appropriata delle due ipotesi limite:

1. solai infinitamente rigidi nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica orizzontale di calcolo sarà applicata al baricentro delle masse di piano;
2. solai infinitamente deformabili nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica di competenza di ciascun muro sarà determinata proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti su di esso.

Anche per quanto riguarda il comportamento delle pareti resistenti, è possibile prendere in considerazione i due casi estremi di: 1) carico limite determinato dalla resistenza a taglio; 2) carico limite determinato dalla resistenza a pressoflessione.

Nella presente verifica, si esamina:

- l'ipotesi di **Piani Rigidi**, secondo la quale la ripartizione del tagliante di piano tra le varie pareti avviene proporzionalmente alle rispettive rigidezze ed alla posizione rispetto al baricentro delle rigidezze;
- la **Verifica a Taglio** secondo la **Circ. n°21745 del 30.7.1981**.

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $\tau_k$ ;
- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad 1/3 della resistenza caratteristica.

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996 al punto B.8.2. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [ G = Carichi Permanenti, Q = Carichi Accidentali o Variabili, S = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

Per l'esecuzione della verifica, si adotta l'ipotesi di comportamento elasto-plastico con controllo della duttilità. Una delle possibili metodologie consiste nell'applicazione del Metodo PorFlex, evoluzione del Metodo Por (F. Braga, M. Dolce: Un metodo per l'analisi di edifici multipiano in muratura antisismici, Proceedings of 6th I.B.Ma.C. Sixth International Brick Masonry Conference, Roma, 16-19 maggio 1982, Edizioni LaterConsult,

Roma, 1982).

### **METODO PORFLEX**

Le caratteristiche operative del Metodo PorFlex sono le medesime del Metodo Por: si tratta di un procedimento di calcolo incrementale, atto alla definizione di una resistenza limite dell'edificio da confrontarsi con la forza sismica secondo Normativa. Rispetto al Por, il PorFlex costituisce un'evoluzione, in quanto si basa sulle seguenti ipotesi:

- 1) La verifica sismica dell'edificio viene eseguita in due direzioni X e Y tra loro ortogonali, ed ogni parete risulta soggetta ad azioni complanari od ortogonali, a seconda che il suo piano medio sia orientato nella direzione del sisma oppure sia ad esso ortogonale.
- 2) I solai sono considerati infinitamente rigidi nel proprio piano.
- 3) Lo spostamento del baricentro, in direzione ortogonale all'azione sismica, si considera nullo.
- 4) Le pareti in muratura forate, cioè con aperture, vengono schematizzate come un assemblaggio di porzioni della trave alta di collegamento (o "strisce") e di maschi murari.
- 5) Gli elementi resistenti (maschi e/o strisce) vengono schematizzati come elementi mono-dimensionali; ciò significa che se ne considera il comportamento a trave, pur tenendo conto della rigidezza tagliante a causa della forma tozza degli elementi stessi.
- 6) Nel Metodo Por, le strisce sono schematizzate infinitamente rigide ed infinitamente resistenti, il che in pratica conduce a considerare elementi significativi del calcolo soltanto i maschi.  
Nel Metodo PorFlex invece le strisce sono infinitamente rigide ma non infinitamente resistenti a taglio e a flessione.
- 7) Nel Metodo Por, il comportamento dei maschi è di tipo elasto-plastico, con collasso a solo taglio.  
Nel Metodo PorFlex, invece, mantenendo la legge elasto-plastica a taglio, è possibile anche la crisi flessionale, ovvero per trazione e compressione.

### **Simbologia adottata e procedimento seguito nel programma di calcolo.**

I risultati del Metodo PorFlex relativi al piano 'i' comprendono le due analisi nelle direzioni X e Y, per ognuna delle due combinazioni di carico esaminate. Per ogni direzione e per ogni combinazione, vengono riportate le seguenti grandezze.

#### *Parametri caratteristici del piano.*

Sono dati da:

- peso, cioè carico verticale sismico complessivo di piano;
- momento polare;
- coordinate del baricentro G e del centro delle rigidezze R;
- eccentricità di G rispetto a R.

#### *Valori iniziali relativi alle pareti.*

Per ogni parete:

- Area della sezione trasversale ( $A = L_x * L_y$ );

- Rigidezza alla traslazione, data da:

$$K = GA / [ h * ( 1.2 + 2/n * (h/b)^2 ) ], \quad 3 \leq n \leq 12$$

dove  $n=12$  nella classica ipotesi di incastro scorrevole in sommità; si ottiene in tal caso la più nota formula:

$$K = ( GA ) / ( 1.2 * H ) * \{ 1 / [ 1 + ( 1 / 1.2 ) * ( G / E ) * ( H / L )^2 ] \};$$

- Tensione tangenziale ultima della muratura sotto l'azione del carico verticale espresso dalla tensione normale

$\sigma_0$ , data da (criterio di Turnsek-Cacovic):

$$\tau_{ult.} = \tau_k * [ 1 + ( \sigma_0 + \sigma_{pv} + \sigma_{po} ) / ( 1.5 * \tau_k ) + ( \sigma_0 + \sigma_{pv} ) * \sigma_{po} / ( 2.25 * \tau_k^2 ) ] ^{1/2};$$

- Forza ultima a taglio data da:

$$F_{ult} = L_x * L_y * \tau_{ult} \text{ (eventualmente moltiplicata per un coefficiente riduttivo pari a 0.9);}$$

- Spostamento al limite elastico  $\delta_0$ .

Seguono gli Stati Limite, per ognuno dei quali sono indicati:

*come valori di piano:*

- la forza reattiva sviluppata dall'organismo murario  $F_r$ ;
- la rigidezza globale;
- lo spostamento del baricentro;
- la forza sismica  $F_s$ ;
- il coefficiente di sicurezza dato dal rapporto tra forza reattiva e forza sismica  $F_r / F_s$ , che deve essere  $\geq 1.00$  affinché la verifica sia soddisfatta;
- il coefficiente di sicurezza nel secondo tipo, dato dal rapporto fra la capacità reattiva limite del complesso murario del piano ed il peso verticale totale che compete al piano stesso, ed il coefficiente minimo del secondo tipo secondo Normativa.

*Come valori relativi alle pareti:*

- la forza reattiva competente alla singola parete;
- la rigidezza;
- lo spostamento  $\delta$ ;
- il rapporto  $( \delta / \delta_0 )$  tra spostamento allo Stato Limite considerato e spostamento al limite elastico. Si avrà il collasso della parete quando questo rapporto è pari alla duttilità della parete stessa.
- lo Sforzo Normale  $N$  agente nella parete;
- il Momento  $M$  corrispondente alla forza reattiva  $F$ ;
- il Tipo di lesione, con i seguenti valori convenzionali:
  - 10 = 1M: collasso a taglio con sezione interamente reagente;
  - 20 = 2M: lesione a taglio senza collasso, con sezione interamente reagente;
  - 30 = 3M: collasso a flessione, in assenza di fessurazioni a taglio;
  - 40 = 4M: lesione a flessione senza collasso, in assenza di fessurazioni a taglio;
  - 60 = 6M: collasso a taglio con sezione parzializzata;
  - 70 = 7M: lesione a flessione con fessurazione a taglio, senza collasso né a flessione né a taglio;
  - 80 = 8M: parete totalmente integra e verificata;
  - 100 = 1S: striscia collassata a taglio;
  - 200 = 2S: striscia collassata a flessione;
  - 300 = 3S: striscia integra;
- lo Schema statico, con i seguenti valori convenzionali:
  - 0 = parete con incastro scorrevole in sommità;
  - 1 = mensola formatasi a sezione interamente reagente;
  - 2 = mensola formatasi a sezione parzializzata;
- la Sezione reagente:
  - 0 = sezione interamente reagente;
  - 1 = sezione parzializzata;
  - 2 = sezione non reagente per ribaltamento della parete;
- la Zona reagente, inferiore alla lunghezza della parete nel caso di sezione trasversale parzializzata;
- le Tensioni tangenziale e di trazione agenti nelle strisce.

Acquisiti i dati, il programma determina i valori iniziali di piano (posizione baricentro, centro delle rigidezze, eccentricità e momento polare), quindi si esegue l'analisi separatamente nelle due direzioni X e Y, secondo il seguente procedimento.

Nel procedimento incrementale dei metodi tipo Por, operando per incrementi prefissati dello spostamento del centro delle rigidezze, si segue il comportamento della struttura passo-passo, valutando la forza reattiva.

Mentre nel Por il procedimento inizia dopo il raggiungimento dello Stato Limite Elastico, calcolato analiticamente, nel PorFlex si innesca fin dall'inizio: infatti, poiché ad ogni passo si devono condurre le verifiche di resistenza a taglio e a flessione di maschi e strisce, aggiornando l'insieme degli elementi resistenti, alcune variazioni significative possono aver luogo già prima del raggiungimento di un 'limite elastico'.

Come nel caso del Por, il PorFlex ha termine quando è stato conseguito il massimo valore della forza reattiva globalmente sviluppabile dall'organismo murario. Questo valore viene assunto come resistenza ultima del piano considerato per una equivalente forza sismica che agisce nella direzione di analisi (cioè la direzione dello spostamento del centro delle rigidezze).

La verifica risulta soddisfatta quando la forza reattiva del generico piano risulta maggiore della somma delle forze di natura sismica agenti superiormente fino a tale piano.

Nel corso del procedimento è possibile definire lo Stato Limite di Collasso Prima Parete all'atto del collasso della prima parete; questo stato può non coincidere con lo Stato Limite Ultimo qualora nelle iterazioni successive, pur essendosi manifestato già quel collasso, la forza reattiva continui a crescere.

Lo Stato Limite di Verifica, infine, ha luogo per definizione qualora la forza reattiva raggiunga, nel corso delle iterazioni, il valore di progetto della forza sismica. Questa configurazione può effettivamente manifestarsi soltanto nel caso in cui la verifica sia soddisfatta (cioè al termine del procedimento il coefficiente di sicurezza risulti  $\geq 1.00$ ).

### **Calcolo degli Spostamenti**

In corrispondenza della verifica globale a taglio, ogni parete presenta uno spostamento relativo (nel proprio piano) ed assoluto (determinato anche dagli spostamenti dei piani sottostanti).

Gli spostamenti vengono riportati utilizzando la seguente simbologia:

*come valori di piano:*

**d,rel** = spostamento di piano relativo: è lo spostamento del baricentro;

**d,ass** = spostamento di piano assoluto, ottenuto sommando lo spostamento relativo allo spostamento assoluto sottostante (somma degli spostamenti dei baricentri dei piani sottostanti);

**Rapp.Spost.** = valore massimo, fra tutte le pareti, del rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

*Come valori per le pareti:*

**d** = spostamento relativo della parete nel piano;

**d,ass** = spostamento assoluto della parete nel piano (ottenuto sommando lo spostamento assoluto del piano sottostante allo spostamento relativo della parete nel piano);

**Rapp.Spost.** = rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

### **Azioni su elementi in C.a. / Acciaio**

La presenza di elementi in c.a. / acciaio nell'edificio in muratura può avvenire secondo due modalità:

1) nell'edificio, tutti i piani resistenti sono sostanzialmente in muratura, ma all'interno di uno o più di essi sono presenti pilastri o pareti in c.a. e/o acciaio, che si ritiene svolgano un ruolo statico non secondario nei confronti delle sollecitazioni per carichi sismici;

2) un piano dell'edificio è interamente in c.a. / acciaio. Generalmente si tratta:

- o del piano (semi)interrato, su cui si imposta l'edificio murario sovrastante;

- o di un ultimo piano, realizzato come sopraelevazione di un edificio esistente in muratura.

Il software consente la massima flessibilità, potendo inserire ovunque, nell'edificio, elementi in c.a. / acciaio, anche in piani intermedi o su più piani. Come sempre, il progettista è responsabile della corretta schematizzazione e interpretazione strutturale dell'organismo edilizio, da effettuarsi comunque nel rispetto della



Normativa vigente.

### 1) Elementi resistenti in c.a. / acciaio inseriti fra le pareti murarie.

Nel caso siano presenti, inseriti nell'organismo murario, elementi verticali (pareti e/o pilastri) in acciaio o in cemento armato, questi vengono considerati agenti in fase elastica fino alla soglia di snervamento, oltre la quale - nel corso del procedimento di calcolo passo-passo - la forza reattiva diviene costante.

Questi elementi concorrono, assieme alle pareti murarie, alla definizione dei vari Stati Limite. In particolare, per pareti e/o pilastri in acciaio e c.a. interessano le azioni applicate in corrispondenza dello Stato Limite di Verifica: esse infatti 'fotografano' la sollecitazione delle strutture quando la forza orizzontale agente è pari al valore di Normativa.

Poiché la forza sismica, per l'edificio in muratura, è calcolata utilizzando coefficienti a rottura, si ritiene che anche gli elementi in c.a. / acciaio possano essere verificati con i metodi agli Stati Limite, utilizzando le sollecitazioni ricavate dal calcolo Por: forza orizzontale F, momento M corrispondente a F nell'ipotesi di doppio incastro, carico verticale N. Il software fornisce tali caratteristiche di sollecitazione (non le verifiche delle sezioni resistenti in c.a./acciaio).

Secondo la Normativa vigente (D.M. 16.1.1996, punto C.5.4.), "nell'ambito delle costruzioni in muratura è consentito utilizzare strutture di diversa tecnologia per sopportare i carichi verticali, purché l'azione sismica sia integralmente affidata alla parte di muratura (...)". Pertanto, i procedimenti di calcolo che tengano conto del contributo degli elementi in c.a. / acciaio offerto a organismi resistenti prevalentemente murari, dovranno essere valutati criticamente; si ritiene comunque che in alcune circostanze (per esempio, presenza di setti in c.a. fra pareti in muratura, magari previsti da un intervento di consolidamento) non sia opportuno prescindere dalla resistenza degli elementi in c.a. / acciaio, seppur affiancati alle pareti murarie.

### 2) Piani interamente in c.a. / acciaio.

Per il piano in c.a. / acciaio, la forza sismica che per la muratura sarebbe calcolata con un coefficiente di struttura:  $\beta = \beta_1 * \beta_2$ ,

viene invece calcolata con il coefficiente di struttura proprio delle strutture in c.a. o acciaio, ossia:

$\beta = 1.4$  se il piano è costituito da tutte pareti in c.a. (valore competente agli edifici 'a pannelli portanti');  $\beta = 1.2$  se, fra le pareti irrigidenti, esiste almeno un pilastro in c.a.;  $\beta = 1$ , se gli elementi resistenti verticali sono tutti pilastri.

La forza sismica viene inoltre incrementata del 50% qualora si tratti dell'ultimo piano, costruito in sopraelevazione (punto C.5.4., Strutture miste, D.M.16.1.1996).

La forza sismica viene ripartita fra gli elementi in c.a. / acciaio proporzionalmente alla loro rigidezza alla traslazione. Le forze risultanti (sforzo normale, forza orizzontale e momento) corrispondono dunque allo 'Stato Limite di Verifica' in quanto si tratta esattamente delle sollecitazioni competenti all'azione sismica secondo Normativa. Tali forze, essendo calcolate con il coefficiente di struttura appropriato per elementi in c.a., possono essere utilizzate per la verifica elastica (alle tensioni ammissibili) degli elementi stessi in c.a. / acciaio.

Sia per il caso 1) che per il 2), le azioni sugli elementi in c.a. / acciaio dovranno essere utilizzate per verifiche complementari degli elementi stessi. Se lo Stato Limite di Verifica non è effettivo, esso è stato convenzionalmente assunto pari allo Stato Limite Ultimo, e quindi ad esso competono tali azioni.

**B.10.2.13. VERIFICA SISMICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI NEL PIANO: Circ. n°21745 del 30.7.1981: PIANI RIGIDI**

Le **azioni sismiche complanari** alle pareti sono valutate prendendo in esame l'edificio nella sua interezza, con i collegamenti operati dai solai in quanto a tale scopo efficaci, considerando di norma trascurabile la rigidezza delle pareti per deformazioni ortogonali al loro piano.

La ripartizione delle forze sismiche al piano tra i maschi murari resistenti deve quindi essere effettuata considerando la più appropriata delle due ipotesi limite:

1. solai infinitamente rigidi nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica orizzontale di calcolo sarà applicata al baricentro delle masse di piano;
2. solai infinitamente deformabili nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica di competenza di ciascun muro sarà determinata proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti su di esso.

Anche per quanto riguarda il comportamento delle pareti resistenti, è possibile prendere in considerazione i due casi estremi di: 1) carico limite determinato dalla resistenza a taglio; 2) carico limite determinato dalla resistenza a pressoflessione.

Nella presente verifica, si esamina:

- l'ipotesi di **Piani Rigidi**, secondo la quale la ripartizione del tagliante di piano tra le varie pareti avviene proporzionalmente alle rispettive rigidezze ed alla posizione rispetto al baricentro delle rigidezze;
- la **Verifica a PressoFlessione** secondo la **Circ. n°21745 del 30.7.1981**.

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $\sigma_k$  (Tab.1., punto 3.1.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981);
- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad  $1/3$  della resistenza caratteristica:  $f_d=f_k/3$  (secondo le prescrizioni del D.M. 20.11.1987).

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996 al punto B.8.2. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [  $G$  = Carichi Permanenti,  $Q$  = Carichi Accidentali o Variabili,  $S$  = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

La verifica consiste nel valutare l'effetto flessionale dell'azione sismica complanare (cioè parallela alla parete), in una delle seguenti due ipotesi, secondo la corrispondente specifica dei Parametri di Calcolo:

- (a) Sezione interamente reagente a trazione e a compressione;
- (b) Sezione parzialmente reagente a trazione.

Nel caso (a) si adotta l'ipotesi di comportamento lineare a sezione interamente reagente; le massime tensioni di trazione e di compressione devono essere confrontate con i rispettivi valori di riferimento.

Nel caso (b) si considera la sezione interamente reagente a patto che la massima tensione di trazione non superi la resistenza a trazione: oltre tale valore, la sezione si parzializza; la massima tensione di trazione resta pari alla resistenza a trazione, mentre la massima tensione di compressione deve essere confrontata con la corrispondente resistenza.

La tabella dei risultati, organizzata secondo le due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, viene articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

1) Stati Limite (1) - 2) Stati Limite (2).

**N** = sforzo normale nella sezione di base;

**M** = momento nella sezione di base;

**e,b** = eccentricità longitudinale dovuta al momento indotto dalle forze orizzontali nella sezione di base;

**eta** = rapporto fra eccentricità e,b e base B;

**z.reag.** = zona reagente. Nel caso di sezione interamente reagente, 'z.reag.' coincide con B, altrimenti assume un valore inferiore a B;

**smax , smin** = tensioni massima e minima calcolate;

**s,Compr** = resistenza di calcolo a compressione: se la tensione di compressione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;

**s,Traz** = resistenza di calcolo a trazione: se l'eventuale tensione di trazione è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;

**C,max** = massimo valore del coefficiente di intensità sismica sostenibile dalla parete. Il minimo fra i valori di C,max corrispondenti a tutte le pareti sottoposte a questa verifica nell'intero edificio, definisce il dominio di resistenza (o coefficiente 'C') competente a questo meccanismo di collasso (azione complanare di pressoflessione per piani rigidi, secondo la Circ. n°21745 del 30.7.1981). Se la verifica è soddisfatta, C,max risulta maggiore o uguale del valore di C adottato per l'analisi sismica (ad esempio: 0.07, nel caso delle consuete analisi in zona sismica di IIa categoria; oppure 0.0455 nel caso degli interventi di ricostruzione secondo la Legge 61/98 con coefficiente C di riferimento 0.07 e coefficiente di sicurezza 0.65).

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

#### B.10.2.14. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO:D.M. 20.11.1987: PIANI DEFORMABILI

Le **azioni sismiche complanari** alle pareti sono valutate prendendo in esame l'edificio nella sua interezza, con i collegamenti operati dai solai in quanto a tale scopo efficaci, considerando di norma trascurabile la rigidezza delle pareti per deformazioni ortogonali al loro piano.

La ripartizione delle forze sismiche al piano tra i maschi murari resistenti deve quindi essere effettuata considerando la più appropriata delle due ipotesi limite:

1. solai infinitamente rigidi nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica orizzontale di calcolo sarà applicata al baricentro delle masse di piano;
2. solai infinitamente deformabili nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica di competenza di ciascun muro sarà determinata proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti su di esso.

Anche per quanto riguarda il comportamento delle pareti resistenti, è possibile prendere in considerazione i due casi estremi di: 1) carico limite determinato dalla resistenza a taglio; 2) carico limite determinato dalla resistenza a pressoflessione.

Nella presente verifica, si esamina:

- l'ipotesi di **Piani Deformabili**, secondo la quale la ripartizione del tagliante di piano tra le varie pareti avviene proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti sulle pareti, indipendentemente dai valori di rigidezza;
- la **Verifica a Taglio** secondo il **D.M. 20.11.1987**.

La resistenza caratteristica a taglio per ogni parete (punto 2.3.2.1 del D.M. 20.11.1987), è data da:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_o$$

dove:

$f_{vko}$  = resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali (per gli edifici esistenti, in assenza di determinazione più precisa delle caratteristiche dei materiali, è possibile equiparare il valore della resistenza  $f_{vko}$  al valore di  $\tau_k$  riportato nella Tab. 2.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981);

$\sigma_o$  = tensione normale media dovuta ai carichi verticali dovuti ai carichi verticali combinati come al punto B.8.2. del D.M. 16.1.1996.

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $f_{vk}$ ;
- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad 1/3 della resistenza caratteristica:  $f_{vd}=f_{vk}/3$  (secondo le prescrizioni del D.M. 20.11.1987).

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996 al punto B.8.2. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [ G = Carichi Permanenti, Q = Carichi Accidentali o Variabili, S = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

La modalità di verifica è del tutto analoga alla verifica a Taglio prevista dal D.M. 20.11.1987 per l'analisi delle pareti murarie sottoposte alle forze orizzontali dovute al vento.

Si riporta il testo del punto 2.4.2.3.2. del D.M. 20.11.1987, che tratta la verifica dei muri a taglio, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

“La resistenza a taglio di calcolo  $f_{vd}$  si valuta mediante la seguente espressione:

$$f_{vd} = f_{vk} / 3$$

in cui  $f_{vk}$  è la resistenza caratteristica a taglio.

Affinché la sezione del muro risulti verificata occorre che l'azione orizzontale di calcolo  $V_d$  sia inferiore alla resistenza a taglio di calcolo  $f_{vd}$  secondo la seguente espressione:

$$V_d \leq \beta \cdot f_{vd} \cdot A$$

in cui:

$V_d$ : azione orizzontale di calcolo agente nel piano del muro;

A: area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$f_{vd}$ : resistenza a taglio di calcolo della muratura;

$\beta$ : coefficiente di parzializzazione della sezione (p.2.4.1.2.2.).”

In PC.M, la verifica agli stati limite suddetta viene ricondotta ad una verifica tensionale, nella forma:

$$t = V_d / (\beta \cdot A) \leq f_{vd}$$

Per ogni parete, si riportano i risultati per le due condizioni di carico esaminate nella sezione scelta per l'esecuzione delle Verifiche a Taglio (vd. 'Parametri di Calcolo'): sommità, mezzeria (metà altezza) o base.

Nei 'Parametri di Calcolo', è possibile che sia stata scelta l'opzione di trascurare la parzializzazione della sezione (assumendo  $\beta = 1$ ).

I risultati vengono organizzati secondo le due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, e riportano:

*come valori di piano:*

- la forza sismica agente sull'organismo murario;
- la rigidezza globale;
- lo spostamento del baricentro.

*Come valori relativi alle pareti:*

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**e<sub>b</sub> lim =  $1.3 \cdot B/6$**  = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.1.2.1.) (questo valore si riferisce a metodi alle Tensioni Ammissibili, e quindi non viene utilizzato in questo contesto, ed è riportato solo a titolo di riferimento);

**e<sub>b</sub> lim =  $2 \cdot B/6$**  = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.2.3.1.) per le CdC agli Stati Limite;

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

1) Stati Limite (1) - 2) Stati Limite (2).

Per la sezione di riferimento, si riportano i valori di:

**N** = sforzo normale;

**T** = taglio;

**M** = momento flettente prodotto dalle azioni sismiche orizzontali;

**ecc.** = eccentricità longitudinale data dal rapporto  $M/N$ ;

**beta** =  $\beta$ , coefficiente di parzializzazione;

**t** = tensione tangenziale calcolata;

**f<sub>vd</sub>** = tensione di riferimento (= resistenza di calcolo a taglio): se la tensione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;

**C<sub>max</sub>** = massimo valore del coefficiente di intensità sismica sostenibile dalla parete. Il minimo fra i valori di **C<sub>max</sub>** corrispondenti a tutte le pareti sottoposte a questa verifica nell'intero edificio, definisce il dominio di resistenza (o coefficiente 'C') competente a questo meccanismo di collasso (azione complanare di taglio per piani deformabili, secondo il D.M. 20.11.1987). Se la verifica è soddisfatta, **C<sub>max</sub>** risulta maggiore o uguale del valore di **C** adottato per l'analisi sismica (ad esempio: 0.07, nel caso delle consuete analisi in zona sismica di IIa categoria; oppure 0.0455 nel caso degli interventi di ricostruzione secondo la Legge 61/98 con coefficiente **C** di riferimento 0.07 e coefficiente di sicurezza 0.65).

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

### **Calcolo degli Spostamenti**

In corrispondenza della verifica globale a taglio, ogni parete presenta uno spostamento relativo (nel proprio piano) ed assoluto (determinato anche dagli spostamenti dei piani sottostanti).

Gli spostamenti vengono riportati utilizzando la seguente simbologia:

*come valori di piano:*

**d<sub>rel</sub>** = spostamento di piano relativo: è lo spostamento del baricentro;

**d<sub>ass</sub>** = spostamento di piano assoluto, ottenuto sommando lo spostamento relativo allo spostamento assoluto sottostante (somma degli spostamenti dei baricentri dei piani sottostanti);

**Rapp.Spost.** = valore massimo, fra tutte le pareti, del rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

*Come valori per le pareti:*

**d** = spostamento relativo della parete nel piano;

**d<sub>ass</sub>** = spostamento assoluto della parete nel piano (ottenuto sommando lo spostamento assoluto del piano sottostante allo spostamento relativo della parete nel piano);

**Rapp.Spost.** = rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

### **Azioni su elementi in C.a. / Acciaio**

La presenza di elementi in c.a. / acciaio nell'edificio in muratura può avvenire secondo due modalità:

1) nell'edificio, tutti i piani resistenti sono sostanzialmente in muratura, ma all'interno di uno o più di essi sono presenti pilastri o pareti in c.a. e/o acciaio, che si ritiene svolgano un ruolo statico non secondario nei confronti delle sollecitazioni per carichi sismici;

2) un piano dell'edificio è interamente in c.a. / acciaio. Generalmente si tratta:

- o del piano (semi)interrato, su cui si imposta l'edificio murario sovrastante;

- o di un ultimo piano, realizzato come sopraelevazione di un edificio esistente in muratura.

Il software consente la massima flessibilità, potendo inserire ovunque, nell'edificio, elementi in c.a. / acciaio, anche in piani intermedi o su più piani. Come sempre, il progettista è responsabile della corretta schematizzazione e interpretazione strutturale dell'organismo edilizio, da effettuarsi comunque nel rispetto della Normativa vigente.

#### **1) Elementi resistenti in c.a. / acciaio inseriti fra le pareti murarie.**

Nel caso siano presenti, inseriti nell'organismo murario, elementi verticali (pareti e/o pilastri) in acciaio o in cemento armato, e qualora sia stato deciso di considerarne il contributo di resistenza, questi concorrono alla ripartizione della forza sismica e quindi è possibile definire le corrispondenti caratteristiche di sollecitazione: forza orizzontale  $F$ , momento  $M$ , carico verticale  $N$  (il software non fornisce le verifiche delle sezioni resistenti in c.a./acciaio). Poiché la forza sismica, per l'edificio in muratura, è calcolata utilizzando coefficienti a rottura, si ritiene che anche gli elementi in c.a. / acciaio possano essere verificati con i metodi agli Stati Limite. Secondo la Normativa vigente (D.M. 16.1.1996, punto C.5.4.), "nell'ambito delle costruzioni in muratura è consentito utilizzare strutture di diversa tecnologia per sopportare i carichi verticali, purché l'azione sismica sia integralmente affidata alla parte di muratura (...)". Pertanto, i procedimenti di calcolo che tengano conto del contributo degli elementi in c.a. / acciaio offerto a organismi resistenti prevalentemente murari, dovranno essere valutati criticamente; si ritiene comunque che in alcune circostanze (per esempio, presenza di setti in c.a. fra pareti in muratura, magari previsti da un intervento di consolidamento) non sia opportuno prescindere dalla resistenza degli elementi in c.a. / acciaio, seppur affiancati alle pareti murarie.

## 2) Piani interamente in c.a. / acciaio.

Per il piano in c.a. / acciaio, la forza sismica che per la muratura sarebbe calcolata con un coefficiente di struttura:  $\beta = \beta_1 * \beta_2$ ,

viene invece calcolata con il coefficiente di struttura proprio delle strutture in c.a. o acciaio, ossia:

$\beta = 1.4$  se il piano è costituito da tutte pareti in c.a. (valore competente agli edifici 'a pannelli portanti');  $\beta = 1.2$  se, fra le pareti irrigidentisi, esiste almeno un pilastro in c.a.;  $\beta = 1$ , se gli elementi resistenti verticali sono tutti pilastri.

La forza sismica viene inoltre incrementata del 50% qualora si tratti dell'ultimo piano, costruito in sopraelevazione (punto C.5.4., Strutture miste, D.M.16.1.1996).

La forza sismica viene ripartita fra gli elementi in c.a. / acciaio proporzionalmente alla loro rigidezza alla traslazione. Le forze risultanti (sforzo normale, forza orizzontale e momento) sono quindi le sollecitazioni competenti all'azione sismica secondo Normativa. Tali forze, essendo calcolate con il coefficiente di struttura appropriato per elementi in c.a., possono essere utilizzate per la verifica elastica (alle tensioni ammissibili) degli elementi stessi in c.a. / acciaio.

Sia per il caso 1) che per il 2), le azioni sugli elementi in c.a. / acciaio dovranno essere utilizzate per verifiche complementari degli elementi stessi.

## B.10.2.15. VERIFICA SISMICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI NEL PIANO: D.M. 20.11.1987: PIANI DEFORMABILI

Le **azioni sismiche complanari** alle pareti sono valutate prendendo in esame l'edificio nella sua interezza, con i collegamenti operati dai solai in quanto a tale scopo efficaci, considerando di norma trascurabile la rigidezza delle pareti per deformazioni ortogonali al loro piano.

La ripartizione delle forze sismiche al piano tra i maschi murari resistenti deve quindi essere effettuata considerando la più appropriata delle due ipotesi limite:

1. solai infinitamente rigidi nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica orizzontale di calcolo sarà applicata al baricentro delle masse di piano;
2. solai infinitamente deformabili nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica di competenza di ciascun muro sarà determinata proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti su di esso.

Anche per quanto riguarda il comportamento delle pareti resistenti, è possibile prendere in considerazione i due casi estremi di: 1) carico limite determinato dalla resistenza a taglio; 2) carico limite determinato dalla resistenza a pressoflessione.

Nella presente verifica, si esamina:

- l'ipotesi di **Piani Deformabili**, secondo la quale la ripartizione del tagliante di piano tra le varie pareti avviene proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti sulle pareti, indipendentemente dai valori di rigidezza;
- la **Verifica a PressoFlessione** secondo il **D.M. 20.11.1987**.

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $f_k$  (in assenza di determinazione più precisa delle caratteristiche dei materiali, tale valore coincide con quello di  $\sigma_k$  riportato nella Tab.1., punto 3.1.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981);
- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad 1/3 della resistenza caratteristica:  $f_d=f_k/3$  (secondo le prescrizioni del D.M. 20.11.1987).

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996 al punto B.8.2. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [ G = Carichi Permanenti, Q = Carichi Accidentali o Variabili, S = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

La modalità di verifica è del tutto analoga alla verifica a PressoFlessione prevista dal D.M. 20.11.1987 per l'analisi delle pareti murarie sottoposte alle forze orizzontali dovute al vento.

Si riporta il testo del punto 2.4.2.3.1. del D.M. 20.11.1987, che tratta la verifica dei muri a pressoflessione, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

“Il momento flettente dovuto all'azione orizzontale di calcolo si combina con il carico verticale agente di calcolo  $N_d$ ; la risultante è una forza  $N_d$  con eccentricità longitudinale  $e$ ,  $b$  riferita al baricentro dell'area della sezione del muro. Tale eccentricità  $e$ ,  $b$  non deve superare il limite indicato dalla seguente espressione:

$$6 e, b / b \leq 2$$

in cui:

$e, b$ : eccentricità longitudinale del carico  $N_d$ ;

$b$ : lunghezza del muro.

Affinché la sezione del muro risulti verificata occorre che il carico verticale agente di calcolo  $N_d$  sia inferiore al carico di rottura del muro in applicazione della seguente espressione:

$$N_d \leq (F_{i,t} \cdot F_{i,b} \cdot f_d \cdot A)$$

in cui:

$N_d$ : carico verticale agente di calcolo alla base del muro;

$A$ : area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$f_d$ : resistenza a compressione di calcolo del muro;

$F_{i,t}$ : coefficiente di riduzione della resistenza in funzione delle eccentricità trasversali (p. 2.2.1.4);

$F_{i,b}$ : coefficiente di riduzione delle resistenze (p. 2.4.1.2.1.)”

In PC.M, la verifica agli stati limite suddetta viene ricondotta ad una verifica tensionale, nella forma:

$$s = N_d / (F_{i,t} \cdot F_{i,b} \cdot A) \leq f_d$$

Per ogni parete, si riportano i risultati per le due condizioni di carico esaminate nella sezione di base.

La tabella dei risultati, organizzata secondo le due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, viene articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**$e, b_{lim} = 1.3 \cdot B/6$**  = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.1.2.1.) (questo valore si riferisce a metodi alle Tensioni Ammissibili, e quindi non viene utilizzato in questo contesto, ed è riportato solo a titolo di riferimento);

**$e, b_{lim} = 2 \cdot B/6$**  = eccentricità longitudinale limite (punto 2.4.2.3.1.) per le CdC agli Stati Limite;

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

1) Stati Limite (1) - 2) Stati Limite (2).

**N** = sforzo normale nella sezione di base;

**M** = momento nella sezione di base;

**$e, tra$**  = eccentricità trasversale;

**e,b** = eccentricità longitudinale dovuta al momento indotto dalle forze orizzontali nella sezione di base;  
**f<sub>i,t</sub>** = coefficiente di riduzione della resistenza del muro per eccentricità trasversale;  
**f<sub>i,b</sub>** = coefficiente di riduzione della resistenza del muro per eccentricità longitudinale;  
**s** = tensione di compressione nella sezione di base;  
**f<sub>d</sub>** = tensione di riferimento: se la tensione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;  
**C<sub>max</sub>** = massimo valore del coefficiente di intensità sismica sostenibile dalla parete. Il minimo fra i valori di C<sub>max</sub> corrispondenti a tutte le pareti sottoposte a questa verifica nell'intero edificio, definisce il dominio di resistenza (o coefficiente 'C') competente a questo meccanismo di collasso (azione complanare di pressoflessione per piani deformabili, secondo il D.M. 20.11.1987). Se la verifica è soddisfatta, C<sub>max</sub> risulta maggiore o uguale del valore di C adottato per l'analisi sismica (ad esempio: 0.07, nel caso delle consuete analisi in zona sismica di IIa categoria; oppure 0.0455 nel caso degli interventi di ricostruzione secondo la Legge 61/98 con coefficiente C di riferimento 0.07 e coefficiente di sicurezza 0.65).

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

#### B.10.2.16. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: Circ. n°21745 del 30.7.1981: PIANI DEFORMABILI

Le **azioni sismiche complanari** alle pareti sono valutate prendendo in esame l'edificio nella sua interezza, con i collegamenti operati dai solai in quanto a tale scopo efficaci, considerando di norma trascurabile la rigidezza delle pareti per deformazioni ortogonali al loro piano.

La ripartizione delle forze sismiche al piano tra i maschi murari resistenti deve quindi essere effettuata considerando la più appropriata delle due ipotesi limite:

1. solai infinitamente rigidi nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica orizzontale di calcolo sarà applicata al baricentro delle masse di piano;
2. solai infinitamente deformabili nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica di competenza di ciascun muro sarà determinata proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti su di esso.

Anche per quanto riguarda il comportamento delle pareti resistenti, è possibile prendere in considerazione i due casi estremi di: 1) carico limite determinato dalla resistenza a taglio; 2) carico limite determinato dalla resistenza a pressoflessione.

Nella presente verifica, si esamina:

- l'ipotesi di **Piani Deformabili**, secondo la quale la ripartizione del tagliante di piano tra le varie pareti avviene proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti sulle pareti, indipendentemente dai valori di rigidezza;
- la **Verifica a Taglio** secondo la **Circ. n°21745 del 30.7.1981**.

La tensione tangenziale ultima a taglio per ogni parete è data da:

$$\tau_u = \tau_k \sqrt{1 + \sigma_o / (1.5 \tau_k)}$$

$\tau_k$  = tensione tangenziale caratteristica in assenza di carichi verticali (per gli edifici esistenti  $\tau_k$  è riportata nella Tab. 2.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981; per gli edifici nuovi si può assumere:  $\tau_k = f_{vk}$ );

$\sigma_o$  = tensione normale media dovuta ai carichi verticali dovuta ai carichi verticali combinati come al punto B.8.2. del D.M. 16.1.1996.

La resistenza a taglio ultima di ogni singola parete è data da:

$$T_u = A \tau_u$$

essendo A l'area della sezione trasversale della parete stessa. Nel software, viene adottato un moltiplicatore cautelativo 0.9 (proposto nell'Appendice alla Circ. n°21745 del 30.7.1981, punto 3.1), qualora sia attivato l'apposito 'Parametro di Calcolo'.

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata



considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $\tau_k$ ;

- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad 1/3 della resistenza caratteristica.

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996 al punto B.8.2. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [  $G$  = Carichi Permanenti,  $Q$  = Carichi Accidentali o Variabili,  $S$  = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

La verifica consiste nel confrontare, per ogni parete, la forza orizzontale complanare competente con la resistenza ultima a taglio

I risultati vengono organizzati secondo le due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, e riportano:

*come valori di piano:*

- la forza sismica agente sull'organismo murario;
- la rigidezza globale;
- lo spostamento del baricentro.

*Come valori relativi alle pareti:*

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

1) Stati Limite (1) - 2) Stati Limite (2).

Per la sezione di riferimento, si riportano i valori di:

**s<sub>vert</sub>** = tensione verticale (coincide con la  $\sigma_o$  della formulazione sopra riportata);

**tau<sub>k</sub>** = tensione tangenziale caratteristica  $\tau_k$ ;

**tau<sub>ult</sub>** = tensione tangenziale ultima  $\tau_u$ ;

**A** = area della sezione trasversale della parete;

**F<sub>u</sub>** = resistenza ultima a taglio;

**F<sub>s</sub>** = forza sismica agente sulla parete;

**Rigidezza** = rigidezza alla traslazione orizzontale della parete;

**Spost** = spostamento della parete dovuto all'azione della forza sismica  $F_s$ ;

**C<sub>max</sub>** = massimo valore del coefficiente di intensità sismica sostenibile dalla parete. Il minimo fra i valori di  $C_{max}$  corrispondenti a tutte le pareti sottoposte a questa verifica nell'intero edificio, definisce il dominio di resistenza (o coefficiente 'C') competente a questo meccanismo di collasso (azione complanare di taglio per piani deformabili, secondo la Circ. n°21745 del 30.7.1981). Se la verifica è soddisfatta,  $C_{max}$  risulta maggiore o uguale del valore di  $C$  adottato per l'analisi sismica (ad esempio: 0.07, nel caso delle consuete analisi in zona sismica di IIa categoria; oppure 0.0455 nel caso degli interventi di ricostruzione secondo la Legge 61/98 con coefficiente  $C$  di riferimento 0.07 e coefficiente di sicurezza 0.65).

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

### **Calcolo degli Spostamenti**

In corrispondenza della verifica globale a taglio, ogni parete presenta uno spostamento relativo (nel proprio piano) ed assoluto (determinato anche dagli spostamenti dei piani sottostanti).

Gli spostamenti vengono riportati utilizzando la seguente simbologia:

*come valori di piano:*

---

**d,rel** = spostamento di piano relativo: è lo spostamento del baricentro;

**d,ass** = spostamento di piano assoluto, ottenuto sommando lo spostamento relativo allo spostamento assoluto sottostante (somma degli spostamenti dei baricentri dei piani sottostanti);

**Rapp.Spost.** = valore massimo, fra tutte le pareti, del rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

*Come valori per le pareti:*

**d** = spostamento relativo della parete nel piano;

**d,ass** = spostamento assoluto della parete nel piano (ottenuto sommando lo spostamento assoluto del piano sottostante allo spostamento relativo della parete nel piano);

**Rapp.Spost.** = rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

### **Azioni su elementi in C.a. / Acciaio**

La presenza di elementi in c.a. / acciaio nell'edificio in muratura può avvenire secondo due modalità:

1) nell'edificio, tutti i piani resistenti sono sostanzialmente in muratura, ma all'interno di uno o più di essi sono presenti pilastri o pareti in c.a. e/o acciaio, che si ritiene svolgano un ruolo statico non secondario nei confronti delle sollecitazioni per carichi sismici;

2) un piano dell'edificio è interamente in c.a. / acciaio. Generalmente si tratta:

- o del piano (semi)interrato, su cui si imposta l'edificio murario sovrastante;

- o di un ultimo piano, realizzato come sopraelevazione di un edificio esistente in muratura.

Il software consente la massima flessibilità, potendo inserire ovunque, nell'edificio, elementi in c.a. / acciaio, anche in piani intermedi o su più piani. Come sempre, il progettista è responsabile della corretta schematizzazione e interpretazione strutturale dell'organismo edilizio, da effettuarsi comunque nel rispetto della Normativa vigente.

#### **1) Elementi resistenti in c.a. / acciaio inseriti fra le pareti murarie.**

Nel caso siano presenti, inseriti nell'organismo murario, elementi verticali (pareti e/o pilastri) in acciaio o in cemento armato, e qualora sia stato deciso di considerarne il contributo di resistenza, questi concorrono alla ripartizione della forza sismica e quindi è possibile definire le corrispondenti caratteristiche di sollecitazione: forza orizzontale  $F$ , momento  $M$ , carico verticale  $N$  (il software non fornisce le verifiche delle sezioni resistenti in c.a./acciaio). Poiché la forza sismica, per l'edificio in muratura, è calcolata utilizzando coefficienti a rottura, si ritiene che anche gli elementi in c.a. / acciaio possano essere verificati con i metodi agli Stati Limite.

Secondo la Normativa vigente (D.M. 16.1.1996, punto C.5.4.), "nell'ambito delle costruzioni in muratura è consentito utilizzare strutture di diversa tecnologia per sopportare i carichi verticali, purché l'azione sismica sia integralmente affidata alla parte di muratura (...)". Pertanto, i procedimenti di calcolo che tengano conto del contributo degli elementi in c.a. / acciaio offerto a organismi resistenti prevalentemente murari, dovranno essere valutati criticamente; si ritiene comunque che in alcune circostanze (per esempio, presenza di setti in c.a. fra pareti in muratura, magari previsti da un intervento di consolidamento) non sia opportuno prescindere dalla resistenza degli elementi in c.a. / acciaio, seppur affiancati alle pareti murarie.

#### **2) Piani interamente in c.a. / acciaio.**

Per il piano in c.a. / acciaio, la forza sismica che per la muratura sarebbe calcolata con un coefficiente di struttura:  $\beta = \beta_1 * \beta_2$ ,

viene invece calcolata con il coefficiente di struttura proprio delle strutture in c.a. o acciaio, ossia:

$\beta = 1.4$  se il piano è costituito da tutte pareti in c.a. (valore competente agli edifici 'a pannelli portanti');  $\beta = 1.2$  se, fra le pareti irrigidite, esiste almeno un pilastro in c.a.;  $\beta = 1$ , se gli elementi resistenti verticali sono tutti pilastri.

La forza sismica viene inoltre incrementata del 50% qualora si tratti dell'ultimo piano, costruito in sopraelevazione (punto C.5.4., Strutture miste, D.M.16.1.1996).

La forza sismica viene ripartita fra gli elementi in c.a. / acciaio proporzionalmente alla loro rigidezza alla traslazione. Le forze risultanti (sforzo normale, forza orizzontale e momento) sono quindi le sollecitazioni competenti all'azione sismica secondo Normativa. Tali forze, essendo calcolate con il coefficiente di struttura appropriato per elementi in c.a., possono essere utilizzate per la verifica elastica (alle tensioni ammissibili) degli

elementi stessi in c.a. / acciaio.

Sia per il caso 1) che per il 2), le azioni sugli elementi in c.a. / acciaio dovranno essere utilizzate per verifiche complementari degli elementi stessi.

#### **B.10.2.17. VERIFICA SISMICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI NEL PIANO: Circ. n°21745 del 30.7.1981: PIANI DEFORMABILI**

Le **azioni sismiche complanari** alle pareti sono valutate prendendo in esame l'edificio nella sua interezza, con i collegamenti operati dai solai in quanto a tale scopo efficaci, considerando di norma trascurabile la rigidità delle pareti per deformazioni ortogonali al loro piano.

La ripartizione delle forze sismiche al piano tra i maschi murari resistenti deve quindi essere effettuata considerando la più appropriata delle due ipotesi limite:

1. solai infinitamente rigidi nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica orizzontale di calcolo sarà applicata al baricentro delle masse di piano;
2. solai infinitamente deformabili nel proprio piano, nel qual caso la forza sismica di competenza di ciascun muro sarà determinata proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti su di esso.

Anche per quanto riguarda il comportamento delle pareti resistenti, è possibile prendere in considerazione i due casi estremi di: 1) carico limite determinato dalla resistenza a taglio; 2) carico limite determinato dalla resistenza a pressoflessione.

Nella presente verifica, si esamina:

- l'ipotesi di **Piani Deformabili**, secondo la quale la ripartizione del tagliante di piano tra le varie pareti avviene proporzionalmente ai carichi verticali direttamente gravanti sulle pareti, indipendentemente dai valori di rigidità;
- la **Verifica a Pressoflessione** secondo la **Circ. n°21745 del 30.7.1981**.

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $\sigma_k$  (Tab.1., punto 3.1.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981);
- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad 1/3 della resistenza caratteristica:  $f_d=f_k/3$  (secondo le prescrizioni del D.M. 20.11.1987).

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996 al punto B.8.2. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [  $G$  = Carichi Permanenti,  $Q$  = Carichi Accidentali o Variabili,  $S$  = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

La verifica consiste nel valutare l'effetto flessionale dell'azione sismica complanare (cioè parallela alla parete), in una delle seguenti due ipotesi, secondo la corrispondente specifica dei Parametri di Calcolo:

- (a) Sezione interamente reagente a trazione e a compressione;
- (b) Sezione parzialmente reagente a trazione.

Nel caso (a) si adotta l'ipotesi di comportamento lineare a sezione interamente reagente; le massime tensioni di trazione e di compressione devono essere confrontate con i rispettivi valori di riferimento.

Nel caso (b) si considera la sezione interamente reagente a patto che la massima tensione di trazione non superi la resistenza a trazione: oltre tale valore, la sezione si parzializza; la massima tensione di trazione resta pari alla resistenza a trazione, mentre la massima tensione di compressione deve essere confrontata con la corrispondente resistenza.

La tabella dei risultati, organizzata secondo le due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, viene articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**CdC** = Condizione di Carico. Con riferimento a quanto sopra riportato, assume i seguenti significati:

1) Stati Limite (1) - 2) Stati Limite (2).

**N** = sforzo normale nella sezione di base;

**M** = momento nella sezione di base;

**e,b** = eccentricità longitudinale dovuta al momento indotto dalle forze orizzontali nella sezione di base;

**eta** = rapporto fra eccentricità e,b e base B;

**z.reag.** = zona reagente. Nel caso di sezione interamente reagente, 'z.reag.' coincide con B, altrimenti assume un valore inferiore a B;

**smax , smin** = tensioni massima e minima calcolate;

**s,Comp** = resistenza di calcolo a compressione: se la tensione di compressione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;

**s,Traz** = resistenza di calcolo a trazione: se l'eventuale tensione di trazione è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta;

**C,max** = massimo valore del coefficiente di intensità sismica sostenibile dalla parete. Il minimo fra i valori di C,max corrispondenti a tutte le pareti sottoposte a questa verifica nell'intero edificio, definisce il dominio di resistenza (o coefficiente 'C') competente a questo meccanismo di collasso (azione complanare di pressoflessione per piani deformabili, secondo la Circ. n°21745 del 30.7.1981). Se la verifica è soddisfatta, C,max risulta maggiore o uguale del valore di C adottato per l'analisi sismica (ad esempio: 0.07, nel caso delle consuete analisi in zona sismica di IIa categoria; oppure 0.0455 nel caso degli interventi di ricostruzione secondo la Legge 61/98 con coefficiente C di riferimento 0.07 e coefficiente di sicurezza 0.65).

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

#### B.10.2.18. VERIFICA SISMICA A TAGLIO PER AZIONI NEL PIANO: VERIFICA SEMPLIFICATA: METODO VeT

- Se un edificio è sufficientemente regolare, sia in pianta che in elevazione, di modo che non siano da temere influenze sensibile dei fenomeni di torsione;  
 - se la sua resistenza globale è determinata da meccanismi di rottura per taglio;  
 - se, infine, le tensioni normali nei setti sono abbastanza uniformi,  
 allora è possibile adottare un criterio di verifica ancor più semplificato del Metodo Por, il Metodo VeT (Verifica a Taglio). Tale metodo consiste nel confrontare ad ogni piano il taglio globale dovuto all'azione sismica con la resistenza globale fornita dalla somma delle resistenze ultime di tutti i maschi murari paralleli alla direzione del sisma.

Secondo la Circ. n°21745 del 30.7.1981, la tensione tangenziale ultima a taglio per ogni parete è data da:

$$\tau_u = \tau_k \sqrt{1 + \sigma_o / (1.5 \tau_k)}$$

$\tau_k$  = tensione tangenziale caratteristica in assenza di carichi verticali (per gli edifici esistenti  $\tau_k$  è riportata nella Tab. 2.1. della Circ. n°21745 del 30.7.1981; per gli edifici nuovi si può assumere:  $\tau_k = f_{vk}$ );

$\sigma_o$  = tensione normale media dovuta ai carichi verticali dovuti ai carichi verticali combinati come al punto B.8.2. del D.M. 16.1.1996.

La resistenza a taglio ultima di ogni singola parete è data da:

$$T_u = A \tau_u$$

essendo A l'area della sezione trasversale della parete stessa. Nel software, viene adottato un moltiplicatore cautelativo 0.9 (proposto nell'Appendice alla Circ. n°21745 del 30.7.1981, punto 3.1), qualora sia attivato l'apposito 'Parametro di Calcolo'.

Per quanto riguarda la resistenza di calcolo, si ricorda che:

- per gli **Edifici Esistenti**, il calcolo delle azioni sismiche viene condotto utilizzando il coefficiente  $\beta_2=2$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è valutata considerando una resistenza caratteristica non ridotta  $\tau_k$ ;
- per gli **Edifici Nuovi**, viene invece usato il coefficiente  $\beta_2=1$ . L'azione di calcolo (la forza sismica) NON viene quindi amplificata, ma la resistenza di calcolo è ridotta ad 1/3 della resistenza caratteristica.

La forza sismica viene calcolata nello spirito del metodo agli **Stati Limite** (punto C.9.5.3. del D.M. 16.1.1996), e quindi si considerano le Combinazioni di Carico previste dallo stesso D.M. 16.1.1996 al punto B.8.2. Secondo tale formulazione, gli effetti sismici (che per gli edifici in muratura NON devono essere amplificati dal coefficiente  $\gamma_E$ , come precisato dalla Circolare n.65/AA.GG. del 10.4.1997), vanno cumulati a quelli degli altri carichi applicando opportuni coefficienti. Ne derivano due condizioni di carico significative [ G = Carichi Permanenti, Q = Carichi Accidentali o Variabili, S = Azione sismica ]:

(1)  $(1.4 \cdot G + 1.5 \cdot Q) + S$  [massimo carico]; (2)  $G + S$  [minimo carico].

La verifica consiste, come detto, nel sommare i tagli resistenti ultimi di tutte le pareti reagenti e confrontare tale capacità globale reattiva con il tagliante sismico.

I risultati del Metodo VeT relativi al piano 'i' comprendono le due analisi nelle direzioni X e Y, per ognuna delle due combinazioni di carico esaminate. Per ogni direzione e per ogni combinazione, vengono riportate le seguenti grandezze:

*come valori di piano:*

- la forza sismica di piano;
- la rigidezza globale;
- la forza reattiva data dalla somma dei tagli ultimi delle pareti;
- il coefficiente di sicurezza dato dal rapporto tra forza reattiva e forza sismica  $F_r / F_s$ , che deve essere  $\geq 1.00$  affinché la verifica sia soddisfatta.

*Come valori relativi alle pareti:*

- Area della sezione trasversale ( $A = L_x \cdot L_y$ );
- Rigidezza alla traslazione, data da:  
 $K = GA / [ h \cdot ( 1.2 + 2/n \cdot (h/b)^2 ) ]$ ,  $3 \leq n \leq 12$   
 dove  $n=12$  nella classica ipotesi di incastro scorrevole in sommità; si ottiene in tal caso la più nota formula:  
 $K = ( GA ) / ( 1.2 \cdot H ) \cdot \{ 1 / [ 1 + ( 1 / 1.2 ) \cdot ( G / E ) \cdot ( H / L )^2 ] \}$ ;
- Tensione tangenziale ultima della muratura sotto l'azione del carico verticale espresso dalla tensione normale  $\sigma_0$ , data da (criterio di Turnsek-Cacovic):  
 $\tau_{ult} = \tau_k \cdot [ 1 + ( \sigma_0 + \sigma_{pv} + \sigma_{po} ) / ( 1.5 \cdot \tau_k ) + ( \sigma_0 + \sigma_{pv} ) \cdot \sigma_{po} / ( 2.25 \cdot \tau_k^2 ) ]^{1/2}$ ;
- Forza ultima a taglio data da:  
 $F_{ult} = L_x \cdot L_y \cdot \tau_{ult}$  (eventualmente moltiplicata per un coefficiente riduttivo pari a 0.9);
- Spostamento al limite elastico  $\delta_0$ .

## B.10.2.19. VERIFICA SISMICA: ATTUAZIONE LEGGE 61/98

### Regioni Umbria e Marche: Interventi di ricostruzione

In accordo con le Direttive Tecniche (D.G.R. Umbria 5180/98 e D.F.G.R. Marche 2153/98, in attuazione della Legge 61/98), il progettista deve dimostrare:

- a) che l'edificio e le sue parti siano in grado di sopportare almeno una azione sismica orizzontale valutata assumendo per il coefficiente di intensità sismica il valore  $C = 0.65$  Crif e per il coefficiente di fondazione il valore  $\varepsilon = F_a$ ;
  - b) l'entità del miglioramento conseguito rispetto alla situazione originale dell'edificio.
- A tal fine il progettista deve calcolare nelle condizioni originarie non danneggiate il valore di C che, inserito nella definizione delle azioni sismiche, porta la struttura al collasso secondo uno dei seguenti meccanismi:
- A. ribaltamento di una intera parete o di una sua parte per rotazione rigida;

B. collasso per pressoflessione del pannello murario per azioni fuori dal piano;

C. crisi dei collegamenti;

D. rottura a taglio della muratura per azioni contenute nel piano medio;

E. collasso per pressoflessione del pannello murario per azioni nel piano.

Il valore di C nelle condizioni originarie viene indicato con  $C_0$ .

Analogamente il progettista deve calcolare nella situazione di progetto (cioè dopo la realizzazione degli interventi) il valore di C che inserito nell'azione sismica orizzontale porta la struttura al collasso secondo uno dei meccanismi considerati.

Tale valore viene indicato con  $C_{fin}$ .

La verifica consiste nel controllare che  $C_{fin} > 0.65 C_{rif}$  e che  $C_{fin} > C_0$ .

In pratica, quindi, si deve calcolare il coefficiente C limite (soglia oltre la quale la verifica non è più soddisfatta = dominio di resistenza) per ognuna delle diverse verifiche eseguite; il minimo fra tutti i C delle verifiche eseguite è il C rappresentativo della configurazione analizzata dell'edificio.

Per ogni verifica, il C viene calcolato procedendo 'a ritroso' (anziché, cioè, valutare l'effetto sulle strutture di una forza data, si deve valutare - data la struttura - quale forza essa è in grado di incassare rimanendo nel campo di verifica soddisfatta).

Una descrizione dettagliata delle metodologie è riportata nel volume: "Provincia di Perugia, Servizio Sismico Nazionale: "Terremoto in Umbria e Marche del 1997. Criteri di calcolo per la progettazione degli interventi. Verifiche sismiche ed esempi per l'applicazione delle Direttive Tecniche D.G.R. Umbria 5180/98 e D.G.R. Marche 2153/98 in attuazione L.61/98", coord. A.De Sortis, G.Di Pasquale, U.Nasini, 1998".

#### **Altri tipi di interventi di consolidamento su edifici esistenti in muratura.**

Il percorso di verifica applicato per gli interventi di ricostruzione in Umbria e Marche può proficuamente essere esteso, nel territorio Nazionale, a qualunque intervento di consolidamento di edificio in muratura, adottando caso per caso per il coefficiente di sicurezza l'appropriato valore (quindi ad esempio non 0.65 ma: 1.00, nel caso di un consueto intervento di adeguamento; oppure, altri valori in dipendenza del grado di miglioramento che si vuole raggiungere).

La verifica dell'edificio, quindi, non consisterà solo nel valutarne la risposta sotto l'azione di input (forza sismica data), ma anche nel definire, per ogni verifica significativa effettuata, quale sia la soglia di resistenza. Conglobando le informazioni prodotte da ogni singola verifica, si individua così la resistenza (cioè il C "soportabile") caratteristica per l'edificio nella configurazione analizzata: al di sotto di questo valore di C, le verifiche saranno sempre soddisfatte; al di sopra, vi sarà almeno un elemento strutturale che per almeno una verifica significativa non soddisfa la verifica di sicurezza.

Oltre ai meccanismi elencati dalle Direttive della Legge 61/98 per il calcolo del C complessivo, vanno ovviamente rispettate anche altre verifiche: quelle Statiche, e - per quanto riguarda la Sismica - la verifica in fondazione.

#### **B.10.2.20. ANALISI SISMICA MURATURA ARMATA**

In questo paragrafo, si riassumono alcune indicazioni già presenti nel volume "La Teoria", insieme a osservazioni varie riguardanti l'analisi sismica degli edifici in muratura armata.

Per l'analisi sismica della muratura armata, vengono considerate le due combinazioni di carico coerenti con il metodo alle tensioni ammissibili: totalità del carico (permanente + accidentale), e solo carico permanente. Infatti, secondo il punto C.5.3. del D.M. 16.1.1996, la struttura in Muratura Armata può essere analizzata con il metodo alle tensioni ammissibili ( $\beta=1.5$  o  $1.4$ , e riferimento - per le verifiche dei materiali - alle tensioni ammissibili della muratura e dell'acciaio).

PC.M verifica quindi le pareti armate combinando le forze sismiche, ottenute dalla ripartizione sulle pareti stesse, con i carichi verticali competenti al solo permanente oppure alla combinazione di (permanente + accidentale), senza ulteriori amplificazioni.

Negli edifici in muratura armata, le forze sismiche - attraverso la ripartizione sulle pareti resistenti - vengono utilizzate per verifiche alle tensioni ammissibili: pertanto, i pesi sismici di piano W utilizzati per il calcolo delle

forze sono determinati, oltre che dalla componente permanente, da una accidentale NON affetta dal coefficiente  $\psi$  per Stati Limite.

Per gli **edifici in muratura armata**, riassumiamo qui di seguito le **principali caratteristiche di elaborazione**, secondo la Normativa vigente e le procedure di PC.M:

**a) punto 1.1., Titolo I, D.M. 20.11.1987:**

" (...) **Le presenti norme non sono applicabili agli edifici realizzati in muratura armata**, ai quali si applica la procedura indicata nell'ultimo comma dell'art. 1 della legge n. 64 del 2 febbraio 1974 e successive modificazioni. (...)

Per gli edifici realizzati in **zona sismica** si applicheranno inoltre le prescrizioni di cui alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, e decreto ministeriale 24 gennaio 1986 e successive modificazioni ed integrazioni."

Secondo il testo del D.M. 20.11.1987, quindi, il rispetto del decreto stesso non sarebbe richiesto per gli edifici in muratura armata; tuttavia, nel punto C.5.1. del D.M. 16.1.1996 si legge:

**punto C.5.1., D.M. 16.1.1996:**

" Gli **edifici in muratura** debbono essere **realizzati nel rispetto del decreto ministeriale 20 novembre 1987**, "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento" ed eventuali sue successive modifiche ed integrazioni, ove non in contrasto con le presenti norme. In particolare, alle predette norme tecniche deve farsi riferimento per ciò che concerne le caratteristiche fisiche, meccaniche e geometriche degli elementi resistenti naturali e artificiali, nonché per i relativi controlli di produzione e di accettazione in cantiere.

**Sia per gli edifici in muratura ordinaria**, di cui al seguente punto C.5.2., **che per quelli in muratura armata**, di cui al seguente punto C.5.3., debbono inoltre essere soddisfatti i seguenti requisiti: (...)

e nella Circolare esplicativa:

**punto C.5.1., Circ. 65/AA.GG. del 10.4.1997:**

" Le prescrizioni qui contenute **si applicano a tutti gli edifici**, sia in muratura ordinaria sia in muratura armata. (...)

**Anche per la muratura armata**, oltre alle norme per le costruzioni sismiche, sono da osservare, per quanto applicabili, le norme di cui al **decreto 20 novembre 1987**. (...)

Agli edifici in muratura armata si applicano quindi anche le Verifiche Statiche: a Compressione, a PressoFlessione e a Taglio previste dal D.M. 20.11.1987.

La specifica 'per quanto applicabili' riportate nella Circ.65/AA.GG. del 10.4.1997 potrebbe essere riferita alla diversa modalità di verifica a taglio e a pressoflessione per le condizioni di carico statiche (azione del vento, D.M. 20.11.1987) e per le sismiche (D.M. 16.1.1996, C.5.3.): ne deriva infatti che mentre sotto sisma le pareti si comportano come pannelli pressoinflessi con parzializzazione delle sezioni trasversali e assorbimento delle sollecitazioni a trazione da parte dell'armatura, invece sotto l'azione del vento la parete viene considerata come se fosse in muratura ordinaria.

Probabilmente, la via migliore sarebbe applicare anche alle verifiche a taglio e a pressoflessione statiche la metodologia seguita per il caso sismico. In attesa di indicazioni chiarificatrici, si consiglia di valutare con cautela un'eventuale 'Verifica NON Soddisfatta' di una pressoflessione statica secondo il D.M. 20.11.1987 nei confronti di una contemporanea verifica sismica soddisfatta secondo il D.M. 16.1.1996: poiché l'azione sismica è generalmente superiore a quella dovuta al vento, si potrebbe ragionevolmente ritenere che la verifica a taglio e a pressoflessione alle tensioni ammissibili sotto sisma sia comprensiva anche della verifica a vento, indipendentemente dal risultato numerico della 'Verifica a PressoFlessione' e della 'Verifica a Taglio' statiche condotte sotto il vento secondo il D.M. 20.11.1987. Attenzione però alla Tensione ammissibile: sotto sollecitazioni sismiche, viene utilizzato per la muratura un valore doppio rispetto alle condizioni di carico statiche (punto C.5.3.6. del D.M. 16.1.1996), e quindi per un confronto corretto con le verifiche statiche da vento a pressoflessione occorre: a) fare riferimento alle condizioni di carico alle tensioni ammissibili anche per il vento; b) controllare che l'ordine di grandezza delle risultanti del vento ai vari piani sia non superiore alla metà delle forze sismiche.

Resta fermo che deve in ogni caso essere soddisfatta la 'Verifica a Compressione' del D.M. 20.11.1987, in direzione ortogonale alla parete, per la quale la normale armatura prevista ai bordi del pannello non svolge ruolo significativo se non quello di assicurare vincoli laterali alla parete.

PC.M, comunque, consente la trattazione dell'edificio in muratura armata anche come se fosse contemporaneamente un edificio in muratura ordinaria, sviluppando tutte le verifiche (statiche e sismiche) che verrebbero richieste in tal caso.

Questa impostazione permette di fare confronti fra i risultati delle verifiche ordinarie e quelli delle verifiche specifiche della muratura armata, e di tenere sotto controllo, insieme alle verifiche sismiche specifiche della muratura armata, anche tutte le altre verifiche che dovrebbero essere condotte se l'edificio fosse realizzato in muratura ordinaria.

**b)** Per poter condurre comunque anche i calcoli sismici dell'edificio, rivisto come se fosse in muratura ordinaria (e quindi, ad esempio, utilizzare i metodi tradizionali di analisi globale a taglio), i **coefficienti  $\beta$  in input** nella scheda 'Analisi Sismica' dei Parametri di Calcolo **devono** essere lasciati uguali ai valori che normalmente assumono per gli edifici nuovi:  $\beta_1=2.00$  e  $\beta_2=1.00$ . PC.M, in ogni caso, durante la fase di calcolo a muratura armata, provvede ad utilizzare l'apposito valore di  **$\beta$  (1.5, o 1.4 se è prevista l'armatura diffusa aggiuntiva)**. Nella stampa in output delle **"Forze Sismiche"** sono comunque riportati tutti i valori delle forze, sia derivanti dall'uso dei coefficienti di combinazione  $\psi$  agli Stati Limite, sia considerando invece i carichi accidentali non affetti da  $\psi$  (scelta coerente con l'uso dei metodi alle Tensioni Ammissibili): questo secondo caso, per l'edificio in muratura armata, è poi suddiviso in due schemi:

I) corrispondente al valore di  $\beta$  in input (che, come si è detto, è normalmente impostato come per edifici nuovi in muratura ordinaria);

II) corrispondente al  $\beta=1.5$  o  $1.4$  come effettivamente utilizzato per lo svolgimento delle verifiche specifiche della muratura armata.

**c)** Secondo la Normativa, **alcune pareti devono essere escluse dal calcolo sismico**: sono quelle caratterizzate da: snellezza  $(H/L) > 4$ , o aventi spessore  $s < (H/14)$  o  $s < 24$  cm.: per evidenziarle graficamente, utilizzare il comando Seleziona del menu Modifica della finestra Dati Pareti. La loro esclusione dal calcolo (nel rispetto del punto C.5.3.4. del D.M. 16.1.1996) avviene comunque **automaticamente** durante la fase di analisi a muratura armata.

**d)** Se nei coefficienti sismici (scheda Analisi Sismica, Parametri di Calcolo) si sceglie un **coefficiente di protezione  $I > 1$** , automaticamente viene attivata l'opzione **'Armatura diffusa aggiuntiva'** (scheda 'Muratura Armata', Parametri di Calcolo)

**e)** PC.M adotta automaticamente, per il **Dimensionamento Semplificato degli edifici in muratura armata**, le prescrizioni indicate al punto C.5.3.5. del D.M. 16.1.1996:

"(...) Per gli edifici in muratura armata l'**analisi** delle sollecitazioni sismiche e la verifica degli elementi resistenti, di cui ai comma precedenti e' **obbligatoria** quando l'altezza dell'edificio superi i limiti previsti al punto C.2. per le costruzioni in muratura ordinaria. Negli altri casi e' sufficiente che siano rispettate:

a) le prescrizioni di cui alle lettere a), b), e), g), h), i), l) e m) del punto C.5.2., con le seguenti modifiche: la **distanza massima** di cui alla lettera e) non deve superare m 7, con **snellezza dei setti** murari comunque non superiore a 14; il **coefficiente 0,50** riduttivo dell'area resistente totale di piano, che compare nell'espressione della tensione normale riportata alla lettera l), e' **elevato a 0,60**; i limiti contenuti nelle **tabelle 4a e 4b** possono essere ridotti **sottraendo 1,5** a ciascuno dei valori percentuali ivi indicati;  
(...)"

**f)** Per il calcolo del **momento sismico**, negli edifici in muratura armata è possibile utilizzare lo schema di "Mensole Accoppiate" (Parametri di Calcolo, scheda "Parametri Vari (1)", "Per Azioni Orizzontali"), secondo il quale le pareti a tutt'altezza dell'edificio vengono riviste come 'mensole', tra loro collaboranti, incastrate alla fondazione e con estremo libero alla sommità dell'edificio.

In tal caso, la componente flessionale della rigidezza viene assunta automaticamente pari a  $3 (3EJ/h^3)$ ; diversamente, si utilizza il valore competente al vincolo flessionale specificato nei Dati Pareti.

In entrambi i casi, le altezze  $h$  utilizzate nel calcolo della rigidezza sono le altezze di interpiano: questa scelta può sembrare incoerente con il caso di schema a 'Mensole Accoppiate', dove potrebbe essere considerata



l'altezza complessiva della parete (quindi, al piano 1 di calcolo - normalmente, il piano terra - un'altezza coincidente con l'intera altezza dell'edificio). In realtà, per trattare casi di edifici aventi configurazioni plano-altimetriche non perfettamente corrispondenti tra i vari piani (per esempio: corpi volumetrici superiori arretrati rispetto ai sottostanti, fondazioni su piani sfalsati), è preferibile adottare come riferimento, per ogni parete, l'altezza della parete al piano di calcolo considerato. Trattandosi di azioni complanari, viene utilizzata l'altezza di calcolo 'H calc' come specificata in input nei Dati Pareti.

Si osservi che qualora l'edificio sia perfettamente regolare (piane coincidenti ai vari piani, fondazioni tutte alla stessa quota) la ripartizione dell'azione sismica effettuata sulle pareti in base alle rigidezze, comporta gli stessi risultati sia facendo riferimento all'altezza totale della parete sia a quella di interpiano (le altezze variano tutte secondo la stessa legge e quindi conducono a coefficienti di ripartizione coincidenti).

Per un certo piano, il tagliante sismico è dato dalla sommatoria delle forze sismiche di piano sovrastanti, fino al piano considerato. L'azione sismica viene ripartita tra le pareti, generando una forza orizzontale complanare alla parete. Nello schema di 'Mensole Accoppiate', il momento sismico competente al piano è calcolato come momento prodotto dalle forze sismiche sovrastanti; l'azione flessionale nelle pareti si ottiene dalla ripartizione di tale momento.

Nel caso degli edifici su **piani sfalsati**, nel calcolo del momento agente a un certo piano, per i piani superiori si escluderanno le parti di carico fondato superiormente. Infatti, l'azione sismica è proporzionale alle masse oscillanti e quindi è possibile ipotizzare che i carichi fondati superiormente non influiscano sulle sollecitazioni trasmesse ai piani inferiori.

Nel caso che non sia scelto lo schema di "Mensole Accoppiate", la parete viene vista flessionalmente vincolata nel piano, con schema corrispondente al dato sul vincolo flessionale specificato nei Dati Pareti.

Questa possibilità di diversa schematizzazione è presente, in PC.M, anche nel calcolo a **Vento** dell'edificio (analisi statica secondo D.M. 20.11.1987). In tal caso, per edifici su piani sfalsati non vengono operati riduzioni dovute a parti superiori fondate, in quanto l'azione non è proporzionale alle masse ma alle superfici direttamente investite: questa scelta di PC.M è a favore di sicurezza, in quanto sarebbe possibile anche ipotizzare che l'azione del vento corrispondente a zone di edificio fondate superiormente si scarichi sulle fondazioni superiori senza influire sulle sollecitazioni dei piani sottostanti.

#### **B.10.2.21. ANALISI SISMICA MURATURA ARMATA: VERIFICHE A TAGLIO E A PRESSOFLESSIONE**

La muratura semplice, specialmente se sottoposta a sollecitazioni cicliche, presenta un comportamento sostanzialmente fragile e scarsa resistenza a trazione: l'inserimento di armature metalliche aumenta sia la duttilità sia la resistenza a taglio e a flessione delle pareti murarie. Le armature vengono accoppiate alla muratura seguendo i criteri usualmente adottati per le strutture in cemento armato, ossia affidando all'acciaio gli sforzi di trazione che la muratura non è in grado di sostenere.

Le Verifiche a PressoFlessione prevedono quindi la possibilità di parzializzazione delle sezioni trasversali delle pareti murarie, con definizione di una zona reagente a compressione (dove si controlla il massimo valore della tensione nella muratura) e di una zona tesa dove le armature sono soggette a trazione. Gli algoritmi di calcolo utilizzati derivano dai corrispondenti del cemento armato, ovviamente adottando le caratteristiche meccaniche e fisiche della muratura anziché del calcestruzzo.

Le Verifiche a Taglio possono essere svolte considerando la tensione tangenziale media prodotta dalla forza orizzontale agente sulla sezione trasversale, e confrontandola con il valore ammissibile a taglio, determinato a partire dalla tensione media verticale secondo le formulazioni del D.M. 20.11.1987.

Per la definizione delle tensioni ammissibili a compressione e a taglio da adottare per la muratura nell'ambito delle verifiche sismiche, è consentito raddoppiare i valori previsti dal D.M. 20.11.1987.

##### **a) Verifiche a Taglio**

Nelle Verifiche a Taglio, la forza sismica competente alla parete (derivante dalla ripartizione del tagliante di piano in base alle rigidezze) viene applicata sulla sezione trasversale, ai fini del calcolo della tensione tangenziale media.

La tensione di calcolo viene confrontata con il valore ammissibile a taglio, determinato a partire dalla tensione media verticale secondo le formulazioni del D.M. 20.11.1987:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_n$$

dove:  $f_{vko}$  = resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali;  $\sigma_n$  = tensione media di compressione dovuta al carico verticale (data dallo sforzo normale diviso l'area reagente a compressione);

$$\tau_{amm} = 2 * f_{vk} / 5 = f_{vk} / 2.5$$

In PC.M la verifica a Taglio viene condotta nella sezione scelta nei 'Parametri di Calcolo', scheda 'Analisi Sismica', 'Verifiche a Taglio: Sezione di calcolo': sommità, mezzeria (metà altezza) o base. La tensione media di compressione viene valutata dividendo lo sforzo normale per l'area reagente a compressione. Nei 'Parametri di Calcolo', è possibile che sia stata scelta l'opzione di trascurare la parzializzazione della sezione: in tal caso, l'area reagente viene fatta coincidere a priori con l'intera sezione trasversale.

Per ognuna delle due combinazioni di carico alle tensioni ammissibili analizzate, e per ognuna delle due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, la tabella dei risultati viene articolata nei seguenti parametri:

*come valori di piano:*

- la forza sismica agente sull'organismo murario;
- la rigidezza globale;
- lo spostamento del baricentro.

*Per quanto riguarda le pareti:*

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**F, M, N** = sollecitazioni di calcolo: forza orizzontale, momento, sforzo normale;

**Area Reagente** = area di sezione trasversale reagente a compressione (definita dal prodotto dell'asse neutro per lo spessore della parete); l'area reagente può essere a priori coincidente con l'intera sezione trasversale qualora nella verifica a taglio si prescindere dalla parzializzazione;

**s<sub>n,med</sub>** = tensione media a compressione nella muratura, calcolata sull'area reagente;

**t** = tensione tangenziale calcolata sull'area reagente;

**t<sub>amm</sub>** = valore ammissibile di riferimento per la tensione tangenziale: se la tensione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta.

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

### **Calcolo degli Spostamenti**

In corrispondenza della verifica globale a taglio, ogni parete presenta uno spostamento relativo (nel proprio piano) ed assoluto (determinato anche dagli spostamenti dei piani sottostanti).

Gli spostamenti vengono riportati utilizzando la seguente simbologia:

*come valori di piano:*

**d<sub>rel</sub>** = spostamento di piano relativo: è lo spostamento del baricentro;

**d<sub>ass</sub>** = spostamento di piano assoluto, ottenuto sommando lo spostamento relativo allo spostamento assoluto sottostante (somma degli spostamenti dei baricentri dei piani sottostanti);

**Rapp.Spost.** = valore massimo, fra tutte le pareti, del rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

*Come valori per le pareti:*

**d** = spostamento relativo della parete nel piano;

**d<sub>ass</sub>** = spostamento assoluto della parete nel piano (ottenuto sommando lo spostamento assoluto del piano sottostante allo spostamento relativo della parete nel piano);

**Rapp.Spost.** = rapporto fra lo spostamento assoluto della parete e la sua altezza di base rispetto alle fondazioni.

**Azioni su elementi in C.a. / Acciaio**

La presenza di elementi in c.a. / acciaio nell'edificio in muratura armata può avvenire secondo due modalità:

1) nell'edificio, tutti i piani resistenti sono sostanzialmente in muratura, ma all'interno di uno o più di essi sono presenti pilastri o pareti in c.a. e/o acciaio, che si ritiene svolgano un ruolo statico non secondario nei confronti delle sollecitazioni per carichi sismici;

2) un piano dell'edificio è interamente in c.a. / acciaio. Generalmente si tratta:

- o del piano (semi)interrato, su cui si imposta l'edificio murario sovrastante;
- o di un ultimo piano, realizzato come sopraelevazione di un edificio esistente in muratura.

Il software consente la massima flessibilità, potendo inserire ovunque, nell'edificio, elementi in c.a. / acciaio, anche in piani intermedi o su più piani. Come sempre, il progettista è responsabile della corretta schematizzazione e interpretazione strutturale dell'organismo edilizio, da effettuarsi comunque nel rispetto della Normativa vigente.

**1) Elementi resistenti in c.a. / acciaio inseriti fra le pareti murarie.**

Nel caso siano presenti, inseriti nell'organismo murario, elementi verticali (pareti e/o pilastri) in acciaio o in cemento armato, e qualora sia stato deciso di considerarne il contributo di resistenza, questi concorrono alla ripartizione della forza sismica e quindi è possibile definire le corrispondenti caratteristiche di sollecitazione: forza orizzontale  $F$ , momento  $M$ , carico verticale  $N$  (il software non fornisce le verifiche delle sezioni resistenti in c.a./acciaio). Poiché la forza sismica, per l'edificio in muratura armata, è utilizzata per verifiche nell'ambito del metodo delle Tensioni Ammissibili, si ritiene che tale metodo possa essere utilizzato anche per le verifiche degli elementi in c.a. / acciaio.

**2) Piani interamente in c.a. / acciaio.**

Per il piano in c.a. / acciaio, la forza sismica viene calcolata con il coefficiente di struttura proprio delle strutture in c.a. o acciaio, ossia:

$\beta = 1.4$  se il piano è costituito da tutte pareti in c.a. (valore competente agli edifici 'a pannelli portanti');  $\beta = 1.2$  se, fra le pareti irrigidenti, esiste almeno un pilastro in c.a.;  $\beta = 1$ , se gli elementi resistenti verticali sono tutti pilastri.

La forza sismica viene inoltre incrementata del 50% qualora si tratti dell'ultimo piano, costruito in sopraelevazione (punto C.5.4., Strutture miste, D.M.16.1.1996).

La forza sismica viene ripartita fra gli elementi in c.a. / acciaio proporzionalmente alla loro rigidezza alla traslazione. Le forze risultanti (sforzo normale, forza orizzontale e momento) sono quindi le sollecitazioni competenti all'azione sismica secondo Normativa. Tali forze, calcolate con il coefficiente di struttura appropriato per elementi in c.a., possono essere utilizzate per la verifica elastica (alle tensioni ammissibili) degli elementi stessi in c.a. / acciaio.

Sia per il caso 1) che per il 2), le azioni sugli elementi in c.a. / acciaio dovranno essere utilizzate per verifiche complementari degli elementi stessi.

**b) Verifiche a PressoFlessione**

Nelle Verifiche a PressoFlessione, i momenti sismici ed i carichi verticali sono utilizzati per verifiche alle tensioni ammissibili nella muratura e nell'acciaio condotte secondo gli algoritmi consueti del cemento armato, ma facendo ovviamente riferimento alle caratteristiche meccaniche e fisiche della muratura anziché del calcestruzzo. Il coefficiente di omogeneizzazione sarà quindi pari al rapporto fra modulo di elasticità dell'acciaio ed il corrispondente valore per la muratura (valutato generalmente in base alle relazioni note dal D.M.

20.11.1987:  $E=1000 \cdot f_k$ ).

PC.M esegue la verifica di pareti con armature verticali, simmetricamente disposte, con l'ipotesi di acciaio FeB44K controllato (tensione ammissibile = 2600 kg/cmq). La forza sismica agente su ogni parete viene ricavata ripartendo, in base alle rigidezze, la forza sismica di piano, calcolata con  $\beta=1.4$  o 1.5 a seconda della presenza o meno di armatura diffusa aggiuntiva.

La verifica a PressoFlessione viene eseguita nella sezione di base.

Per ognuna delle due combinazioni di carico alle tensioni ammissibili analizzate, e per ognuna delle due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, vengono riportate le coordinate del baricentro e del centro delle rigidezze; la tabella dei risultati viene poi articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**Rigid. K** = rigidezza alla traslazione della parete;

**n° d. % coprif.** = armatura, definita da: numero di ferri, diametro dei ferri simmetrici, percentuale di armatura rispetto alla sezione trasversale della parete, copriferro (distanza dell'armatura dal bordo della parete);

**F, M, N** = sollecitazioni di calcolo: forza orizzontale, momento, sforzo normale;

**s,m , s,f** = tensioni nella muratura e nell'acciaio per verifica a PressoFlessione;

**s,amm** = valori ammissibili di riferimento per le tensioni nella muratura e nell'acciaio;

**x** = posizione dell'asse neutro (individua la lunghezza di zona reagente a compressione).

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

#### **B.10.2.22. RISULTATI PER ELEMENTI IN C.A. / ACCIAIO**

Le forze agenti sugli elementi in cemento armato o acciaio vengono elaborate da PC.M (visualizzazione grafica e su testo) per qualunque caso di ripartizione delle forze orizzontali.

In corrispondenza delle diverse verifiche, sono riportati - ai paragrafi precedenti - le osservazioni riguardanti gli elementi in c.a./acciaio, sia nel caso di strutture miste sia nel caso di piani interamente in c.a. / acciaio.

Nelle stampe, questi elementi vengono identificati con un asterisco blu \* accanto al numero progressivo, e risultano così riconoscibili anche se frapposti a pareti di altre tipologie (ad esempio, sarà facilmente identificabile un pilastro in c.a. rispetto a maschi murari presenti nello stesso piano).

## B.11. GRAFICA

Le opzioni grafiche di PC.M sono numerose, e si riferiscono alla rappresentazione di dati e di risultati delle analisi. In particolare, vengono eseguite importanti post-elaborazioni (ad esempio, il quadro delle lesioni sismiche).

La finestra grafica 2D presenta sempre il proprio piano corrente.

La finestra grafica 3D ha un piano corrente associato, ma nel caso che il controllo 'Globale' (vd. paragrafo B.11.7.) interno alla finestra sia attivato, viene comunque rappresentato l'edificio nella sua globalità.



In un dato momento, le finestre grafiche 2D e 3D possono essere entrambe visualizzate, ma solo una delle due è la finestra attiva: la si riconosce dal bordo del titolo in evidenza (l'altra lo ha a luminosità ridotta).

L'icona della finestra grafica può essere verde o rossa a seconda che la finestra sia attiva e coerente con i dati attuali, o meno. Generalmente, nel caso di icona rossa il disegno deve essere rigenerato: ciò avviene non appena si fa clic sulla finestra da aggiornare.

Si osservi che ogni finestra (grafica o di testo) di PC.M ha il proprio piano corrente, indipendente dalle altre finestre (grafiche o di testo). Tuttavia, per coerenza della rappresentazione rispetto ai dati visualizzati, il piano corrente grafico 2D e 3D è collegato al piano delle tabelle di inserimento dati qualora queste siano le finestre attive: ad esempio, se mentre l'utente inserisce le pareti di un piano si sposta al piano superiore, anche la corrispondente rappresentazione grafica subisce tale spostamento in modo automatico.

Le due finestre grafiche 2D e 3D presentano menu comuni, illustrati ai paragrafi seguenti.

Ognuna delle due finestre 2D e 3D presenta propri pulsanti grafici, le cui funzionalità sono descritte rispettivamente al paragrafo B.11.6.: Controlli 2D, e al paragrafo B.11.7.: Controlli 3D.

Durante la visualizzazione di un particolare '**tipo di disegno**' (selezionabile rapidamente attraverso il pulsante grafico  della barra degli strumenti) è possibile cambiare vari '**parametri di disegno**' (opzioni selezionabili rapidamente utilizzando il pulsante grafico  della barra degli strumenti): ad esempio, se il 'tipo di disegno' è la pianta di un piano del Metodo Por (Stati Limite), è possibile attivare o meno alcuni parametri che arricchiscono la rappresentazione (p.es. le forze reattive sviluppate dalle pareti, oppure il disegno del baricentro e del centro delle rigidità, ecc.)

Per la descrizione della finestra di dialogo 'Tipi di disegno', si rimanda al paragrafo B.11.1.1.

Per la descrizione della finestra di dialogo 'Parametri di Disegno', si rimanda al paragrafo B.11.1.2.

I comandi del menu Immagine provvedono alla **gestione dell'immagine** (zoom, pan, ecc.)

Attraverso la **Barra degli Strumenti** (vd. paragrafo B.3.4.1.) possono essere immediatamente gestiti i comandi grafici più frequentemente utilizzati (operazioni di zoom, pan, ecc.).

Ad ogni disegno è associata una **Legenda**, visualizzabile nell'apposita finestra (vd. paragrafo B.11.8.).


**Tutti i disegni** (dati, statici e sismici) caratterizzati dai parametri correnti, **sono esportabili su file DXF** per una successiva rielaborazione da programmi di CAD. E' inoltre possibile specificare la scala dei files DXF in output.


La finestra grafica 3D opera per **superfici parzialmente nascoste**: i solidi rappresentativi delle pareti vengono disegnati soltanto con le facce visibili rispetto al punto di vista corrente.

PC.M può inoltre gestire le superfici nascoste fra pareti distinte: allo scopo, è presente un'opzione grafica contenuta nella scheda 'Immagine' dei 'Parametri di Disegno' (gruppo: Grafica 3D) che, se selezionata, abilita la visualizzazione della prospettiva tridimensionale dell'edificio utilizzando la tecnica delle Superfici nascoste. E' previsto l'uso di un algoritmo di semplice elaborazione, efficace nella maggior parte dei casi, tale da non rallentare l'esecuzione del programma, e capace di rigenerare le superfici nascoste anche durante le fasi di animazione dei disegni.

Per elaborazioni più complesse è ovviamente sempre possibile esportare la vista in prospettiva dell'edificio su DXF per CAD, utilizzando successivamente i comandi specializzati dei programmi di CAD per rimozione di superfici nascoste, ombreggiature, ecc.

### B.11.1. Menu OPZIONI

**Tipo di Disegno...** ( **F12** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Apre una finestra di dialogo, nella quale è possibile selezionare il tipo di disegno, e le cui funzionalità sono descritte al paragrafo B.11.1.1.

**Parametri di Disegno...** ( **F11** ) [ Barra degli Strumenti:  ] = Apre una finestra di dialogo, nella quale è possibile selezionare i parametri di disegno, e le cui funzionalità sono descritte al paragrafo B.11.1.2.

**Parametri di Disegno Standard** = Reinizializza i parametri di disegno che determinano le modalità di rappresentazione grafica, utilizzando le impostazioni predefinite di PC.M.

**Cambia direzione** ( **F9** ) = Alterna la visualizzazione dei risultati nelle direzioni di riferimento X e Y. Nel caso di rappresentazione grafica dell'analisi sismica delle fondazioni, alterna i risultati fra le due direzioni principali  $\xi$  (Csi) ed  $\eta$  (Eta).

**Cambia verso** ( **CTRL + F9** ) = A direzione costante, alterna la visualizzazione dei risultati nei due versi. Il comando produce una modifica del disegno, ovviamente, soltanto nel caso che la verifica consultata abbia risultati distinti per i due versi. Ad esempio, nel caso di rappresentazione grafica dell'analisi sismica delle fondazioni, per direzione principale prefissata (e modificabile attraverso il comando 'Cambia direzione'), alterna i risultati nei due versi (e quindi:  $+\xi$  e  $-\xi$ , oppure:  $+\eta$  e  $-\eta$ ).

**Barra degli Strumenti** [solo 2D] = Attiva / disattiva la visualizzazione dei pulsanti grafici propri della finestra 2D; per una descrizione dei comandi si rimanda al paragrafo B.11.6.

#### B.11.1.1. TIPO DI DISEGNO

La finestra di dialogo per la scelta del Tipo di Disegno presenta l'elenco dei tipi di rappresentazione grafica, organizzati nei gruppi: Dati, Analisi Statica e Analisi Sismica.

Mentre i tipi dei Dati sono sempre disponibili, i risultati delle analisi lo sono soltanto dopo aver eseguito i calcoli di elaborazione.

I tipi di disegno disponibili sono corrispondenti alle verifiche svolte, e dipendono dalle scelte effettuate nella schematizzazione dell'edificio e nell'impostazione del calcolo (opzioni scelte nei 'Parametri di Calcolo'). Pertanto, come nell'esempio di figura seguente, alcuni tipi di disegno possono non essere disponibili, e la relativa opzione viene disattivata e presentata in luminosità ridotta.

Ad esempio, in fig. 75 è riportata la finestra di dialogo 'Tipo di Disegno' che si apre nel caso di analisi di un edificio esistente, per il quale si sono fatte alcune tipiche scelte:

- non sono state eseguite le verifiche statiche secondo il D.M. 20.11.1987;
- dal punto di vista sismico, si è scelta la Circ.21745 del 30.7.1981;
- non sono state considerate le verifiche sismiche a pressoflessione complanare;
- i piani sono considerati rigidi.

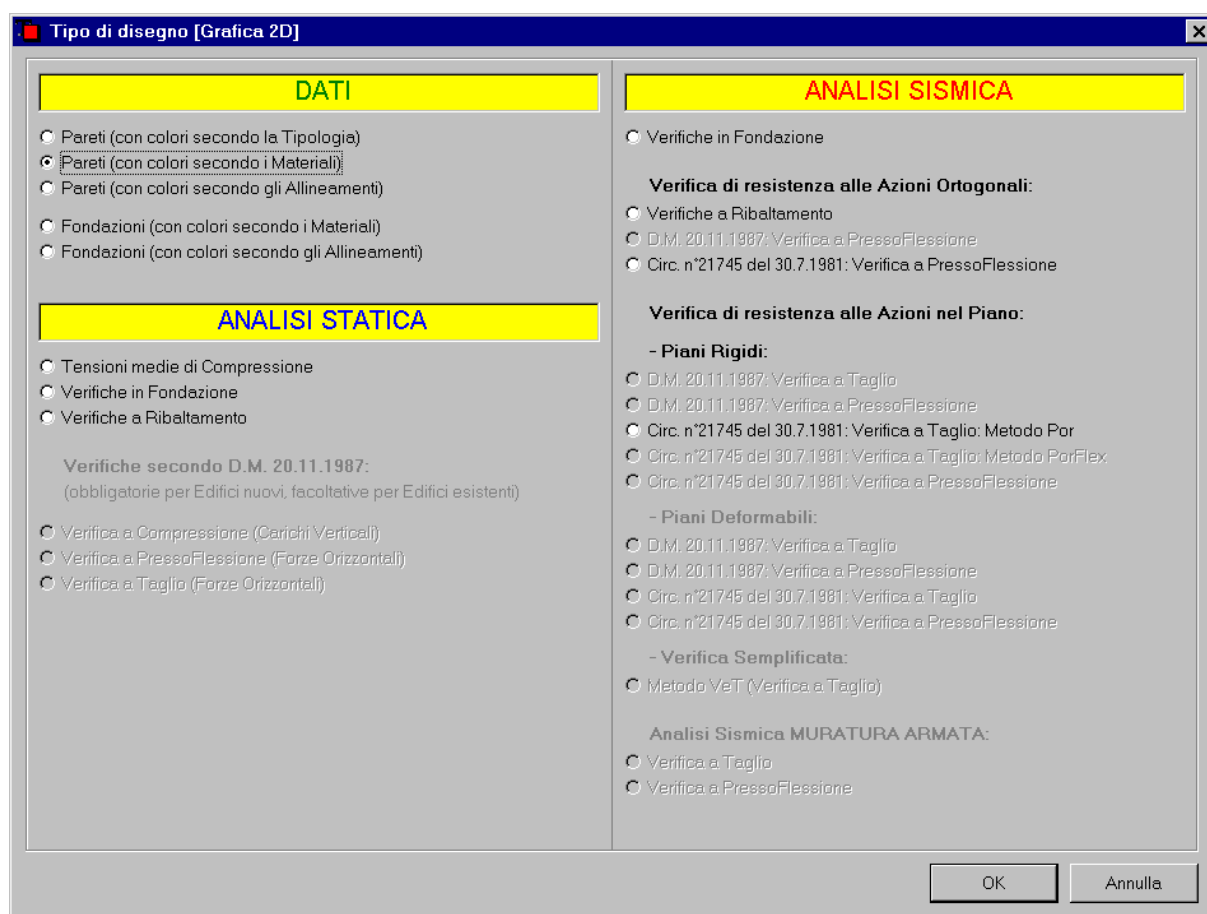


Fig. 75. Tipo di Disegno.


Per visualizzare ad esempio nella finestra grafica 2D (o analogamente nella 3D) i risultati del metodo Por dopo aver eseguito l'analisi sismica (purché tale metodo sia stato attivato, quindi si deve avere almeno un piano rigido e percorso normativo: Circ.21745 del 30.7.1981):


- si faccia clic sulla finestra grafica 2D o 3D (che diventa attiva, mostrando il bordo del titolo evidenziato);
- quindi, si attivi (da menu o dalla barra degli Strumenti) la finestra 'Tipo di Disegno': selezionare l'opzione 'Circ.21745, Verifica a Taglio, Metodo Por'.

Confermando con OK, viene proposta la rappresentazione correntemente attiva per tale metodo (di default, lo schema 'Forze e Coefficienti'), secondo quanto specificato nella scheda Analisi della finestra 'Parametri di Disegno'. Per cambiare modalità di rappresentazione dei risultati del metodo Por (per esempio, per visualizzare la pianta dello stato limite con le pareti al collasso, o la deformata, ecc.) occorre selezionare un altro parametro di disegno, come descritto al paragrafo seguente.

Per cambiare il tipo di disegno, possono essere anche utili i seguenti pulsanti grafici della barra degli Strumenti:

 **Dati:** richiama il disegno dei dati delle pareti o delle fondazioni, a seconda del tipo di disegno corrente;

 **Risultati Analisi Statica:** richiama il tipo di disegno 'statico' corrispondente a quello 'sismico' correntemente visualizzato. Per esempio, se si visualizzano i risultati della verifica statica delle fondazioni, premendo questo pulsante si passa immediatamente alla verifica sismica;

 **Risultati Analisi Sismica:** richiama (se disponibile) il tipo di disegno 'sismico' corrispondente a quello 'statico' correntemente visualizzato. Per esempio, se si visualizzano i risultati della verifica sismica delle fondazioni, premendo questo pulsante si passa immediatamente alla verifica statica.

**Metodo Por:** richiama (se disponibile) il disegno dei risultati del Metodo Por.

### B.11.1.2. PARAMETRI DI DISEGNO

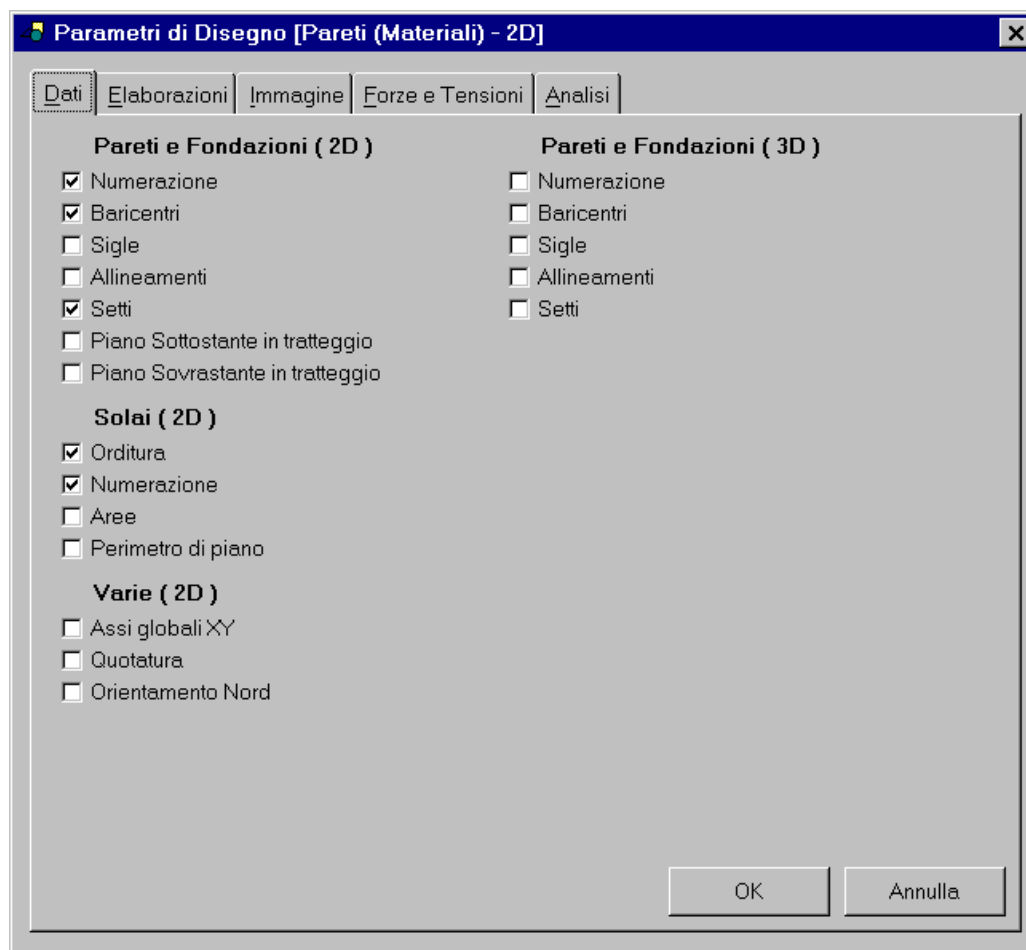
Nella finestra di dialogo 'Parametri di Disegno' si possono specificare i valori dei parametri che determinano la rappresentazione grafica in PC.M.

PC.M presenta, per questi parametri, valori di default che possono essere cambiati qualora si desideri impostare diversamente il disegno. Per l'Edificio corrente, essi vengono archiviati insieme a tutti gli altri dati, e quindi ripristinati quando tale Edificio viene riaperto.

Dopo eventuali modifiche, per confermare l'insieme dei dati visualizzati, selezionare il pulsante di comando 'OK'. Con il pulsante di comando 'Annulla' vengono invece annullate le eventuali modifiche apportate, ritornando ai valori dei parametri precedenti l'apertura della finestra di dialogo.

La finestra 'Parametri di Disegno' si compone di **cinque schede (Dati, Elaborazioni, Immagine, Forze e Tensioni, Analisi)**; nei paragrafi seguenti le schede sono analizzate in dettaglio.

#### B.11.1.2.1. SCHEDA 'DATI'



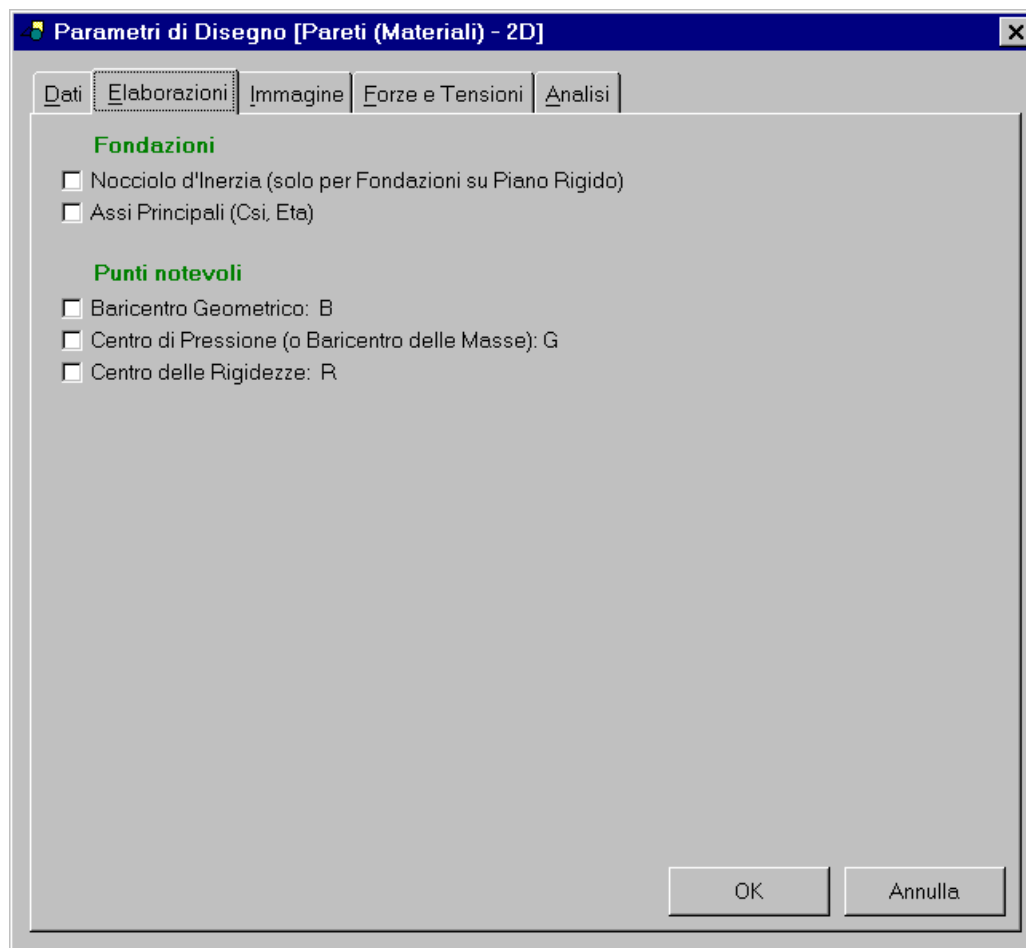
**Fig. 76.** Parametri di Disegno: scheda 'Dati'.

Nella scheda Dati, si possono impostare le opzioni di rappresentazione dei dati dell'edificio, anche in forma di testo associato ad ogni singola parete. Ad esempio, per specificare le maglie di solaio converrà selezionare



‘Allineamenti’ e deselezionare la numerazione. Come nelle schede successive, più opzioni possono essere modificate prima di confermare con OK ed aggiornare quindi il disegno.

#### B.11.1.2.2. SCHEDA ‘ELABORAZIONI’



**Fig. 77.** Parametri di Disegno: scheda ‘Elaborazioni’.

Da notare i ‘Punti notevoli’: il Baricentro Geometrico B ed il Centro delle Rigidezze R possono anche essere rappresentati sul disegno dei dati, e quindi - durante l’inserimento o la modifica dei dati delle pareti - forniscono in tempo reale un’indicazione sull’organizzazione della struttura. Il centro delle rigidezze effettivo viene poi elaborato dall’analisi, insieme al Centro di Pressione (o Baricentro delle Masse) G.

A seconda del contesto, anche se B,G,R sono tutti e tre selezionati, potranno essere rappresentati solo i punti aventi significato.

## B.11.1.2.3. SCHEDA 'IMMAGINE'

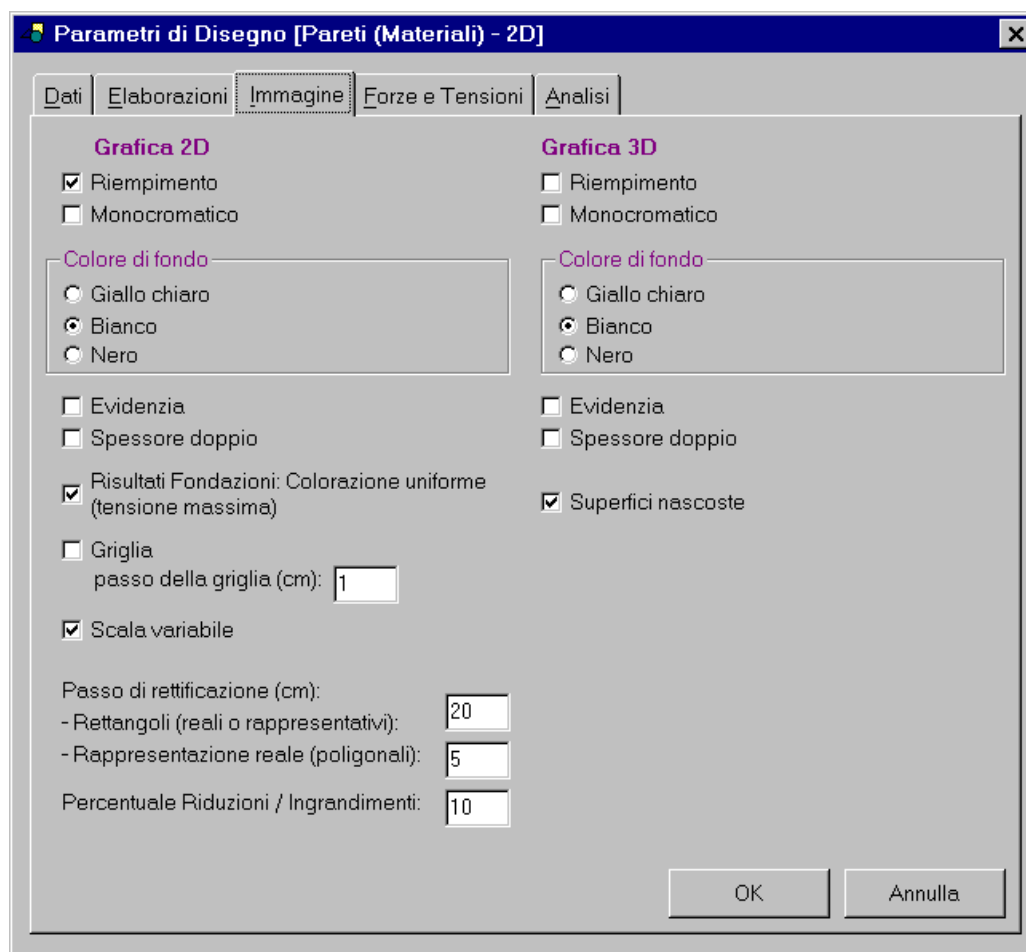


Fig. 78. Parametri di Disegno: scheda 'Immagine'.



La scheda Immagine consente la gestione dei colori, delle evidenziazioni e della scala.

**'Risultati Fondazioni: colorazione uniforme (tensione massima)'**: se selezionato, colora il risultato statico o sismico di ogni singola fondazione con un colore omogeneo, corrispondente alla sua massima tensione. Se disattivato, viene generata una scala continua di colorazione effettivamente rappresentativa del piano di tensione (tale rappresentazione è più efficace, ma richiede un'elaborazione più complessa e quindi può rallentare la rigenerazione del disegno).

La **'Griglia'** consente un immediato riferimento delle pareti al piano delle coordinate XY; le distanze, comunque, possono essere misurate direttamente con i comandi del menu Immagine della finestra grafica 2D.

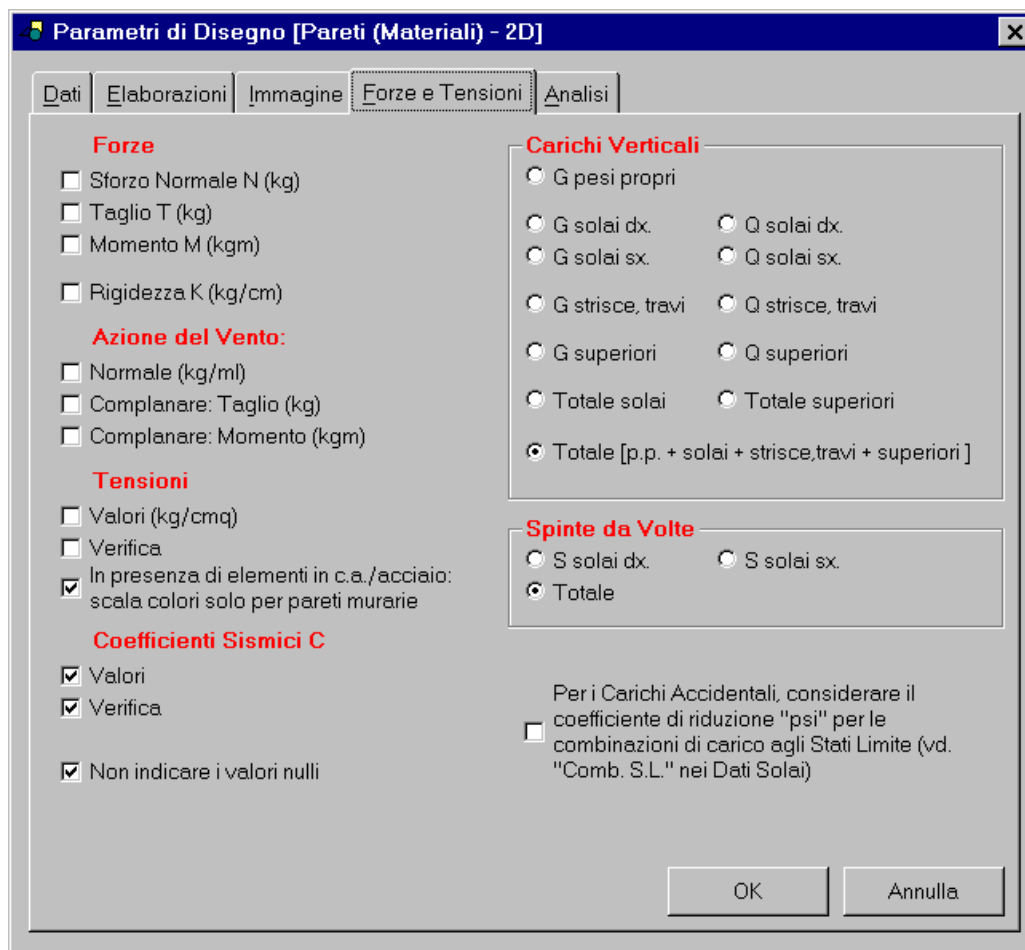
**'Scala variabile'**, se attivato, ottimizza ogni piano dell'edificio indipendentemente dagli altri piani; se disattivato, ogni piano verrà rappresentato in scala coerente con gli altri (utile, ad esempio, nel passaggio dal disegno di un piano ad un altro avente pianta ridotta per vedere l'esatta incidenza fra piano sovrastante e piano sottostante. Il piano sovrastante e il piano sottostante possono essere anche visualizzati contemporaneamente al piano corrente utilizzando i corrispondenti comandi di rappresentazione in tratteggio, vedi scheda 'Dati', B.11.1.2.1.).

**'Passo di rettificazione'**: questo parametro influisce sulla colorazione continua del disegno, ad esempio nel caso del disegno dell'analisi delle Fondazioni. Utilizzando una scala di colori all'interno di una stessa parete o fondazione, occorre 'rettificarne' il contorno utilizzando un certo passo di discretizzazione dei singoli colori. L'impostazione di default è normalmente preferibile; in alcuni casi complessi il disegno potrebbe essere rigenerato lentamente: è possibile in tal caso aumentare il passo di rettificazione, in modo da generare un minor numero di colori e quindi una colorazione più rapida.

**‘Percentuale Riduzioni / Ingrandimenti’**: questo parametro influisce sui comandi Riduci  e Ingrandisci  delle finestre grafiche 2D e 3D. PC.M propone per default un valore pari a 10 (variazione del 10% in riduzione o ingrandimento); il valore eventualmente modificato non viene archiviato con l'edificio.

**‘Superfici nascoste’**: consente la visualizzazione della prospettiva tridimensionale dell'edificio utilizzando la tecnica delle Superfici nascoste. E' previsto l'uso di un algoritmo di semplice elaborazione, efficace nella maggior parte dei casi, tale da non rallentare l'esecuzione del programma. Per elaborazioni più complesse è ovviamente sempre possibile esportare la vista in prospettiva dell'edificio su DXF per CAD, utilizzando successivamente i comandi specializzati dei programmi di CAD per rimozione di superfici nascoste, ombreggiature, ecc. Per default, il parametro è attivato.

#### B.11.1.2.4. SCHEDA ‘FORZE E TENSIONI’



**Parametri di Disegno [Pareti (Materiali) - 2D]**

**Forze**

- ☐ Sforzo Normale N (kg)
- ☐ Taglio T (kg)
- ☐ Momento M (kgm)
- ☐ Rigidezza K (kg/cm)

**Azione del Vento:**

- ☐ Normale (kg/ml)
- ☐ Complanare: Taglio (kg)
- ☐ Complanare: Momento (kgm)

**Tensioni**

- ☐ Valori (kg/cm<sup>2</sup>)
- ☐ Verifica
- ☒ In presenza di elementi in c.a./acciaio: scala colori solo per pareti murarie

**Coefficienti Sismici C**

- ☒ Valori
- ☒ Verifica
- ☒ Non indicare i valori nulli

**Carichi Verticali**

- ☐ G pesi propri
- ☐ G solai dx.      ☐ Q solai dx.
- ☐ G solai sx.      ☐ Q solai sx.
- ☐ G strisce, travi      ☐ Q strisce, travi
- ☐ G superiori      ☐ Q superiori
- ☐ Totale solai      ☐ Totale superiori
- ☒ Totale [p.p. + solai + strisce, travi + superiori]

**Spinte da Volte**

- ☐ S solai dx.      ☐ S solai sx.
- ☒ Totale

Per i Carichi Accidentali, considerare il coefficiente di riduzione "psi" per le combinazioni di carico agli Stati Limite (vd. "Comb. S.L." nei Dati Solai)

☐

OK      Annulla

**Fig. 79.** Parametri di Disegno: scheda ‘Forze e Tensioni’.

Le opzioni di questa scheda vengono utilizzate per rappresentare risultati dell'analisi in termini di forze e tensioni. Ad esempio, per colorare in grigio le pareti non verificate a compressione statica (aventi cioè una tensione statica verticale superiore alla tensione ammissibile a compressione), scegliere ‘Verifica’ (sotto a ‘Tensioni’).

La cornice ‘**Carichi Verticali**’ consente il controllo dell'analisi dei carichi effettuata automaticamente da PC.M. E' possibile la visualizzazione dei carichi verticali sia per le fondazioni, sia per le pareti in elevazione. I carichi possono essere distinti in: Pesì propri, Carichi di solaio (destra, sinistra), Carichi superiori (trasmessi dalle pareti in elevazione sovrastanti); il carico rappresentato corrisponde all'opzione scelta nella cornice ‘Carichi Verticali’.

## B.11.1.2.5. SCHEDA 'ANALISI'

**Parametri di Disegno [Por - 2D]**

**Analisi**

**Combinazioni di Carico**

Carichi Verticali:  
G = Permanenti; Q = Accidentali

Forze Orizzontali:  
W = Vento; S = Sisma

**Tensioni Ammissibili**  
[Combinazioni Statiche \(da D.M.20.11.1987\):](#)

☐ (1) (G + Q) + W  
☐ (2) G + W

**Stati Limite**  
[Combinazioni Statiche \(da D.M.20.11.1987\):](#)

☐ (A) 1.5 G+1.5 (Q+0.75 W)  
☐ (B) 1.5 G+1.5 (W+0.80 Q)  
☐ (C) G+1.5 W

[Combinazioni Sismiche \(da D.M. 16.1.1996\):](#)

☒ (1) (1.4 G + 1.5 Q) + S (Massimo carico)  
☐ (2) G + S (Minimo carico verticale)

**Direz. Sismica**  
☒ X ☐ Y

**Per Azioni Ortogonali**  
☒ Pareti ☐ Setti

**Per Verifiche a Taglio**

Tipo di rappresentazione grafica

☒ Forze e Coefficienti (Schema Edificio)  
☐ Pianta delle Pareti  
(per Por, PorFlex: Pianta Stato Limite)  
☐ Deformata Sismica (Spost. Pareti):  
amplificazione spostamenti =   
☐ Lesioni Sismiche nelle Pareti  
☐ con effetti Azioni Ortogonali  
☐ Diagramma Forza-Spostamento  
(solo per i Metodi Por, PorFlex)  
☐ rappresentare entrambi i metodi  
☐ Dominio di Resistenza

Stato Limite (per i Metodi Por, PorFlex)

☐ Elastico ☐ Primo collasso  
☐ Fessurazione ☐ Verifica  
☒ Ultimo

**Per Analisi Sismiche con calcolo di C**  
☐ Rappresentazione grafica dei valori

OK Annulla

Fig. 80. Parametri di Disegno: scheda 'Analisi'.

Le Combinazioni di Carico consentono la consultazione dei risultati corrispondenti appunto alle combinazioni di carico esaminate. I risultati inerenti le varie Combinazioni possono essere scorsi anche utilizzando il pulsante grafico della barra degli Strumenti: **C**.

Nel caso che la rappresentazione grafica corrente si riferisca ad una verifica sismica le Combinazioni statiche appaiono in luminosità ridotta, e viceversa.

Attraverso i pulsanti di opzione della cornice 'Per Verifiche a Taglio', 'Tipo di rappresentazione grafica' è possibile cambiare il tipo di post-elaborazione con cui la verifica a taglio correntemente visualizzata viene rappresentata: a tal fine, si consulti il paragrafo seguente B.11.1.2.6.

L'opzione '**Per Analisi Sismiche con calcolo di C**' consente la rappresentazione dei coefficienti sismici sostenibili dalle singole pareti per le verifiche che consentono un'analisi dettagliata di questo tipo; ad esempio, per la verifica globale a taglio secondo il D.M. 20.11.1987 (ma non per l'analisi Por, che invece fornisce - come risultato - un C globale). Per approfondimenti, si veda il paragrafo B.11.1.2.7.

**B.11.1.2.6. TIPI DI RAPPRESENTAZIONE PER VERIFICHE A TAGLIO**

La cornice 'Per Verifiche a Taglio', 'Tipo di rappresentazione grafica' permette di variare il tipo di post-elaborazione con cui la verifica a taglio correntemente visualizzata viene rappresentata, evidenziando importanti informazioni.

Sono disponibili in generale 6 modalità di post-elaborazione:

- **Forze e Coefficienti**: genera il disegno di uno schema dell'edificio, con ai piani le forze sismiche, i pesi sismici, le forze reattive, e i coefficienti di sicurezza: questo disegno riassume sinteticamente la situazione di verifica dell'edificio. E' in effetti il primo disegno che normalmente conviene eseguire per visualizzare i risultati di un'analisi sismica appena eseguita. Questo disegno è disponibile sia in 2D sia in 3D. Maggiori informazioni al paragrafo B.11.1.2.6.1.

- **Pianta delle Pareti**: riservata ai soli metodi Por e PorFlex, presenta la pianta delle pareti allo Stato Limite corrente (determinato dall'opzione selezionata sempre nella stessa finestra, nella cornice sottostante), rappresentata a colori secondo lo stadio di sollecitazione (consultare anche la Legenda). Questo disegno è disponibile sia in 2D sia in 3D. Maggiori informazioni al paragrafo B.11.1.2.6.2.

- **Deformata Sismica**: presenta la vista della deformata, con riferimento agli spostamenti calcolati nel corso di applicazione del metodo; è particolarmente interessante rilevare le deformazioni torsionali nel caso di eccentricità rilevante tra baricentro e centro delle rigidità. E' possibile variare l'amplificazione degli spostamenti, per renderli graficamente rilevabili. Questo disegno è disponibile sia in 2D sia in 3D. Maggiori informazioni al paragrafo B.11.1.2.6.3.

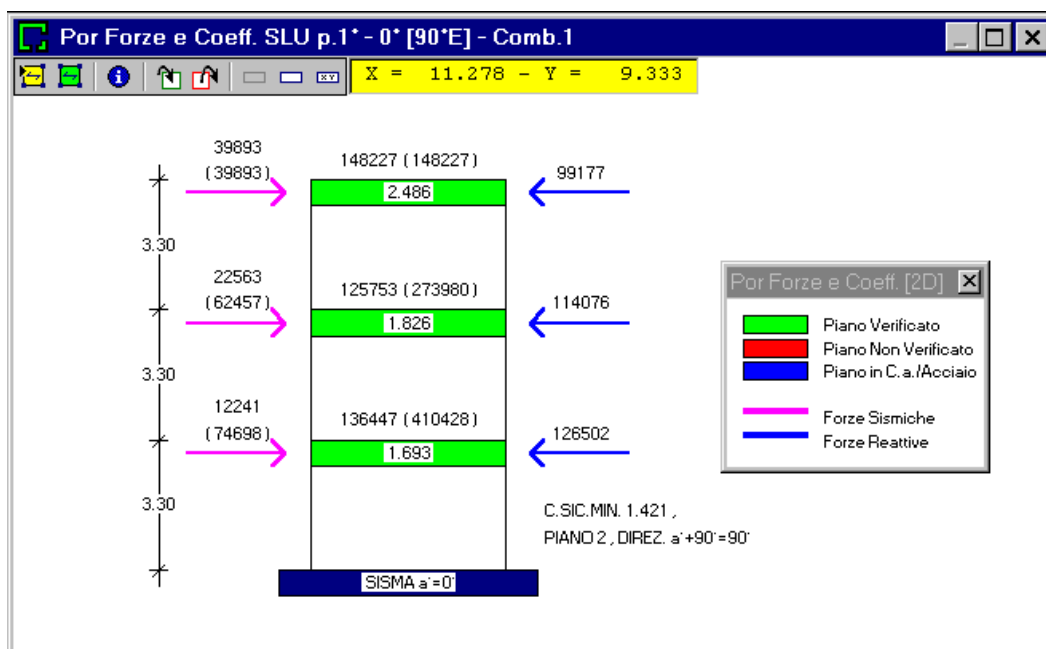
- **Lesioni Sismiche nelle Pareti**: presenta il quadro fessurativo previsto dal metodo considerato. Si tratta di una post-elaborazione particolarmente importante per la calibrazione del modello strutturale, soprattutto in caso di intervento su edificio realmente lesionato da eventi sismici: più le lesioni assomigliano alle reali, migliore è stata la schematizzazione della struttura. Questo disegno è disponibile solo in 3D. Maggiori informazioni al paragrafo B.11.1.2.6.4.

- **Diagramma Forza-Spostamento**: riservato ai soli metodi Por e PorFlex, genera il disegno di questo diagramma per il piano corrente, con riferimento agli spostamenti del baricentro registrati nel corso dell'applicazione del metodo di calcolo, e ai corrispondenti valori della forza reattiva sviluppata dall'organismo resistente. Se per l'edificio si è scelto per almeno un piano il metodo Por e per almeno un piano il PorFlex (nell'ipotesi, ovviamente, di piano rigido e di analisi con la Circ.21745 del 30.7.1981), è possibile rappresentare entrambi i metodi, e quindi, confrontando i diagrammi, rilevare immediatamente l'importanza degli effetti flessionali del PorFlex rispetto alla tradizionale schematizzazione Por (tanto maggiore quanto più sono presenti elementi snelli). Questo disegno è disponibile sia in 2D sia in 3D. Maggiori informazioni al paragrafo B.11.1.2.6.5.

- **Dominio di Resistenza**: genera il dominio di resistenza, dove si analizza il comportamento sismico della struttura per una direzione di input variabile; la figura geometrica risultante è ottenuta interpolando i valori ottenuti secondo il passo di suddivisione dell'angolo giro, scelto nella finestra 'Parametri di Calcolo', scheda 'Analisi Sismica', gruppo 'Direzioni di Analisi Sismica'. Maggiori informazioni al paragrafo B.11.1.2.6.6.

### B.11.1.2.6.1. FORZE E COEFFICIENTI

In questo disegno (disponibile indifferentemente in 2D e in 3D), viene rappresentato lo schema dell'edificio, con ai piani le forze sismiche, i pesi sismici, le forze reattive, e i coefficienti di sicurezza: esso pertanto riassume sinteticamente la situazione di verifica dell'edificio. E' in effetti il primo disegno che normalmente conviene eseguire per visualizzare i risultati di un'analisi sismica appena eseguita.



**Fig. 81.** *Forze e Coefficienti.*

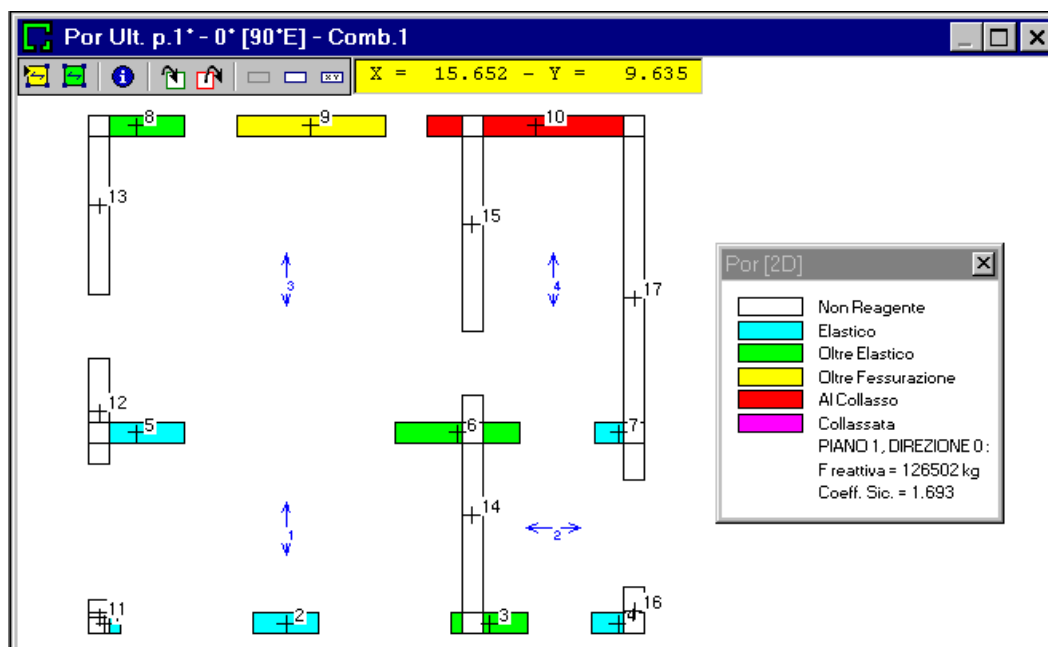
In colore magenta, a sinistra, le forze sismiche di piano ed i taglianti sismici; in blu, a destra, le forze reattive (quando queste sono maggiori delle precedenti, la verifica è soddisfatta). A sinistra, le altezze di piano utilizzate per il calcolo delle forze sismiche. Al centro dei livelli dell'edificio, è riportato: sopra il livello di piano, il peso sismico di piano ed il peso sismico totale; subito sotto, il coefficiente di sicurezza di piano, dato dal rapporto tra forza reattiva e tagliante sismico. In basso, a destra, è riportata l'informazione del coefficiente di sicurezza 'minimo' fra tutti i piani e fra le due direzioni tra loro ortogonali di verifica, per la Combinazione di Carico corrente [la (1) nella figura, corrispondente al massimo carico verticale amplificato:  $(1.4 G + 1.5 Q)$ ].

In Legenda, la descrizione della simbologia.

Il disegno della fig. 81 si riferisce al Metodo Por; altri tipi di verifiche globali a taglio, possono contenere - nel disegno 'Forze e Coefficienti' - un minor numero di informazioni: ad esempio, la Verifica statica a Taglio secondo il D.M. 20.11.1987, dove le forze orizzontali sono dovute al vento (e non al sisma), sono presenti in figura solo le forze in colore magenta sulla sinistra, rappresentanti il vento di piano ed il totale fino al piano, e la colorazione del livello in verde o rosso a seconda che la verifica sia soddisfatta o meno.

### B.11.1.2.6.2. PIANTE DELLE PARETI

Questo disegno, disponibile sia in 2D (pianta bidimensionale) sia in 3D (vista tridimensionale delle pareti), è riservato ai soli metodi Por e PorFlex, e presenta la configurazione delle pareti allo Stato Limite corrente, dove le pareti sono colorate secondo lo stadio di sollecitazione, come riportato in Legenda.

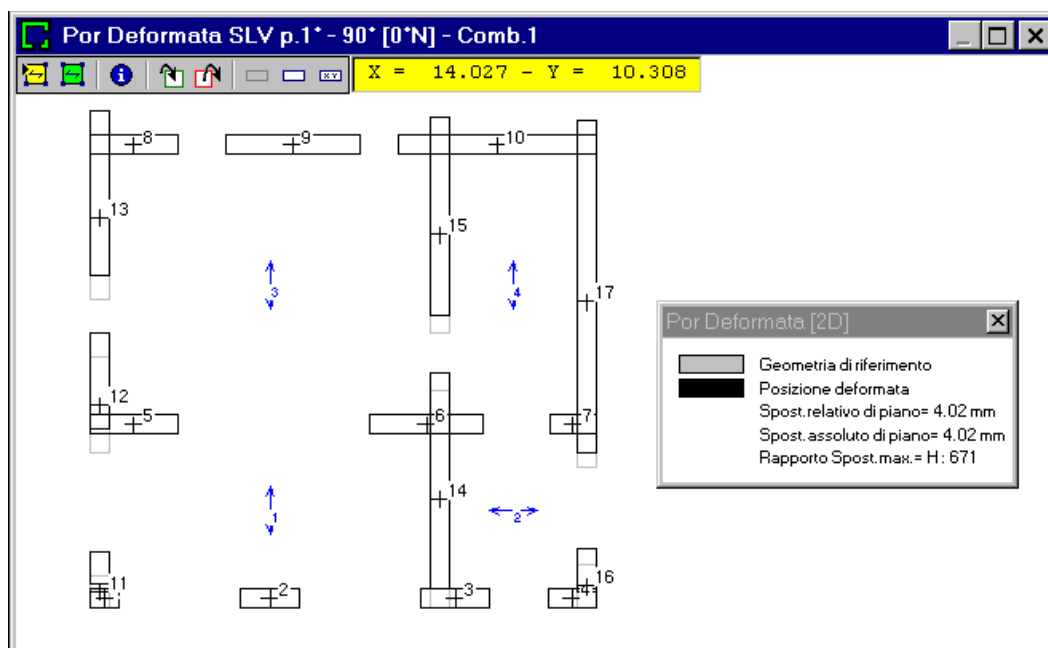


**Fig. 82.** Pianta delle Pareti (nella finestra grafica 2D).

Il disegno di fig. 82 si riferisce allo Stato Limite Ultimo del piano 1° di un edificio esistente sottoposto ad analisi Por, qui considerata in direzione X (0°) e per la Combinazione di Carico (1). Questo disegno evidenzia le pareti ancora in fase elastica, quelle oltre fessurazione e le pareti al collasso. Nel caso particolare della figura, il collasso della parete 10 segna il raggiungimento dello Stato Limite Ultimo.

### B.11.1.2.6.3. DEFORMATE SISMICHE

Questo disegno, disponibile in 2D (deformazione in pianta) e in 3D (deformata tridimensionale), presenta la vista della deformata, con riferimento agli spostamenti calcolati nel corso di applicazione del metodo di verifica globale a taglio; è particolarmente interessante rilevare le deformazioni torsionali nel caso di eccentricità rilevante tra baricentro e centro delle rigidezze. E' possibile variare l'amplificazione degli spostamenti, per renderli graficamente rilevabili.



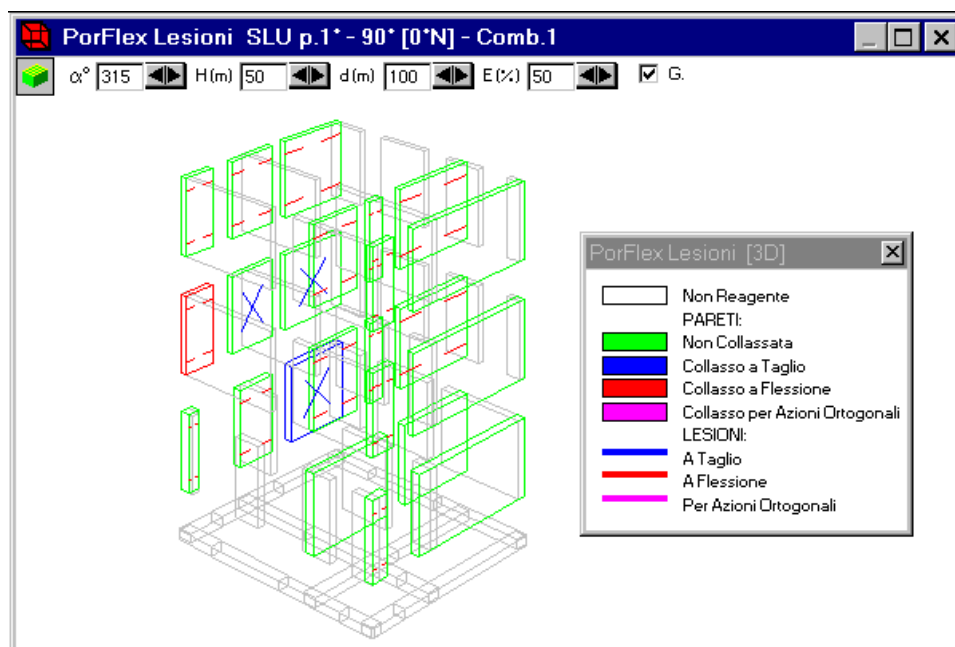
**Fig. 83.** *Deformata Sismica (nella finestra grafica 2D).*

In Legenda vengono riportati i valori dello spostamento relativo e assoluto di piano (per il piano a quota più bassa - piano 1, come nel caso in fig. 83 - essi coincidono), e il rapporto di spostamento massimo fra le pareti del piano, dove H è l'altezza della base del piano rispetto all'intradosso delle fondazioni.



#### B.11.1.2.6.4. QUADRO DELLE LESIONI SISMICHE

Questo disegno, disponibile solo in 3D, presenta il quadro fessurativo previsto dal metodo considerato di verifica sismica globale a taglio. Si tratta di una post-elaborazione particolarmente importante per la calibrazione del modello strutturale, soprattutto in caso di intervento su edificio realmente lesionato da eventi sismici: più le lesioni assomigliano alle reali, migliore è stata la schematizzazione della struttura.



**Fig. 84.** *Quadro delle Lesioni Sismiche nelle Paret (finestra grafica 3D).*

In fig. 84 sono riportate le lesioni sismiche secondo il Metodo PorFlex.

Eseguita l'analisi sismica a taglio globale dell'edificio [con uno dei seguenti metodi: D.M. 20.11.1987 per piani rigidi; D.M. 20.11.1987 per piani deformabili; Circ.21745 del 30.7.1981 per piani rigidi (metodo Por o metodo PorFlex); Circ.21745 del 30.7.1981 per piani deformabili], risultano determinati lo stato di sollecitazione e le lesioni nelle pareti reagenti (parallele al sisma, per ognuna delle due direzioni X e Y e per ognuna delle due Combinazioni di Carico sismiche di riferimento).

Tutti i metodi, Por incluso, forniscono le tensioni tangenziali e conseguentemente le lesioni a taglio per i maschi, ad eccezione del metodo PorFlex, cui corrispondono tensioni normali e tangenziali e quindi lesioni a taglio e a flessione per i maschi (e anche per le strisce, se presenti).

L'analisi sismica Azioni Ortogonali, infine, consente la valutazione della sollecitazione sismica e delle eventuali lesioni sulle pareti orientate ortogonalmente al sisma agente secondo una specifica direzione. Per quanto riguarda le Azioni Ortogonali, si fa l'ipotesi che le pareti non verificate si lesionino con un innescio di distacco dalle pareti di controvento.

Per i metodi Por e PorFlex, il quadro delle lesioni è coerente nello Stati Limite Verifica, corrispondendo ad un assetto statico e sismico contemporaneo fra i vari piani; nello Stato Limite Ultimo le configurazioni dei singoli piani sono indipendenti l'una dall'altra.

Nello Stato Limite di Verifica l'azione sismica ortogonale è quella assunta nell'analisi ad Azioni Ortogonali; nello Stato Limite Ultimo le sollecitazioni calcolate con le Azioni Ortogonali sono amplificate del rapporto (Forza reattiva / Forza sismica), cioè del coefficiente di sicurezza.

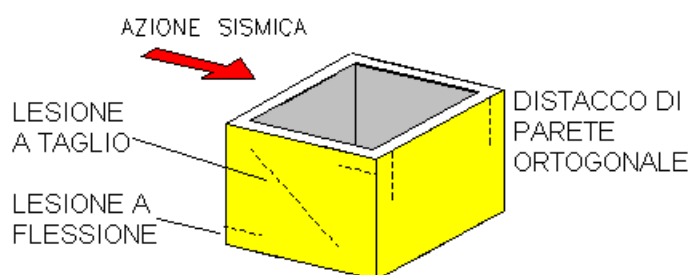


Fig. 85. Tipi di lesioni sismiche.

Le lesioni sono classificabili attraverso i seguenti simboli:

M = parete in muratura con allineamento parallelo alla direzione sismica

O = parete orientata ortogonalmente alla direzione sismica

S = striscia impostata su maschi M (paralleli alla direzione sismica)

e graficamente: per le pareti:

tratteggio fine = collasso a flessione

tratteggio marcato = collasso a taglio

linea continua fine = non collassata

linea continua marcata = collassata per azioni ortogonali

Per le lesioni:

tratteggio fine, orizzontale sui maschi e verticale sulle strisce = lesione a flessione

tratteggio marcato, diagonale = lesione a taglio

tratteggio marcato, verticale sui maschi = lesione di distacco a causa di azione ortogonale alla parete

Tali convenzioni determinano i possibili schemi di fig. 86.

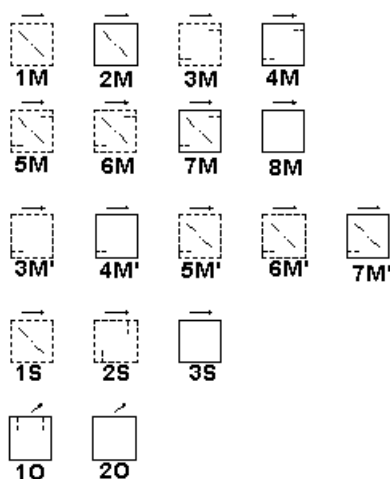


Fig. 86. Schema di classificazione delle lesioni sismiche.

**1M. Collasso a taglio con sezione interamente reagente.**

$\delta \geq \delta_{dutt.} * \delta_{0,0}$  (collasso;  $\delta_{0,0}$  è lo spostamento al limite elastico):

$\sigma_t < \sigma_{tr}$ ,  $\sigma_c < \sigma_k$  (sezione reagente a trazione e compressione)

Vincolo superiore: incastro o cerniera

**2M. Lesione a taglio senza collasso, con sezione interamente reagente.**

Spostamento oltre il limite di fessurazione, ma inferiore al limite di collasso:

$$1.2 \delta_0 < \delta < \text{dutt.} * \delta_0$$

flessione: sezione totalmente reagente e verificata

Vincolo superiore: incastro o cerniera

**3M. Collasso a flessione, in assenza di fessurazioni a taglio.**

Collasso per compressione:  $\sigma_c > \sigma_k$

Taglio:  $\tau \leq \tau_u$ ,  $\delta < 1.2 \delta_0$

**4M. Lesione a flessione senza collasso, in assenza di fessurazioni a taglio.**

Compressione: verifica soddisfatta, con sezione parzializzata:

$$\sigma_c < \sigma_k, \sigma_t \max > \sigma_{tr}$$

Taglio: come 3M (nessuna fessurazione)

**5M. Collasso a flessione dopo che è iniziata la fessurazione a taglio.**

$$\sigma_c > \sigma_k, \text{ con: } 1.2 \delta_0 < \delta < \text{dutt.} * \delta_0.$$

Nella fase di plasticità a taglio la crisi a compressione può aversi solo per effetto della variazione dello sforzo normale a causa delle strisce sovrastanti. Ma PC.M opera con PorFlex prescindendo da tale variazione, quindi il caso 5M. non può mai verificarsi.

**6M. Collasso a taglio con sezione parzializzata.**

$$\delta \geq \text{dutt.} * \delta_0$$

$$\sigma_c < \sigma_k, \sigma_t \max > \sigma_{tr} \text{ (sezione parzializzata ma verificata a compressione)}$$

**7M. Lesione a flessione con fessurazione a taglio, senza collasso né a flessione né a taglio.**

Prima della plasticità a taglio, la sezione si è parzializzata

$$1.2 \delta_0 < \delta < \text{dutt.} * \delta_0$$

**8M. Parete totalmente integra e verificata.**

Sezione totalmente reagente a flessione e verificata

A taglio non è ancora iniziata la fessurazione:

$$\tau \leq \tau_u, \delta < 1.2 \delta_0.$$

**3M', 4M', 5M', 6M', 7M'** = schemi corrispondenti a 3M, 4M, 5M, 6M, 7M nel caso di vincolo sovrastante a cerniera (schema a mensola), formatasi a sezione reagente non ancora parzializzata.

**1S. Striscia collassata a taglio.****2S. Striscia collassata a flessione.**

Per le strisce, con legge costitutiva rigido-fragile, non esiste fase plastica: quando il limite di resistenza è raggiunto, si manifesta la rottura.

$$1S: \tau > \tau_k$$

$$2S: \sigma_t > \sigma_{tr}$$

**10. Collasso di parete per sisma ortogonale.**

Una qualsiasi delle verifiche eseguita alle Azioni Ortogonali non è soddisfatta

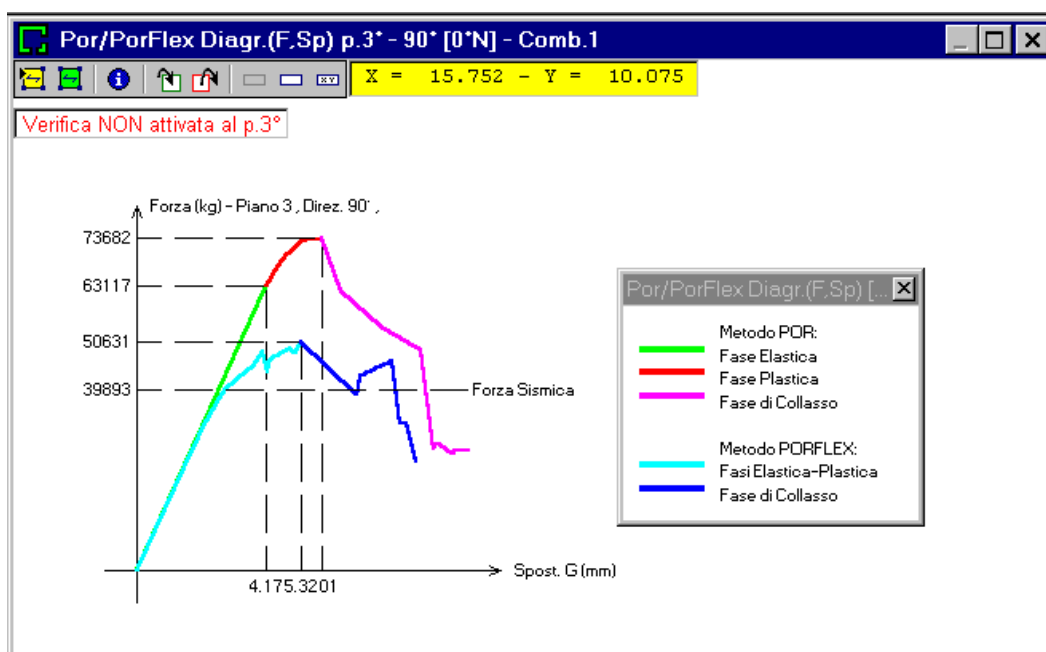
**20. Parete integra ortogonale alla direzione del sisma.**

Mentre gli schemi analizzati sono tutti validi per le lesioni stimate da PorFlex, con Por sono significativi solo gli schemi 1M, 2M, 8M, O.

### B.11.1.2.6.5. DIAGRAMMA FORZA-SPOSTAMENTO

Questo disegno, disponibile indifferentemente in 2D e in 3D, è riservato ai soli metodi Por e PorFlex. Il diagramma per il piano corrente viene generato con riferimento agli spostamenti del baricentro registrati nel corso dell'applicazione del metodo di calcolo, e ai corrispondenti valori della forza reattiva sviluppata dall'organismo resistente.

Se per l'edificio si è scelto per almeno un piano il metodo Por e per almeno un piano il PorFlex (nell'ipotesi, ovviamente, di piano rigido e di analisi con la Circ.21745 del 30.7.1981), è possibile rappresentare entrambi i metodi, e quindi, confrontando i diagrammi, rilevare immediatamente l'importanza degli effetti flessionali del PorFlex rispetto alla tradizionale schematizzazione Por (tanto maggiore quanto più sono presenti elementi snelli).



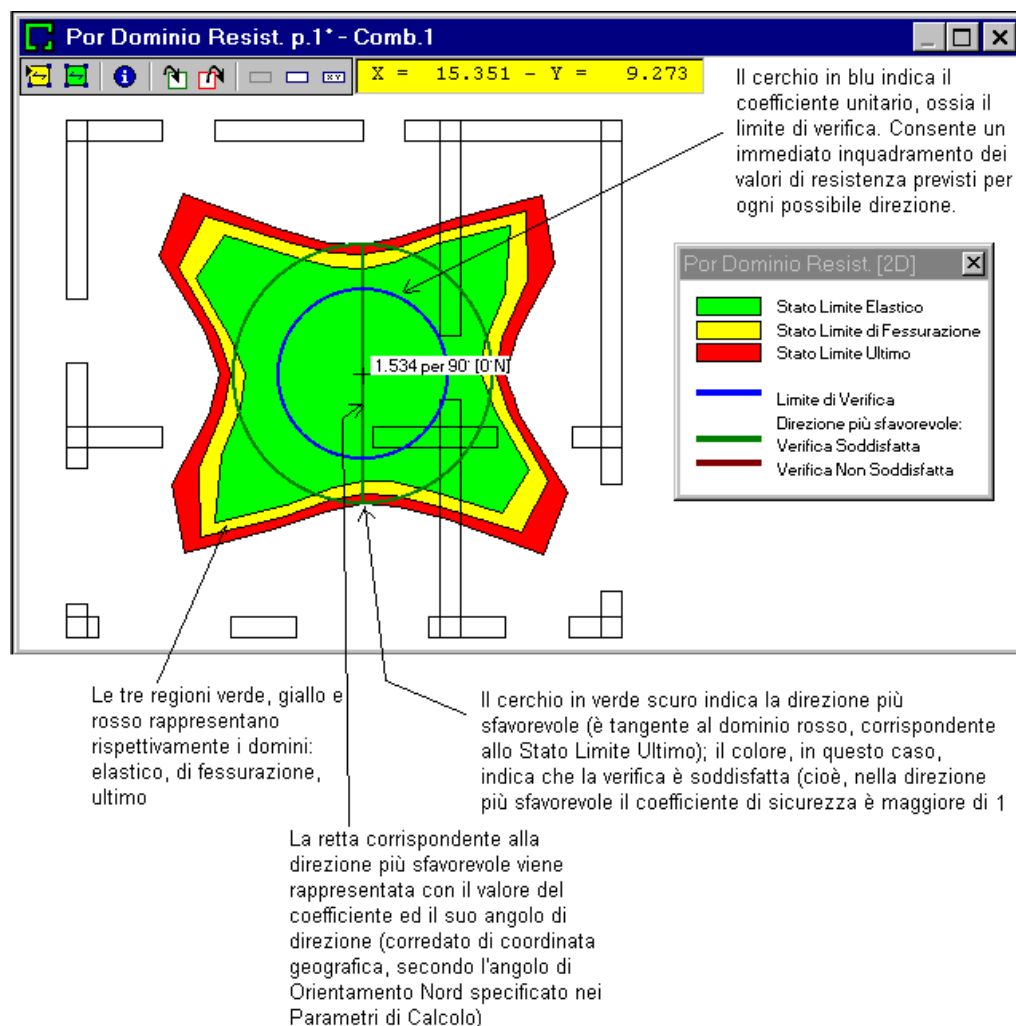
**Fig. 87.** *Diagramma Forza - Spostamento.*

Un esempio di questo tipo è riportato in fig. 87; la segnalazione “Verifica NON attivata al p.3°” significa che è in corso di visualizzazione una verifica non scelta per il piano corrente: nell'edificio di esempio infatti al piano 3° il metodo di calcolo a taglio globale adottato è il Por e quindi il PorFlex non è attivato; di ciò poco importa, dal momento che è, essendo stati processati entrambi i metodi di calcolo, il diagramma di confronto è disponibile e mostra, come atteso dalla Teoria, che la curva PorFlex può essere anche significativamente inferiore rispetto alla curva Por (-31% = diminuzione forza reattiva da Por a PorFlex, nel caso in figura).

### B.11.1.2.6.6. DOMINI DI RESISTENZA

Questo disegno, disponibile solo in 2D, mostra il dominio di resistenza, dove si analizza il comportamento sismico della struttura per una direzione di input variabile; la figura geometrica risultante è ottenuta interpolando i valori ottenuti secondo il passo di suddivisione dell'angolo giro, scelto nella finestra 'Parametri di Calcolo', scheda 'Analisi Sismica', gruppo 'Direzioni di Analisi Sismica'.

Nella fig. 88 è riportato un esempio riferito al metodo Por.

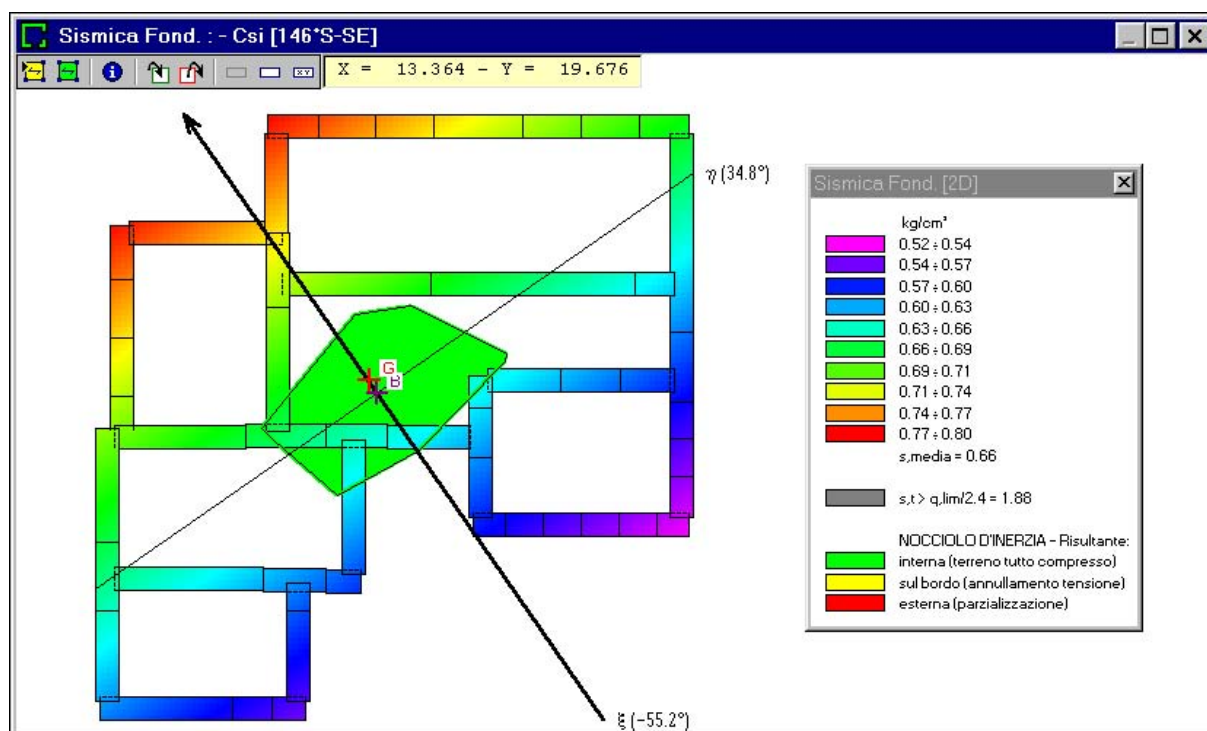


**Fig. 88.** *Dominio di Resistenza (finestra grafica 2D).*

Lo studio dei domini di resistenza permette, per ogni piano di un edificio, la definizione del minimo coefficiente di sicurezza e della direzione sismica corrispondente. Le figure presentano valori simmetrici rispetto all'origine, poiché i metodi di analisi globale a taglio vengono applicati, in una data direzione, indipendentemente dal verso lungo tale direzione.

Le direzioni più sfavorevoli sono frequentemente coincidenti con una delle due direzioni di tessitura delle pareti murarie; esse infatti dipendono dalle rigidità e quindi laddove per una data direzione sismica alcune pareti si trovano perfettamente ortogonali, non potendo in genere far affidamento sulla 'rigidezza trasversale', si ha una diminuzione della resistenza rispetto a direzioni oblique, dove tutte le pareti possono sviluppare resistenza, secondo la componente complanare.

Lo studio dell'edificio con PC.M consente l'elaborazione di un'altra informazione sulle direzioni più sfavorevoli, data dall'analisi sismica delle fondazioni (riportata, come esempio, in figura seguente; nel caso in figura la direzione principale, data la forma rettangolare della pianta, coincide con l'asse Y:  $\alpha=90^\circ$ ).



**Fig. 89.** *Analisi Sismica delle Fondazioni.*

Dallo studio della distribuzione delle pressioni sul terreno si evince una direzione più sfavorevole di provenienza dell'azione sismica. Le direzioni riportate sono da considerarsi nello specifico verso indicato (quindi diversamente dai Domini di Resistenza) poiché l'analisi delle fondazioni, per una data direzione, fornisce risultati distinti nei due versi di percorrenza della direzione stessa.

Rispetto ai domini di resistenza, nel caso delle fondazioni la direzione più sfavorevole ha altro orientamento, dipendente dalla configurazione geometrica dell'edificio e dalla forma della pianta.

Utilizzando PC.M per uno studio generale dell'edificio, quindi, si potranno individuare direzioni di debolezza strutturale da diversi punti di vista, definendo un 'ventaglio' di direzioni sfavorevoli interessante da analizzare anche in relazione all'ubicazione geografica del sito dell'edificio (ad esempio, attraverso il riferimento alle coordinate geografiche si può relazionare il risultato - in termini di direzioni più sfavorevoli per le strutture - alle principali sorgenti sismiche attive da cui si può prevedere la provenienza di un futuro evento). Per ottenere il risultato corretto in termini di coordinate geografiche occorre aver inserito il valore dell'Orientamento Nord dell'edificio nei 'Parametri di Calcolo', scheda 'Parametri Vari (1)'.

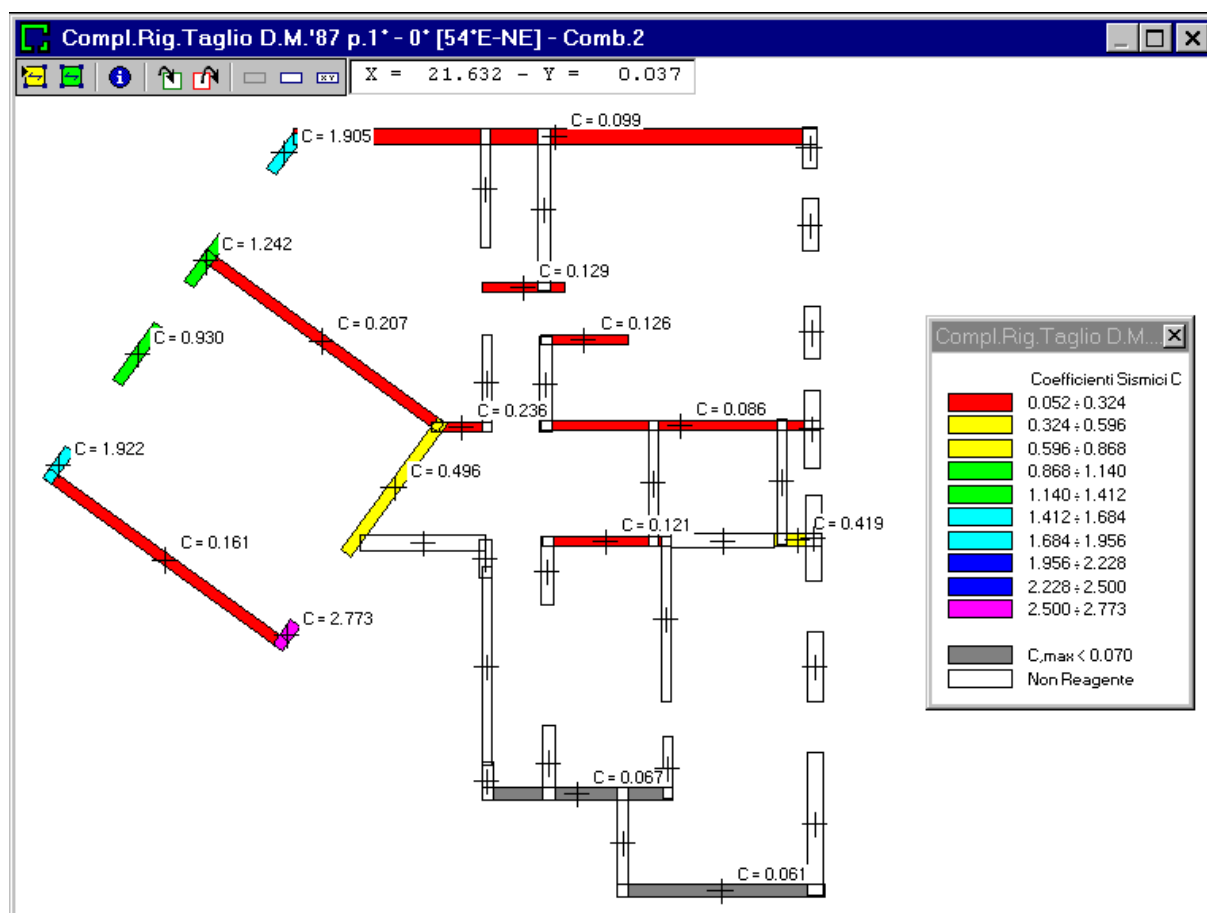
#### B.11.1.2.7. RAPPRESENTAZIONE DEI COEFFICIENTI SISMICI 'C'

La rappresentazione dei coefficienti sismici sostenibili dalle singole pareti è possibile per tutte quelle verifiche che consentono un'analisi dettagliata di questo tipo, ad esempio, per la verifica globale a taglio secondo il D.M. 20.11.1987, ma non per le analisi Por e PorFlex, che invece forniscono - come risultato - un C globale.

Nel caso di Por e PorFlex (verifiche a piani rigidi secondo la Circ.21745 del 30.7.1981), le pareti maggiormente impegnate sono rilevabili principalmente dalla Pianta delle Pareti (vd. par. B.11.1.2.6.2.): conoscendo le pareti al collasso, è possibile ipotizzarne un rafforzamento per incrementare la resistenza antisismica dell'edificio.

Tutte le altre verifiche globali a Taglio (Verifica a piani rigidi e deformabili secondo il D.M. 20.11.1987, e Verifica a piani deformabili secondo la Circ.21745 del 30.7.1981), invece, forniscono coefficienti di sicurezza distinti, parete per parete: pertanto, il disegno dei Coefficienti Sismici 'C' si rivela particolarmente utile per comprendere le parti strutturali dell'organismo murario ove intervenire per l'ipotesi di consolidamento.

Ricordiamo che il coefficiente 'C' di una parete non è altro che il coefficiente sismico corrispondente alla massima forza sismica che la parete può sostenere senza collassare. Questo modo di rivedere la resistenza sismica dell'edificio è particolarmente idoneo per l'approfondimento del comportamento sismico delle pareti murarie resistenti, e corrisponde alle più recenti impostazioni dell'analisi antisismica emanate in applicazione della Legge 61/98 per la ricostruzione in Umbria e Marche.



**Fig. 90.** Coefficienti Sismici 'C'.


Nella fig. 90 è rappresentato il disegno dell'analisi sismica globale a taglio per piani rigidi secondo il D.M. 20.11.1987, condotta per un edificio nuovo, con evidenziazione dei coefficienti sismici C per le singole pareti. Come si vede dal disegno, per alcune pareti i valori di C possono anche essere molto elevati (il C corrispondente a una seconda categoria: zona sismica S=9, vale 0.070), mentre altre risultano assai più deboli: questo comportamento è analogo a ciò che accade nel Por, dove - allo Stato Limite Ultimo - una o più pareti sono al collasso mentre altre sono magari ancora in fase elastica. E' evidente che le pareti in situazione più sfavorevole saranno oggetto di particolare attenzione per un consolidamento (nel caso di un edificio esistente) o per una corretta (ri)progettazione (nel caso di studio della struttura per un edificio nuovo).

### B.11.2. Menu IMMAGINE


I comandi del Menu Immagine consentono la gestione della rappresentazione grafica dell'Immagine dell'Edificio, attraverso le operazioni di zoom e panoramica. E' possibile ingrandire una qualunque zona del disegno di particolare interesse, oppure ridurre il disegno alle dimensioni desiderate.


Oltre alla pura gestione della visualizzazione disegno già presente, il Menu Immagine presenta altri comandi di utilità, fra cui quelli per il salvataggio di files grafici (per l'output su bitmap o files DXF per CAD).

Se non diversamente specificato, i comandi descritti operano sia nella finestra grafica 2D sia nella 3D.

**Zoom Finestra** [ Barra degli Strumenti:  ] = Consente l'ingrandimento del disegno visualizzato nell'Immagine dell'Edificio, attraverso la definizione di una finestra rettangolare. Per eseguire tale operazione:

- scegliere questo comando,
- posizionare il puntatore del mouse all'interno della cornice dell'Immagine dell'Edificio nel punto che costituirà il vertice superiore sinistro della finestra di zoom,
- premere il pulsante sinistro del mouse
- e tenendolo premuto trascinare il mouse costruendo la finestra di zoom,
- rilasciare il pulsante sinistro del mouse quando la finestra ha assunto le dimensioni desiderate.



**Precedente** [ Barra degli Strumenti:  ] = Ritorna alla visualizzazione precedente.


**Pan** [ Barra degli Strumenti:  ] = Consente la visualizzazione di diverse porzioni del disegno, senza cambiarne l'ingrandimento. In questo modo si possono vedere quei dettagli che non rientravano nello schermo prima di dare il comando Pan, e più in generale si può spostare il disegno all'interno dell'Immagine dell'Edificio. Questo comando richiede la definizione di un vettore di spostamento. Per eseguire tale operazione:

- scegliere questo comando,
- posizionare il puntatore del mouse all'interno della cornice dell'Immagine dell'Edificio nel punto di inizio del vettore di spostamento,
- premere il pulsante sinistro del mouse
- e tenendolo premuto trascinare il mouse costruendo il vettore,
- rilasciare il pulsante sinistro del mouse quando il vettore corrisponde allo spostamento desiderato.

Il vettore di spostamento specifica come il disegno deve spostarsi rispetto allo schermo.

Nel caso che **'ortogonale'** sia attivato, lo spostamento avverrà in direzione orizzontale o verticale.

**Riduci** [ Barra degli Strumenti:  ], **Ingrandisci** [ Barra degli Strumenti:  ] = Riduce o ingrandisce le dimensioni del disegno visualizzato, secondo la percentuale specificata dall'apposito parametro di disegno (scheda Immagine), considerando come punto fisso il punto centrale della visualizzazione corrente.

**Ottimizza** [ Barra degli Strumenti:  ] = Mostra la visualizzazione ottimale del disegno, adattandolo nel modo migliore possibile alle dimensioni della finestra grafica.

**Distanza** [solo 2D] = Consente la misurazione della distanza nella pianta nella finestra grafica 2D.




Analogamente al comando 'Pan', deve essere introdotto un vettore spostamento. Per eseguire tale operazione:

- scegliere questo comando,
- posizionare il puntatore del mouse all'interno della cornice dell'Immagine dell'Edificio nel punto di inizio del vettore di spostamento,
- premere il pulsante sinistro del mouse
- e tenendolo premuto trascinare il mouse costruendo il vettore,
- rilasciare il pulsante sinistro del mouse quando il vettore corrisponde allo spostamento desiderato.

Per la misurazione della distanza, sono disponibili quattro comandi di menu specifici:

- **ortogonale**: la distanza viene rilevata in direzione orizzontale o verticale;
- **fra punti qualsiasi**: la distanza viene rilevata fra due punti qualsiasi (cioè fra il punto iniziale e il punto finale);
- **fra baricentri**: la distanza viene misurata tra le pareti il cui baricentro è più vicino rispettivamente al punto iniziale e al punto finale;
- **fra vertici**: la distanza viene misurata tra i vertici (considerando tutti i vertici di tutte le pareti, nella rappresentazione per poligoni reali) le pareti il cui baricentro è più vicino rispettivamente al punto iniziale e al



punto finale. In questo caso, si consiglia di visualizzare i vertici delle pareti, utilizzando il pulsante grafico 2D: . Selezionandolo, diviene:  e significa che nella rappresentazione grafica corrente sono mostrati i vertici delle pareti (l'icona  significa invece che i vertici non sono rappresentati). La rappresentazione dei vertici è possibile soltanto nei disegni dei Dati Pareti e Dati Fondazioni.

**Seleziona** [solo 2D] = Consente la selezione grafica di un gruppo di pareti nella finestra grafica 2D.

Alternativamente ai criteri di selezione previsti direttamente dalla finestra Pareti (menu Modifica, comando Seleziona), è possibile selezionare graficamente un insieme di pareti.

Per la selezione delle pareti, sono disponibili due comandi di menu specifici:

‘Finestra’ e ‘Singola’.

Nel caso che ‘**Finestra**’ sia attivato: scelto il comando ‘Seleziona pareti’, trascinando il mouse si individua un rettangolo: tutte le pareti il cui baricentro resta incluso nel rettangolo vengono selezionate (e rappresentate in evidenza sia nel disegno sia nella tabella dei Dati Pareti, dove i caratteri assumono il blu grassetto).

Nel caso che ‘**Singola**’ sia attivato: scelto il comando ‘Seleziona pareti’, facendo clic con il mouse in un punto del quadro grafico 2D, verrà selezionata la parete il cui baricentro è più vicino al punto di clic. Essa verrà rappresentata in evidenza sia nel disegno sia nella tabella dei Dati Pareti, dove i caratteri assumono il blu grassetto.

Avendo selezionato in grafica una o più pareti, quando il fuoco successivamente torna sulla finestra Pareti, la tabella scorre presentando in evidenza la parete selezionata (o la prima del gruppo, in caso di più pareti selezionate). Con questo metodo, è possibile - per via grafica - evidenziare interattivamente i dati della parete selezionata.

Il comando **deseleziona**, infine, ha l'effetto di deselezionare tutte le pareti correntemente selezionate.

Oltre che sulle pareti, i comandi grafici di selezione hanno effetto anche sulle fondazioni.

**Prospetto** [solo 3D] = Consente la visualizzazione del prospetto dell'allineamento corrente.

Per cambiare prospetto, cioè per visualizzare un altro allineamento: nella tabella dei Dati Pareti spostare la cella su una parete appartenente all'allineamento desiderato, quindi fare clic sulla finestra grafica 3D per aggiornarne la visualizzazione.

Per uscire dalla modalità Prospetto, selezionare nuovamente questo comando di menu. Verranno graficamente rappresentate solo le pareti che appartengono all'allineamento dell'ultimo prospetto visualizzato: per ripristinare il disegno di tutte le pareti, scegliere il comando ‘Tutte le pareti’ dal menu Disegna della finestra Pareti.

**Copia negli Appunti** ( **CTRL + C** ) = Pone nella memoria grafica di Windows l'immagine della finestra grafica corrente. Questo comando è utile per rapide operazioni di Copia e Incolla volte ad esportare immagini in altri programmi (ad es. Word, Paint), senza l'obbligo di salvare l'immagine preventivamente su file BMP.

**Salva su file BMP...** = Crea un file grafico, di estensione BMP, nella sottodirectory:

C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio

che può essere aperto, visualizzato e modificato in un qualunque programma di disegno in grado di importare files nel formato bitmap (es. PaintBrush, Paint). Il disegno bitmap è un particolare tipo di immagine composta da una serie di punti e non da vettori; esso, pertanto, non può essere ridimensionato in scala.

Per il disegno corrente, viene proposto un particolare nome di file (sigla identificativa del disegno) che comunque l'utente può variare a piacere.

**Salva su file DXF...** = Crea un file grafico, di estensione DXF, nella sottodirectory:

C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio

che può essere aperto da un qualunque programma di CAD in grado di importare files nel formato DXF (es. AutoCAD, AutoCAD LT). Il disegno importato si presenta, all'interno del programma di CAD, in formato vettoriale, ovvero composto da entità geometriche (linee, cerchi, archi, testi, ecc.) che lo rendono ridimensionabile in scala. Con questo metodo vengono normalmente editati i disegni tecnici.

Il file DXF prodotto si riferisce al disegno correntemente visualizzato nella finestra grafica attiva.

Per il disegno corrente, viene proposto un particolare nome di file (sigla identificativa del disegno) che comunque l'utente può variare a piacere.

**Scala per DXF...** = Richiede la scala per generare il file DXF di output.

**Quotatura per DXF** [solo 2D] = Se attivo, nel file DXF di output riguardante i dati geometrici della struttura, le pareti e le fondazioni vengono automaticamente quotate.

### B.11.3. Menu SPOSTA

I comandi del menu Sposta delle finestre grafiche 2D e 3D consentono lo **spostamento del disegno da un piano all'altro, fondazioni incluse**.

E' possibile scorrere i diversi piani utilizzando i tasti di scelta rapida F4, F5, F6 (anche in combinazione con MAIUSC).

Lo spostamento tra piani avviene molto agevolmente utilizzando i pulsanti grafici della barra degli Strumenti:

▲ Piano Superiore ( **F6** )

▼ Piano Inferiore ( **F5** )

▬ Ultimo Piano ( **MAIUSC + F6** )

▼ Piano 1 ( **MAIUSC + F5** )

▬ Fondazioni ( **F4** )

### B.11.4. Menu ANIMAZIONE per la finestra grafica 2D

Nella finestra grafica 2D, i comandi del menu Animazione producono la visualizzazione animata del disegno secondo particolari criteri di rappresentazione. **Per interrompere l'animazione** del disegno, è sufficiente chiamare nuovamente il comando attivato.

**Allineamenti** = Mostra consecutivamente gli allineamenti presenti nel piano corrente, colorando via via solo le pareti appartenenti all'allineamento evidenziato. Nella barra del titolo compare il nome dell'allineamento correntemente visualizzato.

La colorazione delle pareti rispetta la rappresentazione grafica corrente.

**Direzioni X / Y** = Alterna la direzione di rappresentazione del disegno (solo per disegni per i quali la direzione X comporta una rappresentazione distinta rispetto alla direzione Y).

Al di là del comando di animazione, tale alternanza può essere eseguita sia attraverso la finestra 'Direzione Sismica' della scheda 'Analisi' dei 'Parametri di Disegno', sia mediante l'uso dei pulsanti grafici della barra degli Strumenti: **X Y**.

**Verso** = Alterna il verso lungo la direzione di rappresentazione del disegno (solo per disegni per i quali i due versi nella direzione corrente comportano rappresentazioni distinte, come ad esempio nell'analisi sismica delle fondazioni).

**Spostamento tra i piani** = Produce lo spostamento successivo tra piani (solo per disegni dove la rappresentazione grafica di piani distinti è diversa).

**Direzione Sismica** = Per il disegno del Dominio di Resistenza, ruota - lungo l'angolo giro - la direzione di rappresentazione del coefficiente di sicurezza.

**Stati Limite Elast.-Fess.-Ult. (Por)** = Alterna lo stato limite (elastico, fessurazione, ultimo) secondo cui viene eseguita la rappresentazione del disegno Por.

### B.11.5. Menu ANIMAZIONE per la finestra grafica 3D

Nella finestra grafica 3D, i comandi del menu Animazione producono la visualizzazione animata del disegno secondo particolari criteri di rappresentazione.

I comandi Rotazione, Elevazione, Allontanamento, Esplosione operano facendo incrementare i parametri di rappresentazione corrispondenti ai controlli 3D (vd. paragrafo B.11.7.) Essi consentono quindi il cambiamento progressivo del punto di vista, in modo da meglio osservare le caratteristiche grafiche rappresentate (ad esempio, il quadro delle lesioni sismiche).

**Per interrompere l'animazione** del disegno, è sufficiente chiamare nuovamente il comando attivato.

**Rotazione** = Cambia progressivamente l'angolo che definisce il punto di vista.



**Elevazione** = Cambia progressivamente l'altezza che definisce il punto di vista.

**Allontanamento** = Cambia progressivamente la distanza che definisce il punto di vista.

**Esplosione** = Cambia progressivamente il fattore di esplosione.

**Allineamenti** = Visualizza in successione gli allineamenti X e gli Y definiti per l'intero edificio. E' così possibile osservare i paramenti verticali (ad es. prospetti), costituiti da allineamenti che si corrispondono fra i diversi piani.

**Direzioni X / Y** = Alterna la direzione di rappresentazione del disegno (solo per disegni per i quali la direzione X comporta una rappresentazione distinta rispetto alla direzione Y).

Al di là del comando di animazione, tale alternanza può essere eseguita sia attraverso la finestra 'Direzione Sismica' della scheda 'Analisi' dei 'Parametri di Disegno', sia mediante l'uso dei pulsanti grafici della barra degli Strumenti:  .

**Verso** = Alterna il verso lungo la direzione di rappresentazione del disegno (solo per disegni per i quali i due versi nella direzione corrente comportano rappresentazioni distinte, come ad esempio nell'analisi sismica delle fondazioni).

**Stati Limite Elast.-Fess.-Ult. (Por)** = Alterna lo stato limite (elastico, fessurazione, ultimo) secondo cui viene eseguita la rappresentazione del disegno Por.

### B.11.6. CONTROLLI 2D


I Controlli 2D appartengono alla barra degli strumenti della finestra grafica 2D e consentono alcune operazioni grafiche di utilità.





**Fig. 91.** Controlli 2D.



I Controlli 2D sono posti in alto nella finestra grafica 2D e possono essere attivati con un semplice clic.



,  = 'Inizio Inserimento Solaio' e 'Fine Inserimento Solaio': consentono, rispettivamente, l'inizio e la fine dell'inserimento grafico delle maglie di solaio.

 = 'Informazioni': apre la finestra di Relazione per la visualizzazione delle informazioni relative al tipo di disegno corrente.



,  = 'Importa da AEDES CAD' ed 'Esporta per AEDES CAD': consentono il colloquio con AEDES-CAD® per la gestione grafica interattiva dei dati.

 ,  = Visualizzazione alternativa dello stesso pulsante grafico, riguardante la modalità di rappresentazione grafica delle pareti: per 'rettangoli rappresentativi' o per poligoni reali. La scelta di questa modalità ha effetto anche sulla finestra grafica 3D (aggiornata non appena vi si fa clic). Le due icone di questo pulsante, rispettivamente, abilitano e disabilitano la rappresentazione dei rettangoli rappresentativi. Per la definizione dei 'rettangoli rappresentativi' e per informazioni dettagliate sulle pareti a sezione poligonale, si rimanda al paragrafo B.5.2.12.

 ,  = Visualizzazione alternativa dello stesso pulsante grafico, riguardante la rappresentazione nel disegno 2D dei vertici delle poligoni delle pareti. Questa operazione vale anche per pareti rettangolari, per ognuna delle quali saranno evidenziati i 4 vertici. Le due icone di questo pulsante, rispettivamente, abilitano e disabilitano la rappresentazione dei vertici.



 ,  = Visualizzazione alternativa dello stesso pulsante grafico, riguardante la visualizzazione nella finestra 2D delle coordinate correnti (X e Y) relative alla posizione del puntatore del mouse. Le coordinate vengono riportate nell'apposito riquadro immediatamente a lato destro di questo pulsante grafico. Le due icone di questo pulsante, rispettivamente, abilitano e disabilitano la visualizzazione delle coordinate.

### B.11.6.1. INSERIMENTO GRAFICO DEI SOLAI

I pulsanti grafici della finestra 2D  e  consentono, rispettivamente, l'inizio e la fine dell'inserimento grafico delle maglie di solaio.


L'inserimento grafico delle maglie di solaio è un'operazione molto utile, alternativa alla digitazione diretta delle maglie stesse.

E' possibile procedere nel seguente modo:

- visualizzare, nella finestra 2D, la pianta del piano desiderato;
- accertarsi che nella finestra 'Parametri di Disegno', scheda 'Dati', nel gruppo 'Solai (2D)' siano attivate almeno l'Orditura e la Numerazione (ciò consentirà la visualizzazione immediata delle maglie definite graficamente via via che queste saranno inserite);
- visualizzare la finestra Solai, contenente le righe delle varie maglie;
- aggiungere subito tante righe quante sono le maglie che si vogliono definire, oppure aggiungerle singolarmente via via, una dopo l'altra;
- posizionare la cella sulla riga della maglia che si vuole definire;
- anziché digitare il testo della maglia (per allineamenti o per pareti) nel campo 'Solai per Allineamenti (Maglia)', fare clic nella finestra grafica 2D e selezionare il pulsante grafico  che consente l'inizio dell'inserimento grafico della maglia;
- fare clic progressivamente su pareti che definiscono la maglia, percorrendola in senso orario o antiorario. Non è necessario fare clic sul baricentro: è sufficiente in una 'zona' vicina (opportuni controlli evitano segnalazioni di errore, anche se ad esempio si è fatto clic consecutivamente due volte sulla stessa parete, oppure si fa clic consecutivamente su due pareti lungo lo stesso allineamento);
- via via che si fa clic sulle pareti, il campo in input della maglia di solaio si aggiorna automaticamente;
- al termine dell'operazione, confermare la maglia con il pulsante grafico : nel campo della tabella dei Dati Solai verrà visualizzata la sequenza di allineamenti scelta, e nel disegno 2D comparirà - se la maglia è stata definita correttamente - l'orditura del solaio, ad indicare l'avvenuto corretto inserimento.



Per il riempimento della tabella dei Dati Solai, si possono usare - nella stessa sessione - sia il comando di inserimento grafico, sia l'inserimento tradizionale con la digitazione del testo.

### B.11.6.2. INFORMAZIONI SUL TIPO DI DISEGNO CORRENTE

Il pulsante grafico della finestra 2D  apre la finestra di Relazione per la visualizzazione delle informazioni relative al tipo di disegno corrente.



La finestra Relazione viene così utilizzata per la **visualizzazione di informazioni dettagliate riguardanti dati e risultati**, operazione estremamente utile nel corso della sessione di lavoro con PC.M.



Anziché produrre la relazione di calcolo estesa (per la quale è necessario creare, come già detto, il file RTF), è così possibile sfruttare la presenza di relazioni predefinite, generate da PC.M in corso di elaborazione al termine della fase di calcolo ('Scrittura dati e risultati'), e corrispondenti a tutti i tipi di verifiche eseguiti.

Per usufruire di questa opportunità, è sufficiente eseguire il disegno della verifica desiderata nella finestra Grafica 2D e quindi fare clic sul pulsante grafico  (Richiesta Informazioni): la finestra Relazione viene automaticamente aperta ed al suo interno è riportata in dettaglio numerico la verifica in corso di consultazione. Cambiando 'tipo di disegno' (ad esempio attraverso il comando grafico della barra degli strumenti: ) , la finestra Relazione viene immediatamente aggiornata facendoci sopra un clic (non è necessario, cioè, eseguire nuovamente il comando di 'Richiesta Informazioni').

Per quanto riguarda il significato della simbologia utilizzata durante la visualizzazione di dati e risultati nella finestra Relazione, il comando del menu Opzioni della finestra Relazione: 'Legenda Risultati' apre una finestra di testo dove viene riportata la Legenda dei Risultati.

### B.11.6.3. INTERAZIONE CON AEDES-CAD® PER GESTIONE DATI IN MODALITA' GRAFICA

I pulsanti grafici della finestra 2D  ,  consentono, rispettivamente, l' 'importazione da' e l' 'esportazione per' AEDES-CAD®, al fine della gestione grafica interattiva dei dati.

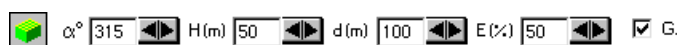
Utilizzando  viene importato un file di testo (IMPORTA.TXT, prodotto da AEDES-CAD® attraverso il comando di esportazione verso PC.M) ad uso interno di PC.M e posto in una sottodirectory di servizio per la rilettura della geometria dei dati; attraverso  invece viene esportata la geometria corrente (su file di servizio: ESPORTA.TXT) per l'esecuzione delle modifiche in AEDES-CAD® (AEDES-CAD® rilegge ESPORTA.TXT importando su CAD la geometria esportata da PC.M).

Utilizzando questa tecnica, è così possibile modificare con comandi di CAD la struttura, riconducendosi in ogni momento all'ambiente PC.M per altre modifiche o per operazioni varie.

Per informazioni dettagliate sull'utilizzo di AEDES-CAD® si rimanda alla documentazione fornita con il software AEDES-CAD®.

### B.11.7. CONTROLLI 3D

I Controlli 3D, posti in alto nella finestra grafica 3D, forniscono alcune operazioni grafiche di utilità per la rappresentazione tridimensionale.




**Fig. 92.** Controlli 3D.

Il controllo 'Esporta per Rendering su AEDES-CAD' provvede alla elaborazione grafica in ambiente CAD per il rendering della struttura.

Gli altri controlli 3D definiscono i parametri (fra cui il punto di vista) con cui determinare la rappresentazione prospettica della struttura, e se ne può variare il valore facendovi clic e digitando direttamente il nuovo valore desiderato. Tali valori possono anche cambiare automaticamente durante l'animazione del disegno.

Il punto di vista è definito in coordinate cilindriche.

 = 'Esporta per Rendering su AEDES-CAD': provvede alla creazione di un file di servizio (ESPORTA.TXT), rileggibile da AEDES-CAD® per l'elaborazione grafica con rendering.

$\alpha^\circ$  = Angolo (misurato in gradi sessadecimali) rispetto all'asse X formato dalla proiezione sul piano XY della congiungente il punto di vista con l'origine (valore di default: 315).


**H (m)** = Coordinata Z della posizione dell'osservatore (valore di default: 50 metri).

**d (m)** = Distanza dell'osservatore dall'asse Z (valore di default: 100 metri).

**E (%)** = Coefficiente di esplosione, per il distacco fra due piani consecutivi, misurato in percentuale riferita all'altezza di piano (valore di default: 50%). Assegnando 0 a questo parametro, i piani vengono fra loro riuniti, nella vista tridimensionale.

**G** = Vista globale: se attivata, l'edificio è comunque mostrato nella sua globalità; altrimenti, viene disegnato soltanto il piano corrente. In ogni caso, nella barra del titolo della finestra grafica 3D è sempre riportato il piano corrente.

### **B.11.8. Finestra LEGENDA**

La finestra 'Legenda' è una finestra mobile contenente la legenda relativa al disegno corrente. Oltre al comando del menu Finestra, può essere visualizzata facendo clic sul pulsante grafico della barra degli Strumenti: .

Se durante il lavoro con PC.M la Legenda risulta in una posizione scomoda, la si può spostare ovunque sullo schermo, ad esempio in un angolo.

Si consiglia di visualizzare frequentemente la legenda, al fine di meglio comprendere il significato delle rappresentazioni grafiche (ad esempio, delle mappe a colori).

Per salvare in una bitmap la legenda, non essendo disponibile un apposito comando, si utilizza il comando del sistema operativo Windows che pone nella memoria grafica la finestra attiva: fare clic sulla legenda, in modo che il bordo del titolo diventi blu (ciò significa che è la finestra attiva), e quindi premere contemporaneamente:

**ALT + STAMP**

Subito dopo è possibile incollare l'immagine della legenda ad esempio in Word, o in Paint, utilizzando i comandi:

**CTRL + V** o **MAIUSC + INS**

## B.12. FILES DXF

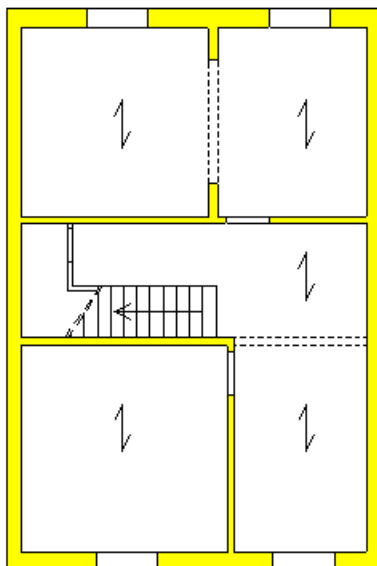
### B.12.1. INPUT DA FILE DXF

Il file DXF di input deve essere preparato con i dati strettamente necessari: è sufficiente definire, su opportuni layers, le polilinee che rappresentano pareti e maglie di solaio; non sono necessari testi descrittivi.

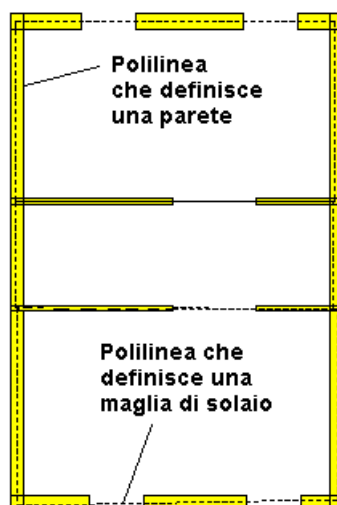
All'interno di PC.M verranno poi completati i Dati Edificio (dove si specificano i coefficienti sismici), i Dati Piani (dove si introducono le altezze di piano per il calcolo delle forze sismiche); visualizzando i Dati Pareti si potranno poi completare i dati rilevati dal file DXF con i parametri relativi a tipologia, altezza delle pareti, materiali, eventuali carichi concentrati non rilevabili dalle maglie di solaio. L'altezza delle pareti viene comunque posta di default pari a 3.00 m., in modo da generare immediatamente una visualizzazione 3D (nella finestra grafica 3D) dell'edificio inserito, anche se con altezze da correggere.

Si esamineranno ed eventualmente si completeranno anche i Dati Solai; infine, visualizzando i Dati Fondazioni, si completeranno anch'essi, se introdotti da DXF, oppure le fondazioni si definiranno attraverso i comandi interni di PC.M.

Nel file DXF di input, "parete" si usa in senso generalizzato, includendovi eventuali "strisce", travi e pilastri: tutti questi elementi, infatti, visti in pianta assumono lo stesso aspetto di polilinee. Analogamente può essere vista la pianta delle fondazioni.



**Fig. 93.** Esempio di pianta architettonica.



**Fig. 94.** Esempio di disegno per file DXF di input.

Prescrizioni da rispettare per la preparazione dei files DXF di input:

**a)** Le **misure** possono essere in qualunque unità: si consiglia l'uso dei metri, in quanto alla richiesta di PC.M di specificare la scala (durante la fase di input da DXF), è sufficiente confermare il valore proposto (1).

**b)** Le **polilinee delle pareti e delle fondazioni** devono essere definite da 4 o più vertici.

Nel caso di numero inferiore ( $\leq 3$ ), la parete o fondazione viene scartata.

Le polilinee delle pareti del piano i-esimo devono trovarsi sul layer: **PARETI0i** (*pareti-zero-i*),

e le polilinee delle fondazioni devono trovarsi sul layer: **PARETI00** (*pareti-zero-zero*).

Il layer delle fondazioni **PARETI00** non è indispensabile: se non si desidera disegnare le fondazioni, questo layer può anche non essere definito.

Le **polilinee dei solai** devono essere definite da almeno 3 vertici, altrimenti vengono scartate.

Le polilinee dei solai del piano i-esimo devono trovarsi sul layer: **SOLAI0i** (*solai-zero-i*),

e le polilinee dei solai di fondazione devono trovarsi sul layer: **SOLAI00** (*solai-zero-zero*).

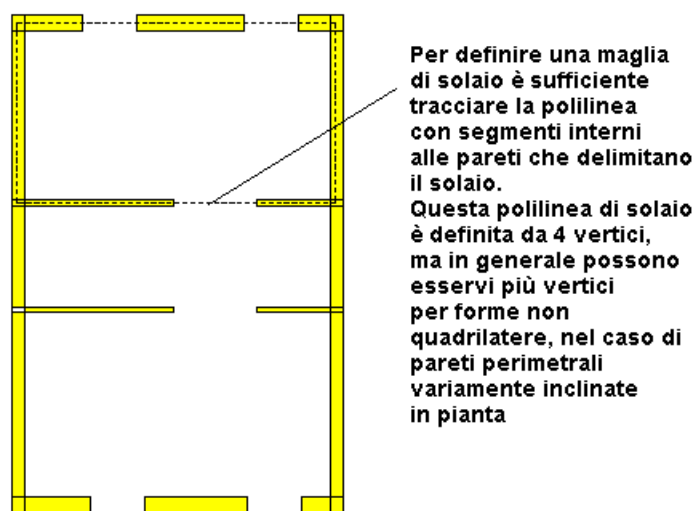
Non ha alcuna rilevanza specificare o meno qualunque polilinea (parete o solaio) in senso orario o antiorario.

**c)** Le **polilinee** delle pareti e delle fondazioni possono essere rettangolari o quadrilateri, o più in generale **poligonal**i. PC.M importerà la geometria così come disegnata; la gestione dei 'rettangoli rappresentativi' consentirà la rappresentazione tramite rettangoli di pareti e fondazioni poligonal, conformemente alle richieste di alcuni tipi di calcolo.

**d)** Le polilinee delle **maglie di solaio** devono essere chiaramente tracciate sulle pareti (o fondazioni) interessate: le linee quindi devono essere "interne" allo spessore delle pareti dell'allineamento; non ha rilevanza la posizione esatta, purché siano univocamente definibili le pareti che delimitano il solaio (figura 95).

**e)** Le maglie di solaio vengono automaticamente importate con **angolo di orditura** 0°, che l'utente potrà correggere nei Dati Solai di PC.M.





**Fig. 95.** Tracciamento di polilinee per maglie di solaio.

**f)** Non esistono vincoli sull'eventuale presenza di entità grafiche su **altri layers**, né su colore e tipo di linea delle polilinee. Non sono necessari testi descrittivi: i dati integrativi verranno inseriti direttamente all'interno di PC.M.

**g)** Il **sistema di riferimento XY** utilizzato da PC.M sarà quello adottato nel DXF (attenzione a porre tutte le origini dei piani sulla stessa verticale). Si consiglia di non generare coordinate negative (che comunque PC.M gestisce normalmente).

**h)** E' consigliabile specificare **3 posizioni decimali di precisione** in fase di creazione da CAD del file DXF (effettuata utilizzando, ad esempio, il comando AutoCAD: DXFOUT). Si consiglia, se disponibile, l'output su file DXF compatibile con la release 12 di AutoCAD: questo non impedisce affatto la preparazione del disegno nell'ambiente CAD (ad esempio, AutoCAD 2000), ma ha lo scopo di esportare il disegno su un file generalmente meglio rileggibile dai programmi applicativi esterni e quindi anche da PC.M.

**i)** Verificare che il **file DXF** per l'input sia posto nella directory: C:\PCM2000\EDIFICI.

**l)** Per quanto riguarda **elementi quadrati (pilastri)** eventualmente presenti nell'organismo murario, se si vogliono far appartenere, attraverso la generazione automatica degli allineamenti che PC.M eseguirà con l'importazione delle pareti dal file DXF, ad una specifica direzione X o Y, è consigliabile creare elementi rettangolari (allungati nella direzione desiderata) che successivamente, dopo l'input da DXF, saranno resi quadrati unificando Lx e Ly nei Dati Pareti.

Con l'input da DXF, PC.M legge pareti, fondazioni e solai e provvede al riordinamento con numerazione delle pareti, e alla generazione di allineamenti e sigle, secondo i criteri di ottimizzazione (gli stessi seguiti dal comando Ottimizza del menu Modifica della finestra Pareti: sono i criteri consigliati anche per l'introduzione dati manuale, già descritti ai paragrafi precedenti).

Data la molteplicità dei casi che possono presentarsi, sarà cura dell'utente verificare la correttezza dei dati introdotti in PC.M tramite file DXF.

### B.12.2. OUTPUT SU FILE DXF

I files DXF in output possono essere richiamati per visualizzazione ed eventuali modifiche e/o integrazioni dai programmi di CAD tramite gli opportuni comandi; ad esempio, in AutoCAD il comando DXFIN consente l'importazione dei disegni archiviati sotto forma di file DXF.

Tutte le rappresentazioni grafiche di PC.M sono esportabili su CAD via files DXF di output.

Nei vari disegni prodotti, PC.M utilizza i seguenti layers:

PARETI0i = pareti del piano 'i' (i=0,1,...,n; 0 = fondazioni; n = numero di piani dell'edificio)

TESTI0i = testi associati alle entità del piano 'i' (i=0,1,...,n)

VARI0i = entità varie del piano 'i' (assi, simboli orditura solai, baricentri, ...) (i=0,1,...,n)

RETINI0i = riempimento di pareti del piano 'i' (i=0,1,...,n)

DEFORMATA0i = deformata per azioni sismiche del piano 'i' (i=1,...,n)

LESIONI0i = lesioni per azioni sismiche del piano 'i' (i=1,...,n)

Per quanto riguarda i **colori su file DXF in output**, questi sono predisposti in modo da corrispondere a quelli visualizzati da PC.M. Comunque, le corrispondenze possono essere corrette all'interno del file

COLORCAD.TXT, utilizzando i codici numerici per i colori convenzionali idonei al particolare programma di CAD utilizzato. Alcune possibili combinazioni sono quelle di COLORCAD.001 (uguale a COLORCAD.TXT di default) e COLORCAD.002.

## B.13. SUGGERIMENTI SULL'USO INFORMATICO

**Per apprendere l'utilizzo di PC.M:** la migliore modalità di apprendimento all'uso del programma avviene leggendo e ripercorrendo con attenzione l'esempio riportato nel capitolo C.Esempi Applicativi, coincidente con l'esempio riportato anche nel volume di riferimento della Provincia di Perugia - Servizio Sismico Nazionale. Appena ricevuto il pacchetto, non conviene avventurarsi nell'uso del software subito con una propria struttura, magari complessa: prima eseguire l'esempio, seguendo le istruzioni passo-passo, e ripassare la Teoria, molto ben illustrata nel volume citato: la conoscenza della teoria è fondamentale per il consapevole utilizzo del programma. Stampare anche il presente Manuale, e leggerlo per cominciare ad apprendere le fasi di input ed i significati delle varie schematizzazioni strutturali (allineamenti, solai, files DXF, ecc.)

La seguente sezione (Come fare per...) intende dare una serie di risposte alle più frequenti domande inoltrate dagli Utenti. La AEDES Software s.a.s., con il proprio Servizio di Supporto per gli Utenti - svolto nell'ambito del Servizio di Assistenza - aggiorna periodicamente la pagina FAQ (=domande e risposte più frequenti) nel proprio sito Internet **www.aedes.it**

### B.13.1. COME FARE PER...

#### B.13.1.1. SALVARE UNA SCHERMATA

Qualunque schermata di Windows, relativa a qualsiasi programma utilizzato, può essere salvata come immagine bitmap per poi essere riutilizzata, ad esempio, per relazioni (ad es. in Word) o modifiche delle figure (ad es. in Paint).

Per salvare in una bitmap la schermata, si utilizzano i comandi del sistema operativo Windows:

**ALT + STAMP** pone in memoria solo la finestra attiva (quella correntemente in evidenza);

**STAMP** pone in memoria tutta la schermata di Windows.

Subito dopo è possibile incollare l'immagine ad esempio in Word, o in Paint, utilizzando i comandi:

**CTRL + V** o **MAIUSC + INS**

Per esempio, per esportare da PC.M l'immagine del Rapporto di elaborazione (può essere utile, dal momento che riassume sinteticamente i risultati di tutte le analisi effettuate), quando tale finestra si è attivata (al termine dell'esecuzione del calcolo), premere:

**ALT + STAMP**

e quindi, in Word, incollare.

#### B.13.1.2. SELEZIONARE TESTO IN UNA FINESTRA E COPIARLO ALTROVE

Il testo in una qualunque finestra può essere selezionato trascinandovi sopra il mouse, tenendo premuto il pulsante sinistro. Appena il testo è evidenziato, il comando:

**CTRL + INS**

pone in memoria il testo. Per incollarlo altrove, utilizzare:

**MAIUSC+INS**

Per esempio, questo tipo di esportazione può essere utile, in PC.M, per copiare parti di testo altrimenti non stampabili in relazione: vedi la Verifica dell'ancoraggio (finestra Pareti), o il calcolo della Spinta dalla copertura (finestra Solai).

### B.13.1.3. EVIDENZIARE CON UN CLIC GRAFICO I DATI DI UNA PARETE

Usare il comando **‘Seleziona’** del menu Immagine della finestra Grafica 2D, avendo attivato la voce di menu: **‘Singola’**.

Scelto il comando **‘Seleziona’**, facendo clic con il mouse in un punto del quadro grafico 2D, verrà selezionata la parete il cui baricentro è più vicino al punto di clic. Essa verrà rappresentata in evidenza sia nel disegno sia nella tabella dei Dati Pareti, dove i caratteri assumono il blu grassetto.

Avendo selezionato in grafica la parete, quando il fuoco successivamente torna sulla finestra Pareti, la tabella scorre presentando in evidenza la parete selezionata. Con questo metodo, è così possibile - per via grafica - evidenziare interattivamente i dati della parete selezionata.

### B.13.1.4. VISUALIZZARE SOLO UN GRUPPO DI PARETI (‘FILTRO’)

Per **filtrare il disegno delle pareti** (cioè disegnarne solo alcune aventi certe caratteristiche), procedere nel seguente modo.

Aprire la finestra Dati Pareti, scegliere il comando Seleziona... del menu Modifica: si apre una finestra di dialogo. Selezionare le pareti desiderate (p.es. tutte quelle dell'allineamento corrente, cioè l'allineamento della parete su cui è posizionata la cella nella tabella dei dati pareti), confermare con OK, quindi scegliere dal menu Disegna il comando **‘Solo Selezione’**.

Per ridisegnare tutte le pareti, scegliere direttamente il comando **‘Tutte le pareti’** del menu Disegna.

Nei Dati Pareti, le pareti selezionate presentano caratteri in blu grassetto: così, se si devono fare certe modifiche su questo gruppo di pareti (p.es. aumentare a tutte lo spessore), si riconoscono facilmente scorrendo la tabella.

### B.13.1.5. CREARE UNA PARETE PARALLELA AD UN’ALTRA

Si vuole creare una parete uguale ad una precedente: supponiamo per esempio che la parete da copiare sia orientata secondo Y, e che la nuova debba distare, per esempio, 4 metri.


Sia stata attivata la finestra Pareti ed il piano corrente sia quello interessato.

Si selezioni la parete da copiare: è sufficiente spostare la cella sulla riga della parete e fare clic sulla freccia indicatrice (campo fra N° e Dis.) (oppure fare direttamente clic su tale campo in grigio).

Quindi, usare il comando **‘Copia pareti selezionate...’** del menu Edit: nella casella di testo che si presenta in corrispondenza della parete, nella sua riga della tabella, digitare il vettore spostamento (nel caso in esempio: 4, 0, che significa: spostamento di 4 m. lungo X, e nullo lungo Y).

La nuova parete ha allineamento coincidente con la precedente: quindi, correggerlo manualmente oppure eseguire il comando Ottimizza del menu Modifica, che individuerà un allineamento Y corretto a cui far appartenere la nuova parete.

### B.13.1.6. CONSULTARE I RISULTATI NON SOLO SU GRAFICA, MA ANCHE SU TESTO

Utilizzare il comando **‘Informazioni’** (pulsante grafico ) della finestra grafica 2D, avendo precedentemente visualizzato (scegliendola come **‘Tipo di disegno’**) la rappresentazione grafica della verifica da consultare.

Si aprirà la finestra della Relazione, contenente i risultati desiderati. Per la legenda della simbologia, usare il comando **‘Legenda Risultati’** del menu Opzioni della finestra Relazione.

In questo modo, si possono tenere in linea col resto di PC.M (per esempio, contemporaneamente ai disegni corrispondenti) risultati numerici sotto forma di testo.

#### **B.13.1.7. MODIFICARE LE COLONNE VISUALIZZATE NELLE TABELLE**

Per ridurre la tabella dei Dati Pareti o Fondazioni o Solai alle sole colonne che interessano per la modifica dei dati, selezionare le colonne che NON interessano (facendo clic sulla loro intestazione, diventano blu) e quindi usare il comando Nascondi Colonne del menu Opzioni.

#### **B.13.1.8. ESSERE SICURI DI AVER DEFINITO CORRETTI ALLINEAMENTI**

Attivare l'animazione per allineamenti nella finestra grafica 2D o nella 3D. Allineamenti corretti corrispondono a paramenti murari verticali distinti.

In casi dubbi, eseguire il comando Ottimizza del menu Modifica della finestra Pareti. Si faccia attenzione agli elementi quadrati (pilastri): l'ottimizzazione può farli appartenere ad allineamenti diversi da quelli voluti (il pilastro quadrato non ha una direzione preferenziale).

Per ripartire nel modo migliore i carichi sui pilastri, conviene definire travi che collegano in sommità i pilastri alle murature o ad altri pilastri: le travi, infatti, avendo una direzione preferenziale (quella dell'asse longitudinale, che va a coincidere con l'allineamento) definiscono molto bene le aree di carico e quindi sono in grado di trasferire i carichi verticali ai pilastri nel modo più corretto e sicuro.

Ricordare che pareti aventi sviluppo secondo X (base X e spessore Y) devono appartenere ad allineamenti X, e viceversa. PC.M è in grado di gestire automaticamente gli allineamenti, attraverso l'input da DXF o attraverso il comando Ottimizza; usare invece attenzione qualora si voglia intervenire manualmente, modificando gli allineamenti proposti da PC.M.

#### **B.13.1.9. INTRODURRE NUOVI MATERIALI E ASSEGNARLI A PARETI**

I nuovi materiali possono essere introdotti nella tabella materiali. Si tenga presente che pur cambiando i parametri nella **Tabella Materiali**, non cambiano i parametri corrispondenti nei Dati Pareti: il collegamento interattivo fra le due finestre, infatti, non esiste.


La Tabella Materiali serve solo per definire i materiali; una volta che questi sono richiamati dai dati sui materiali dei Dati Pareti, nel seguito sono i valori dei Dati Pareti stessi che comandano, e che quindi vanno modificati direttamente; in alternativa, si richiami nuovamente un altro materiale.

Inserito un nuovo materiale, chiudere la finestra Tabella Materiali, chiudere anche la finestra Pareti (se presente), archiviare (Salva) e riaprire la finestra Pareti: a questo punto il nuovo materiale può essere letto dalla Tabella Materiali per richiamarlo nei Dati Pareti.

#### **B.13.1.10. VELOCIZZARE L'INSERIMENTO DELLE MAGLIE DI SOLAIO**

Utilizzare l'inserimento grafico delle maglie di solaio. Consultare il paragrafo B.11.6.1.

#### **B.13.1.11. ESSERE SICURI DI AVER BEN DEFINITO MAGLIE DI SOLAIO E PERIMETRI DI PIANO**

Il miglior modo di controllare la correttezza delle maglie di solaio e dei perimetri di piano consiste nel visualizzarli graficamente, utilizzando le apposite opzioni della finestra di dialogo 'Parametri di Disegno', attivabile anche dalla barra degli Strumenti con il pulsante grafico .

Nella scheda Dati, sotto al titolo: Solai, sono selezionabili le opzioni: Aree, e: Perimetro di piano.

Scorrere tutti i piani dell'edificio, per visualizzare aree e/o perimetri di piano.


Il perimetro di piano viene rappresentato nella pianta con un contorno in blu; se nella grafica 2D non si vede niente, il perimetro di piano non è stato ancora definito oppure la sua maglia contiene un errore e PC.M non riesce a costruirla.


Sia per i solai, sia per i perimetri di piano si tenga presente che la maglia corrisponde alla poligonale i cui vertici costituiscono ognuno l'intersezione fra due allineamenti consecutivi specificati nella stringa alfanumerica della

maglia stessa: quindi, fra due allineamenti consecutivi deve esistere un'intersezione; inoltre, non ripetere - al termine della stringa - il primo allineamento.

#### **B.13.1.12. VISUALIZZARE LE LESIONI SISMICHE**

Per i metodi di analisi globale a taglio sono disponibili 6 diverse modalità di rappresentazione dei risultati, fra cui le Lesioni Sismiche (la cui visualizzazione è possibile nella finestra grafica 3D).

Per vedere le **diverse rappresentazioni**, anzitutto scegliere l'appropriato disegno da Tipi di Disegno (pulsante grafico della barra degli strumenti con la T e il quadratino rosso: ); ad esempio, scegliere il metodo Por o altro metodo a taglio globale disponibile).

Viene in genere immediatamente visualizzato lo schema dell'edificio con Forze e Coefficienti. Per cambiare modalità di rappresentazione grafica, usare la scheda Analisi dei Parametri di Disegno (pulsante grafico ): si potranno così alternare la pianta degli Stati Limite, il diagramma Forza-Spostamento, il Dominio di Resistenza (solo nel 2D), la Deformata, il Quadro delle Lesioni (solo nel 3D). Sempre nella scheda Analisi, limitatamente ai metodi Por e PorFlex è possibile variare anche lo Stato Limite (Elastico, Ultimo, ecc.)

Per visualizzare invece i valori delle forze e delle tensioni, usare la scheda Forze e Tensioni dei Parametri di Disegno.

#### **B.13.1.13. INSERIRE NELLA RELAZIONE LE FIGURE DELLE FINESTRE GRAFICHE**

Per inserire nella Relazione di calcolo le figure, occorre: aver precedentemente creato la relazione su file RTF, ed averla aperta ad esempio con Word (Word è quindi aperto insieme a PC.M).

In PC.M, facendo clic sulla finestra grafica interessata, la si attiva (bordo evidenziato). Scegliere il comando 'Copia negli Appunti' (CTRL + C) dal menu Immagine; il comando pone nella memoria grafica di Windows l'immagine al momento visualizzata.

Per incollarla nella relazione: all'interno di Word, scorrere il testo fino alla posizione desiderata, e quindi eseguire il comando Incolla del menu Modifica di Word.

In alternativa, le immagini di PC.M possono essere salvate su bitmap, generando files di archivio grafico BMP in C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio, e quindi, magari in un secondo tempo, richiamate da Word per l'inserimento nella relazione.

Per salvare in una bitmap la **legenda**, non essendo disponibile un apposito comando, si utilizza il comando del sistema operativo Windows che pone nella memoria grafica la finestra attiva: fare clic sulla legenda, in modo che il bordo del titolo diventi blu (ciò significa che è la finestra attiva), e quindi premere contemporaneamente: **ALT + STAMP**

Subito dopo è possibile incollare l'immagine della legenda ad esempio in Word, o in Paint, utilizzando i comandi:

**CTRL + V** o **MAIUSC + INS**

#### **B.13.1.14. NON FARE ERRORI NEI DATI DELLE PARETI**

Alcuni consigli sui Dati Pareti.

##### **a) Ottimizzazione dei dati.**

Mentre l'input da DXF genera automaticamente gli allineamenti (fili di riferimento), nel caso di introduzione diretta dei dati è consigliabile eseguire il comando Ottimizza del menu Modifica, per generare automaticamente gli allineamenti.

##### **b) Pareti di piccole dimensioni.**

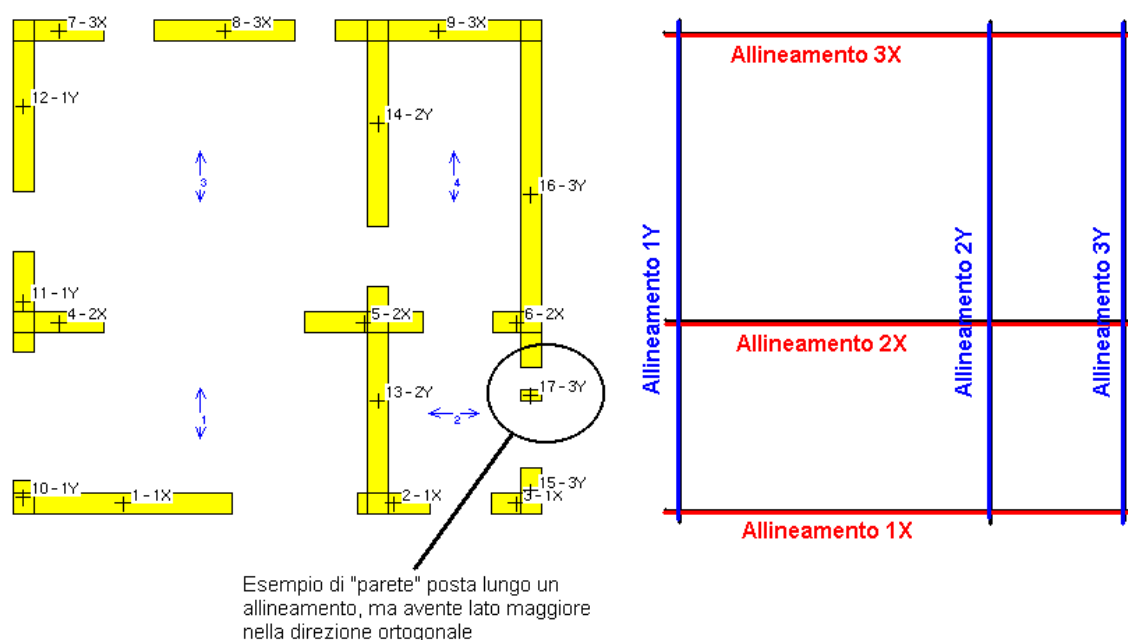


Fig. 96. Pareti di piccole dimensioni.

Normalmente, gli elementi verticali aventi piccola sezione dovrebbero essere trascurati ai fini della resistenza sismica; comunque, è possibile che negli schemi di calcolo siano presenti maschi a sezione trasversale quadrata o addirittura con lato minore lungo la direzione del proprio allineamento, come ad esempio la parete 17 nella fig. 96, che, pur avendo  $L_x > L_y$ , appartiene all'allineamento 3Y.

Se la geometria viene importata da DXF, questo elemento verrà classificato come elemento X, in quanto la direzione di allineamento di una parete viene sempre valutata sulla base del suo lato maggiore; analogamente, se si inseriscono i dati geometrici manualmente, e poi si esegue il comando di Ottimizzazione, la parete 17 diventa una parete X.

In casi di questo tipo, l'utente deve intervenire manualmente 'forzando' l'allineamento di competenza della parete (quindi, nell'esempio, si deve inserire 3Y nel campo Allineamento della parete 17; anche la sigla sarà opportuno modificarla in modo che diventi, a tutti gli effetti, una parete Y).

Dopo correzioni di questo tipo, non si dovrebbe (ri)eseguire il comando di ottimizzazione in quanto PC.M valuterà di nuovo la configurazione automatica, riattribuendo una valenza X alla parete 17.

Nel calcolo, la 'rigidezza trasversale' della parete - il cui significato è di rigidezza nella direzione di minore resistenza - è valutata in base alla direzione minore: quindi, la parete 17 reagisce nel proprio piano per sisma X ma non per sisma Y (pur appartenendo, appunto, a un allineamento Y).

#### c) Pareti di controvento.

Le pareti di controvento sono quelle che reagiscono sismicamente. Per il c.a., spesso (caso pilastri) si disattiva Controvento per non farli partecipare al sisma. Nel caso del c.a., se si vuole che invece partecipi, oltre ad attivare Controvento, assicurarsi che il Contributo c.a.-acciaio sia attivo anche nei Parametri di Calcolo (scheda Parametri Vari (1), Per Azioni Orizzontali).

#### d) Definizione dei Setti.

Ogni setto è definito, ad ogni piano, da una e una sola parete: quella a cui la striscia di 1.00 m. appartiene.

Per schematizzare più setti nel caso di maschi estesi in pianta, suddividere i maschi (ad esempio, utilizzando il comando Dividi del menu Edit della finestra Pareti).

Per non perdere rigidezza a causa del frazionamento, attribuire la stessa sigla alle parti frazionate di una stessa parete e attivare 'Assemblaggio pareti con uguale Sigla, Allineamento' nei Parametri Vari (1), Per Azioni Orizzontali.

### B.13.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA'

#### B.13.2.1. NUMERI STRANI NELLE TABELLE DATI

Se nelle tabelle dei dati compaiono numeri troppo grandi, per esempio uno 0.33 diventa 33, si tratta di un comportamento bizzarro di Windows, che può essere regolato nel seguente modo. Chiudere PCM. Nelle Impostazioni Internazionali (da Risorse del Computer), nella scheda Valute utilizzare - rispetto alla scheda Numeri - le medesime impostazioni sul Separatore Decimale e sul Simbolo Raggruppamento Cifre (punto . per il Separatore Decimale, ad es. la virgola per il Simbolo Raggruppamento Cifre). Confermare con OK, e lanciare nuovamente PC.M.

#### B.13.2.2. ERRORE durante la fase: 'DIMENSIONAMENTO SEMPLIFICATO secondo D.M. 16.1.1996'

Il Dimensionamento Semplificato secondo il D.M. 16.1.1996 è il primo metodo - nel corso dell'analisi sismica - dove vengono calcolate le aree di impalcato, e quindi se vi sono delle incongruenze nei dati dei Solai, riguardanti i Perimetri di piano, il calcolo si blocca a questo punto.

Controllare i Perimetri di Piano: se sono giusti, vengono visualizzati (usare: Parametri di Disegno, Solai: Perimetro di piano, e scorrere tutti i piani per vedere se ad ogni piano il perimetro è stato definito correttamente; ricordiamo che la definizione del Perimetro di Piano è obbligatoria per tutti i piani (fondazioni escluse)).



#### B.13.2.3. ERRORE durante la fase: 'CALCOLO DEI CARICHI E DELLE AREE DI INFLUENZA'

Alcune maglie di solaio non sono definite correttamente. Per controllarle, visualizzarle oltre che come orditura anche come area (usare: Parametri di Disegno, Solai: Aree, e scorrere tutti i piani per vedere se ad ogni piano sono state definite correttamente).

In una qualsiasi maglia di solaio (perimetri di piano inclusi), gli allineamenti devono essere specificati in una sequenza tale da creare una 'poligonale' i cui vertici sono le intersezioni di due allineamenti consecutivi. Per visualizzare gli allineamenti, attivare la corrispondente opzione nei Parametri di Disegno, nel gruppo Dati, Pareti e Fondazioni (magari disattivare la numerazione, per leggere meglio il disegno).

Due allineamenti consecutivi devono essere separati, nella stringa alfanumerica di definizione della maglia, da uno e un solo spazio bianco.

Quindi una stringa del tipo: "1X1Y2X2Y" non va bene, mentre va bene: "1X 1Y 2X 2Y".

Suggerimento per i Dati Solai: per definire le maglie, può essere conveniente usare il comando Maglia per Pareti del menu Opzioni della finestra Dati Solai, o meglio ancora l'inserimento grafico reso possibile dagli appositi pulsanti grafici  e  della finestra Grafica 2D.

#### B.13.2.4. ERRORE NELL'ESECUZIONE DI UN DISEGNO

Qualora si verificassero errori di tipo grafico legati alla gestione delle finestre 2D e 3D, questi dipendono generalmente da sequenze di comandi non corrette legate alla presenza di incongruenze nei dati.

Si consiglia di chiudere la finestra grafica che ha generato l'errore, e quindi successivamente riaprirla, utilizzando il corrispondente comando del menu Finestra.

#### B.13.2.5. CONSIGLI SULL'INPUT DA FILE DXF

Se eseguendo l'input non si ha alcuna visualizzazione della struttura, provare a esportare su **DXF per la release 12** di AutoCAD.

Per le pareti e le fondazioni, costruire **polilinee chiuse** (si consiglia di usare il comando CHIUDI).

Non fare clic più di una volta sullo stesso vertice (i **vertici consecutivi** devono essere tra loro **distinti**).



Per generare **pareti o fondazioni rettangolari**, rettificare pareti irregolari: più vicina alla rettangolare è la forma della sezione trasversale del maschio murario, meglio la parete viene riletta da PC.M. Nel caso che non sia stato disegnato un vero e proprio rettangolo, la parete sarà comunque una poligonale (quadrilatera o a più vertici), ma comunque - se la polilinea era 'approssimativamente' un rettangolo - il 'rettangolo rappresentativo' della parete sarà molto simile alla parete stessa.

Non usare il sistema di riferimento **UCS**: può creare problemi sul DXF.

**Altri consigli**: usare i metri (in modo che la scala di lettura sia 1); tenere l'origine nell'angolo in basso a sinistra per non avere coordinate troppo grandi e quindi visualizzazioni falsate in PC.M (in PC.M viene visualizzato, in 2D e in 3D, sempre tutto il quadro, struttura e origine degli assi inclusa).

Se i **solai** non sono molti, è preferibile inserirli all'interno di PC.M.

**Travi e strisce** possono essere aggiunte, in molti casi, in PC.M, dopo l'importazione da DXF delle pareti. Se sono state disegnate in pianta insieme alla traccia delle pareti, verranno comunque interpretate come pareti: occorrerà, in PC.M, cambiarne la tipologia.

Le **fondazioni** possono essere definite in CAD e quindi importate via DXF; talvolta, può essere immediata la loro definizione anche all'interno di PC.M attraverso il comando 'Crea Fondazioni da Pareti' del menu Opzioni della finestra Fondazioni.

#### **B.13.2.6. BARRA DEGLI STRUMENTI INCOMPLETA**

La barra degli Strumenti può risultare troncata sulla destra della schermata. L'ultimo pulsante grafico a destra deve essere sempre il pulsante della Guida: **?**.

Per visualizzare al completo la barra degli Strumenti, utilizzare la risoluzione 1024x768: è questa la risoluzione ottimale per l'uso di PC.M (consigliata, peraltro, con caratteri grandi. I caratteri piccoli peggiorano in generale la visualizzazione per qualunque risoluzione, poiché riducono le dimensioni dei caratteri senza vantaggi per la risoluzione grafica in sé).

In alternativa, ad esempio in caso di risoluzione 800x600, si consiglia di visualizzare la barra degli Strumenti non completa, usando i comandi del menu Opzioni della finestra Edificio).

#### **B.13.2.7. FINESTRE SOVRAPPOSTE**

Spostando le finestre di PC.M sul video, con operazioni tipiche di Windows, è possibile creare schermate caotiche. In tal caso, si consiglia di utilizzare il comando 'Disponi' del menu Finestra, che ottimizza la disposizione delle finestre di PC.M, secondo le modalità di default più convenienti per la gestione del programma.

In alto, vengono affiancate le due finestre grafiche 2D (a sinistra) e 3D (a destra); in basso la finestra di testo corrente (le altre eventualmente aperte restano sotto la finestra attiva). In pratica, si ripristina la disposizione di finestre presentata all'avvio da PC.M.

In ogni momento, quindi, anche dopo aver spostato e/o ridimensionato alcune finestre, è possibile richiamare la disposizione ottimale.

#### **B.13.2.8. IMPOSSIBILE INSTALLARE PC.M 2000 IN ALTRE DIRECTORY**

PC.M 2000, versione 4.0, richiede la directory obbligatoria: C:\PCM2000\EDIFICI.

Installazioni diverse produrranno incompatibilità di utilizzo e impossibilità di archiviazione dei files.

#### **B.13.2.9. IMPOSSIBILE APRIRE PIÙ ISTANZE DI PC.M 2000**

PC.M 2000, versione 4.0, non prevede tale possibilità. Quindi, per esaminare più strutture non si può contemporaneamente aprire più di una istanza di PC.M 2000. Occorre cambiare la struttura all'interno del programma, richiamando di volta in volta l'edificio desiderato.

## B.14. SUGGERIMENTI SULL'USO INGEGNERISTICO

### B.14.1. COME FARE PER...

#### B.14.1.1. ELEMENTI MURARI IRREGOLARI

In PC.M, i maschi murari e le fondazioni possono avere **sezione trasversale rettangolare o poligonale**. Per quanto riguarda le fondazioni, il solido è sempre prismatico con altezza costante per tutti i vertici. Riguardo alle pareti, mentre la base è considerata sempre posta su un piano orizzontale (alla quota di base 'H base', parametro geometrico dei Dati Pareti), la sommità può avere altezza variabile. Nel caso più semplice di parete a sezione rettangolare ad esempio sotto falda (parete con sovrastante copertura dell'edificio), sarà sufficiente definire un'altezza iniziale e un'altezza finale. Pareti a sezione poligonale, invece, possono avere vertici superiori ad altezze tra loro indipendenti. Opportuni algoritmi di calcolo provvedono alla valutazione del reale volume e della reale superficie laterale della parete.

In PC.M 2000, versione 4.0, non è possibile schematizzare **'contrafforti'** o **'speroni'**, cioè pareti a sezione variabile in altezza (talvolta presenti alle quote inferiori di edifici murari esistenti). Utilizzare ad esempio la sezione a metà altezza per schematizzare l'intera parete senza alterare il valore del peso proprio.

#### B.14.1.2. MURATURE MISTE NON RICONOSCIBILI NELLE TIPOLOGIE DI NORMATIVA

Questo caso si presenta, ad esempio, con una parete geometricamente individuabile come singolo maschio murario ma, dal punto di vista del materiale, costituita in parte in pietrame e in parte in mattoni.

Si possono definire 'nuovi' materiali con caratteristiche intermedie basate su 'medie pesate' (p.es. facendo riferimento ai volumi dei diversi componenti).

In caso di distinte murature omogenee tra loro solidarizzate (p.es. una parete in pietra accanto e collegata a una in mattoni pieni) è possibile attribuire loro la stessa sigla, e se sono poste sullo stesso allineamento la loro rigidezza può essere assemblata (Parametri di Calcolo, Parametri Vari (1), Per Azioni Orizzontali), in modo da non perdere la rigidezza determinata dalla loro connessione (la rigidezza è fortemente dipendente dalla lunghezza di base del maschio murario).

#### B.14.1.3. INDIVIDUARE I 'SETTI' SIGNIFICATIVI PER LE VERIFICHE AD AZIONI ORTOGONALI

I setti, sempre considerati nel calcolo come strisce di base 1.00 m., vengono definiti adottando una sigla specifica per ogni paramento murario (ad. es. A, B, ...) e attribuendola, piano per piano, alle pareti che compongono tale setto [tale sigla è preceduta da un segno meno: "-" (ad es.: -A) qualora il setto ribalti alla sua sinistra (in tale modo viene assicurata la corretta interpretazione dei segni delle azioni ribaltanti e stabilizzanti)]. I setti vengono definiti normalmente in posizioni notevoli (per esempio: zone di massimo o minimo carico, zone più lontani dagli irrigidimenti trasversali), opportunamente scelte dal progettista in modo da esaminare le varie possibilità di innesco dei meccanismi di collasso a ribaltamento e a pressoflessione ortogonale.

Appare poco significativo analizzare setti ad esempio in corrispondenza degli incroci fra muri ortogonali: invece che eseguire un calcolo dubbio, in tali casi è molto meglio mettere a punto il progetto esecutivo di intervento, rendendo solidali fra loro le pareti qualora l'ammorsatura non sia soddisfacente.

In PC.M 2000 è possibile analizzare **setti definiti a partire da qualsiasi piano in elevazione**, fino ad un piano fra quelli sovrastanti: è necessario che il setto sia definito con continuità dal piano più basso di inizio fino al piano più alto di fine.

#### **B.14.1.4. SCHEMATIZZARE I BALCONI**

I balconi (e analogamente le gronde e altri aggetti) possono essere schematizzati in due modi:

- o costruendo tramite travi di bordo (anche se fittizie) le maglie di solaio che li definiscono, e quindi eseguendo l'analisi automatica dei carichi (vd. l'esempio di apprendimento N-A-03 fornito in dotazione a PC.M);
- oppure attribuendo direttamente il carico distribuito alle pareti interessate (dati sui Carichi distribuiti, nei Dati Pareti). L'eccentricità del carico deve in tal caso essere quella dell'appoggio (ipotizzando la distribuzione triangolare, con punta massima a lato balcone).

Se si utilizzano travi fittizie, queste possono rappresentare 'cordoli' di bordo; le travi fittizie possono avere peso specifico nullo.

#### **B.14.1.5. IL CASO DI EDIFICI CONTIGUI**

Per gli edifici contigui, la Normativa (D.M. 16.1.1996) recita, al punto C.9.10:

“Nel caso di complessi edilizi privi di giunti tra gli edifici, il progetto esecutivo dell'intervento deve documentare la situazione statica degli edifici contigui, a dimostrazione che gli interventi previsti non arrechino aggravii a tale situazione.”

Il corrispondente paragrafo della Circolare n.65 del 10.4.1997 recita:

“Per quanto riguarda i complessi edilizi, nel caso di assenza di giunti, i calcoli di verifica devono tener conto, anche con valutazioni approssimate, delle eventuali azioni trasmesse dagli edifici contigui.

Per gli edifici in muratura, ciò può essere fatto, in prima approssimazione, aumentando convenzionalmente le forze orizzontali di progetto, facendo gravare sulle strutture resistenti dell'edificio in esame una quota parte delle masse relative agli edifici adiacenti.”

E' quindi evidente che occorre considerare una parte della massa dell'edificio adiacente. La metodologia con cui affrontare in PC.M la presenza di un edificio contiguo si articola sostanzialmente in due casi distinti.

1. I solai dell'edificio contiguo si appoggiano sulle pareti dell'edificio analizzato.

In tale caso, si può procedere alternativamente:

- o inserendo una trave libera fittizia a metà luce del solaio dell'edificio adiacente, e quindi una maglia di solaio, per calcolare automaticamente il carico che interessa le pareti di confine dell'edificio analizzato;
- oppure inserendo direttamente tale carico nei Dati Pareti, sulle pareti di confine interessate.

2. I solai dell'edificio sono orditi parallelamente alle pareti di confine.

In tal caso, non è corretto attribuire il carico alle pareti di confine, perché si sovrastimerebbe il carico verticale ivi agente, con alterazione, fra l'altro, della resistenza a taglio. Però la massa dell'edificio contiguo c'è: il modo migliore di considerarla è di inserire il carico della porzione di solaio dell'edificio contiguo (generalmente pari al 50% del carico dell'intero solaio) nei Dati Piani, in corrispondenza dei parametri G e Q (parte permanente e parte accidentale), e quindi considerare tali carichi come Aggiuntivi nella scheda Analisi Statica dei Parametri di Calcolo (Carichi G,Q e Forze F specificati nei Dati Piani).

#### **B.14.1.6. PIANI SFALSATI**

Se i solai sono sfalsati di poco (p.es. 3-4 gradini da una zona all'altra dell'edificio), conviene definire un unico impalcato alla quota media (o alla più alta), utilizzando poi i parametri di altezza delle pareti per posizionarle corrette geometricamente (la corretta geometria è importante perché ad essa corrispondono corretti pesi propri). Agire su 'H base' per scostare la base della parete rispetto alla quota d'impalcato.

Se i solai sono invece a mezzopiano, si possono definire tanti impalcati quanti sono i solai; ad ogni piano, quindi, vi saranno aree vuote e aree con maglie di solaio; ad ogni piano, le pareti avranno altezze geometriche ridotte (p.es. 150 cm. per solaio di mezzopiano su interpiani di 3.00 m). Per non alterare i calcoli sulle rigidezze, specificare 'H calc' (altezza di calcolo complanare, usata ad es. nel Por) come l'effettivo interpiano di 3.00 m. (è vero che così facendo i calcoli delle pareti interessate si ripetono a due piani, ma l'importante è fare riferimento ai coefficienti più sfavorevoli e comunque l'operazione è consentita dalle procedure di analisi piano per piano). Per ulteriori approfondimenti, si consulti il paragrafo B.5.2.13.

#### B.14.1.7. FONDAZIONI SFALSATE

Tutte le pareti del piano 1 sono sempre fisicamente fondate. Nel caso di fondazioni su piani sfalsati, lo sono anche alcune pareti del piano 2 (e in casi più complessi, di piani superiori). Basta rendere verde l'icona corrispondente nei Dati Pareti, e poi definire le fondazioni usando il comando Crea Fondazioni da Pareti del menu Opzioni della finestra Fondazioni.

Il 'ribaltamento' dell'edificio sotto la risultante sismica, comunque, viene studiato su un piano orizzontale di proiezione di tutte le fondazioni; i carichi verticali sono comunque quelli effettivi.

Per ulteriori approfondimenti, si consulti il paragrafo B.3.3.1.4.1.

#### B.14.1.8. CONSOLIDARE IN PRATICA UN EDIFICIO

Per migliorare uno Stato Attuale e pervenire allo Stato Modificato, dobbiamo studiare in che modo tradurre in 'numeri' e 'parametri' gli interventi concreti di consolidamento.

Per migliorare le **Verifiche ad Azioni Ortogonali** occorre:

- inserire tiranti o solette armate o controventi (ne deriva un tiro non nullo);
- rendere i vincoli efficaci (connessioni fra pareti e solai e fra pareti e pareti che riducano le luci libere tra i due irrigidimenti ortogonali fra cui è individuato un setto);
- aumentare lo spessore delle pareti (p.es. con un intonaco; la verifica a pressoflessione ortogonale è molto sensibile allo spessore della parete);
- migliorare le caratteristiche di resistenza meccaniche della muratura;
- eliminare le spinte delle volte e delle coperture;
- rivedere la distribuzione dei carichi agenti.

Per migliorare le **Verifiche a Taglio per Azioni Complanari** (fra cui il Por):

- rivedere la geometria (modificandola in modo da diminuire l'eccentricità del centro delle rigidzze rispetto al baricentro delle masse);
- migliorare le caratteristiche meccaniche (intonaco armato; cucì-scucì; iniezioni; perforazioni armate in grado di conseguire un incremento di duttilità);
- inserire cerchiature delle aperture in grado di ripristinare la continuità per pareti forate [ per un'analisi completa dell'argomento 'Cerchiature' consigliamo il software "AC.M : Aperture e Cerchiature in Murature portanti", della AEDES Software, contenente una dettagliata analisi teorica. Si evidenziano fra l'altro i metodi di calcolo secondo i quali una parete forata può essere ricondotta ad una parete equivalente ];
- rivedere la distribuzione dei carichi (preferibilmente avvicinare il baricentro geometrico a quello delle masse, entrambi visualizzabili nel disegno delle Tensioni medie di Compressione);
- inserire tirantature nelle pareti (s,po e s,pv nei Dati Pareti: tiranti nel piano della parete stessa, orizzontali o verticali) capaci, con lo sforzo di precompressione, di aumentare lo sforzo normale e quindi la resistenza a taglio, nonché di legare più efficacemente i materiali;
- cambiare lo schema di calcolo masse di piano (Parametri di Calcolo, Analisi Sismica): lo schema a fasce ben si addice a uno Stato Modificato con ottime connessioni fra impalcati e pareti, mentre lo schema a piani completi (totalità della massa trasferita all'impalcato sovrastante) è a favore di sicurezza e normalmente utilizzato nel caso di legature incerte.

Per quanto riguarda la **Verifica delle Fondazioni**, anche il passaggio dallo schema Locali in uno Stato Attuale (dove le fondazioni possono essere tra loro scollegate) allo schema su Piano Rigido allo Stato Modificato (dove invece si realizzano cordoli e collegamenti) può condurre a un significativo ridimensionamento delle massime sollecitazioni sul terreno.

#### **B.14.1.9. COSA SONO I 'VINCOLI EFFICACI' ED I 'TIRI'**

Il tiro serve per la Verifica a Ribaltamento: questa è una verifica di una parete come se fosse un muro, sottoposta alle azioni stabilizzanti dei tiri e dei pesi e a quelle instabilizzanti del sisma e delle spinte da volte e da tetti.

Il vincolo efficace crea l'appoggio in sommità alla parete nella verifica a trave continua del setto per PressoFlessione per Azioni Ortogonali.

Se si interviene nei collegamenti, negli Stati Modificati frequentemente si ha - in corrispondenza delle pareti che definiscono i setti - sia un tiro non nullo, sia il vincolo efficace. Le colonne Vincolo efficace e Tiro, nei Dati Pareti, sono influenti per tutte le pareti ove non sono definiti setti.

I tiri sono spesso dovuti a catene, ma possono essere generati da qualunque sistema in grado di contrastare il ribaltamento rigido della parete (p.es. una rete elettrosaldata nel solaio ammorsata nel cordolo della parete dove si schematizza il setto, può - con i propri tondini - realizzare un tiro resistente idealmente simile a 'catene' diffuse. Di fatto, tali armature non sono pretese, ma di fronte ad un'azione ribaltante possono entrare in trazione contrastandola).

#### **B.14.1.10. CONSIDERARE LE SPINTE DALLE VOLTE E DALLE COPERTURE**

Mentre le spinte dalle volte sono gestite automaticamente da PC.M (e vengono applicate alla reale altezza d'imposta, quindi sotto la quota di solaio), le spinte della copertura devono essere inserite nei Dati Pareti nelle colonne in colore celeste (gruppo di colonne dei Carichi) Fperm.distr. e Facc.distr.

Per calcolare le spinte prodotte da falde di tetto inclinate, usare l'apposita utilità nella finestra dei Dati Solai, avendo posizionato la cella in corrispondenza della maglia a pendenza non nulla.

Nel caso di tetti con travi puntoni, che spingono puntualmente per esempio su un angolo dell'edificio, non è possibile con PC.M definire una spinta con il calcolo: infatti, le travi in PC.M sono solo elementi ripartitori di carico, in grado di assumere carico verticale (dato dalla ripartizione dei carichi delle maglie di solaio), ma non di generare spinte (non sono, per intendersi, aste nel senso degli elementi finiti). Valutare quindi a parte la spinta, ed attribuirla ai setti interessati.

Definire un setto da verificare a ribaltamento in corrispondenza di un incrocio d'angolo ha comunque scarso significato (al di là dei numeri, va condotto un intervento concreto di ammorsamento delle murature ortogonali e di legatura delle pareti ai solai).

Le spinte hanno effetto numerico solo sulle verifiche per azioni ortogonali (ribaltamento e pressoflessione), mentre non rivestono alcun ruolo nelle verifiche globali a taglio o a pressoflessione complanare (per loro stessa natura le spinte sono ortogonali alle pareti).

PC.M prevede volte a botte e a padiglione: per volte a crociera, le spinte sono concentrate: si suggerisce di valutarle a parte oppure di equipararle a volte a padiglione.

In tutti i solai a volta è obbligatorio definire un'altezza di imposta diversa da zero, per rendere possibile il calcolo della spinta.

#### **B.14.1.11. CONSIDERARE LA SPINTA DEL TERRENO**

Specificare i parametri geotecnici nei Parametri di Calcolo, Parametri Vari (2).

La quota del piano di campagna è la quota, rispetto al piano di intradosso delle fondazioni, di superficie del terreno (ad es. 3.00 m. per un piano interrato). Nei Dati Pareti, attivare la spinta del terreno sulle pareti interessate.

La spinta agirà nelle verifiche ad azioni ortogonali sulle pareti di interpiano, per le quali può essere considerata equiversa alla vibrazione della massa della muratura verso l'interno dell'edificio.

Nelle verifiche ad azioni ortogonali dei setti, invece, dove si studia specificatamente un'inflexione verso l'esterno, la spinta delle terre (stabilizzante) viene trascurata, a favore di sicurezza.

La spinta del terreno non ha comunque effetto automatico sulla forza globale da ripartire sulle pareti: per piani interrati, infatti, l'effetto scatola prevede che se da una parte la terra spinge attivamente, dall'altra resiste con una spinta passiva. Magari per semi-interrati può esservi un verso sfavorevole in cui la forza sismica si cumula all'azione delle terre: in tal caso, agire sulle forze  $F$  dei Dati Piani incrementandole ove necessario rispetto ai valori  $F_{\text{default}}$  automaticamente valutati dal programma.

Per ulteriori approfondimenti, si consulti la descrizione del dato di input 'Spinta terr.' dei Dati Pareti al paragrafo B.5.1.

#### **B.14.1.12. VERIFICARE SE IL COEFFICIENTE 'C' ALLO STATO DI PROGETTO AUMENTA PIU' DEL 10% RISPETTO AL VALORE DI RIFERIMENTO**

In un parere espresso dal Comitato Tecnico Scientifico riguardante la Regione Marche (20.12.1999, punto D.) si specifica che il **C massimo allo Stato di Progetto non deve essere superiore a 0.07 (con una tolleranza massima del 10%: quindi, non superiore a 0.077)** [il riferimento 0.07 è ovviamente relativo alla zona sismica di IIa categoria:  $S=9$ ].

Già l'applicazione della Legge 61 sosteneva che  $C_{\text{fin}}$  deve tendere a  $C_{\text{rif}}$ , ma con questo parere viene definito un preciso intervallo in cui deve essere collocato il  $C_{\text{max}}$  dello Stato di Progetto (che non è  $C_{\text{fin}}$ , essendo appunto  $C_{\text{fin}}=C_{\text{minimo}}$  dello Stato di Progetto).

Per determinare il  $C_{\text{max}}$  devono essere necessariamente considerate le Verifiche a PressoFlessione ortogonale e a Taglio globale (e a PressoFlessione complanare, se eseguita), mentre si può trascurare la Verifica a Ribaltamento (che conduce a valori di  $C$  spesso molto elevati, anche con normali interventi di stabilizzazione).

E' ragionevole ipotizzare che la motivazione di questo parere tecnico sia il contenimento del costo di consolidamento dell'edificio, fissando un limite massimo di rafforzamento nei confronti dei vari meccanismi di collasso.

Questo approccio può essere utile in generale per lo studio degli interventi di consolidamento, anche al di là dell'applicazione della Legge 61/98, in quanto si pone l'obiettivo di evitare un eccessivo irrigidimento degli edifici, rispettandone la loro storia originaria.

Si deve però osservare che un'applicazione troppo rigorosa di questa limitazione di  $C_{\text{max}}$  potrebbe interferire con la buona organizzazione del progetto di consolidamento. Al di là del risultato numerico, può darsi infatti che le esigenze del buon costruire determinino la necessità di interventi estesi (p.es. intonaco armato su tutte le pareti perimetrali, in modo da creare una 'cintura' di consolidamento tutto attorno all'edificio) ai quali inevitabilmente corrispondono valori di  $C_{\text{max}}$  allo Stato di Progetto più elevati del limite proposto. In casi di tale tipo, non sempre risulterebbe idoneo 'ridurre' forzatamente l'intervento solo per motivi 'numerici'.

In ogni caso, per verificare con PC.M che il  $C_{\text{max}}$  non superi una soglia prefissata rispetto al  $C$  di riferimento (per esempio, appunto, il 10%), è sufficiente, nel Rapporto di Elaborazione, scegliere la modalità (2/5) di visualizzazione dei Coefficienti di Sicurezza (vd. paragrafo B.3.3.2.): con tale modalità, il coefficiente - ad esempio, non dovrebbe superare il valore 1.10.

### B.14.1.13. IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI COPERTURA








Nel parere espresso dal Comitato Tecnico Scientifico riguardante la Regione Marche (20.12.1999), si ritiene fra l'altro che "(...) la realizzazione di una soletta armata sopra il pianellato di un tetto in legno comporti una migliore rigidezza dell'orizzontamento, salvo che il peso non sia eccessivo, pertanto può essere ritenuto intervento di miglioramento sismico, a condizione comunque che tale orizzontamento sia reso solidale con le murature (...)"; per quanto riguarda invece la disposizione di un cordolo sommitale, "questa ha tutt'altra funzione dell'orizzontamento proposto".


In base all'ipotesi di rigidezza di impalcato più o meno effettiva, verrà specificato per l'ultimo piano il dato 'Piano Rigido' dei Dati Piani. Come per ogni livello in elevazione, si ricorda che nel caso di 'piano deformabile' non è applicabile il Metodo Por (fra le cui ipotesi c'è appunto l'infinita rigidezza d'impalcato): PC.M utilizzerà in tal caso i metodi idonei per i 'Piani Deformabili' (dove la ripartizione della forza orizzontale sismica avviene non in base alle rigidezze, ma in base alle aree di carico senza alcuna collaborazione reciproca tra le pareti).

## B.14.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA'

### B.14.2.1. NON SI RIESCE A RAGGIUNGERE LA VERIFICA DELLO STATO DI PROGETTO

Esplorare in dettaglio le verifiche difficili da soddisfare, consultando:

- entrambe le direzioni di verifica X, Y (anche usando i pulsanti grafici della barra degli Strumenti:  ,  );
- tutti i piani dell'edificio (spostarsi tra i piani usando i pulsanti grafici:     );
- entrambe le combinazioni di carico sismiche (usando il pulsante grafico:  ).

Elaborare la Relazione con tali verifiche, e consultarne i risultati sotto forma di testo all'interno della finestra Relazione, attraverso il comando di richiesta 'Informazioni'  della finestra Grafica 2D: le pareti evidenziate da un asterisco in rosso non soddisfano la verifica.

Intervenire quindi sui punti deboli dell'edificio, migliorandone le caratteristiche.

Valutare criticamente la traduzione in parametri numerici dei previsti interventi concreti di consolidamento.

Si deve sempre tener presente che un progetto di consolidamento bene impostato dovrebbe condurre ad un positivo riscontro numerico.


Eccessivi interventi, ad esempio di irrigidimento o di cambiamento dell'organizzazione strutturale dell'edificio, potrebbero 'stravolgere' l'assetto originario dell'edificio stesso giungendo sì a numeri formalmente soddisfacenti, ma tradendo di fatto lo spirito di 'miglioramento' che corrisponde a un buon intervento di consolidamento (e che, nel caso della ricostruzione antisismica nelle Regioni Umbria e Marche, ha ispirato le direttive di intervento).

### B.14.2.2. ANALISI SISMICA SODDISFATTA, MA ANALISI STATICA NO

Talvolta può aversi il caso di Verifica Sismica totalmente soddisfatta, ma tensioni medie di compressione (di tipo statico) localmente superiori al valore ammissibile (la tensione media è calcolata con  $G+Q$ , e la tensione ammissibile è  $1/5$  di quella a rottura). Sarebbe opportuno, in tal caso, ingrossare un po' la parete troppo compressa.

A volte si tratta però di risultati teorici: si consideri l'esempio del Volume "Terremoto in Umbria e Marche del 1997". L'eccessiva compressione (peraltro poco superiore al limite ammissibile di riferimento) in una parete di piccole dimensioni sarà, nella realtà, smorzata dalla connessione di questa con la parete ad essa ortogonale, meno sollecitata (in pratica, nella zona in comune, la tensione si uniforma alla media).

Per visualizzare le pareti compresse oltre il limite ammissibile, eseguire il disegno 'Tensioni medie di compressione', e quindi selezionare l'opzione 'Verifica' sotto il titolo 'Tensioni' nella scheda 'Forze e Tensioni'

dei 'Parametri di Disegno': le pareti non verificate appariranno in colore grigio. Aprire la legenda (dalla barra degli Strumenti: ) per consultare la scala di tensione.

#### **B.14.2.3. VALORI NEGATIVI NEI COEFFICIENTI 'C' DEL RAPPORTO DI ELABORAZIONE**

Tali valori sono fisicamente assurdi. Possono essere generati dall'attribuzione dello stesso allineamento a pareti su paramenti (cioè allineamenti fisici) diversi, per esempio su prospetti diversi (in modo che la risultante dei carichi è fuori dalla corretta posizione). Controllare quindi la correttezza dei dati.

#### **B.14.2.4. VALORE ZERO (0.000) DI 'C' NELLE VERIFICHE PER AZIONI ORTOGONALI NEL RAPPORTO DI ELABORAZIONE**

Nelle Verifiche a Ribaltamento, può trattarsi di un valore molto piccolo (p.es. 0.0004, dove i primi tre decimali sono nulli). Nel caso di spinte statiche da volte e tetti, può darsi che già la verifica statica a ribaltamento non sia soddisfatta e pertanto non è ipotizzabile nessun incremento di azione instabilizzante; quindi, il coefficiente 'C' del dominio di resistenza è zero (nessun sisma è tollerabile dal setto).

Per la Verifica a PressoFlessione ortogonale, può darsi che lo 0.000 sia causato da un elemento troppo snello: snellezze superiori a 20, nel caso di analisi con D.M. 20.11.1987, generano infatti una condizione inaccettabile e quindi nessuna azione sismica può considerarsi lecita per quel setto.

#### **B.14.2.5. PERCHÉ SI ESEGUE SEMPRE IL DIMENSIONAMENTO SEMPLIFICATO secondo D.M. 16.1.1996 ?**

Questo metodo di analisi viene sempre eseguito, e sempre all'inizio dell'analisi sismica, in quanto al suo interno vengono calcolati importanti parametri (ad esempio, le aree resistenti di muratura). Corrisponde all'applicazione delle regole del punto C.5.2 del D.M. 16.1.1996, specificatamente scritte per edifici nuovi. Se sono rispettate, rendono superflua l'analisi globale approfondita. Per gli edifici esistenti, può costituire un utile riferimento. In ogni caso, PC.M, pur eseguendo tale verifica, non la considera ai fini della soddisfazione dell'Analisi Sismica, in quanto l'analisi globale estesa sopperisce alle carenze del Dimensionamento Semplificato (per questo, tale verifica può non essere soddisfatta, ma l'Analisi Sismica dell'edificio sì).

#### **B.14.2.6. VERIFICA IN FONDAZIONE NON SODDISFATTA**

Può dipendere da valori troppo bassi della Capacità Portante del Terreno (definita nei Parametri di Calcolo, Parametri Vari (2)): essa NON è la Tensione Ammissibile. La Tensione Ammissibile viene ricavata dalla Capacità Portante: staticamente, attraverso la divisione per 3; sismicamente, nel solo caso degli edifici esistenti, per 2.4 (riduzione del 20% del coefficiente di sicurezza).

#### **B.14.2.7. NON SI POSSONO SCHEMATIZZARE, IN UNO STESSO IMPALCATO, CAMPI DI SOLAIO RIGIDI E CAMPI DEFORMABILI**

In PC.M occorre qualificare Rigido o Deformabile (scegliendolo nei Dati Piani) l'impalcato nel suo insieme, altrimenti non si saprebbe come ripartire la forza complessiva di piano. Nei casi misti, si consiglia di eseguire due calcoli e riferirsi ai risultati più sfavorevoli.

Nel caso dei Piani Deformabili, basta ovviamente la presenza di una piccola parete che va in crisi per abbassare tutta la resistenza del piano.

Nel caso dei Piani Rigidi, invece, le pareti si aiutano fra loro e il comportamento d'insieme dovrebbe condurre a valori di resistenza superiori: ciò non è sempre vero, soprattutto a causa dei possibili effetti torsionali, assenti nella verifica a Piani Deformabili.



#### **B.14.2.8. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PER AZIONI COMPLANARI NON SODDISFATTA**

Questa verifica è in generale difficile da soddisfare. Essa può essere talvolta ragionevolmente essere evitata, soprattutto in caso di presenza di maschi tozzi. Il calcolo del C finale non cambia, perché il meccanismo di resistenza alle azioni nel piano tiene conto sia del Taglio, sia della PressoFlessione complanare e quindi quando quest'ultima manca, il C viene calcolato con riferimento diretto alla verifica a Taglio.

Se tuttavia sono presenti pareti snelle, o poco caricate, oppure si è indagato con il metodo PorFlex evidenziando risultati 'abbastanza' distanti da quelli del Por (cioè inferiori in misura rilevante: 20%-30% e oltre), non sembra opportuno ignorare questa Verifica.

Semmai, di fronte a un intervento di consolidamento di un edificio effettivamente lesionato da un evento sismico, il riconoscere che non si sono manifestate lesioni a flessione (generalmente caratterizzate da un andamento rettilineo orizzontale alla base e alla sommità della parete, oppure da un andamento rettilineo verticale nelle strisce di piano) può consentire di affermare che tale meccanismo non si attiva in quel particolare edificio; e quindi, le verifiche teoriche corrispondenti non saranno eseguite, cioè non saranno assunte come riferimento per il progetto di consolidamento.

Per eseguire la verifica, possono essere utilizzate, in alternativa, due ipotesi (selezionabili nella scheda Analisi Sismica, Parametri di Calcolo):

- (a) Sezione interamente reagente a trazione e a compressione;
- (b) Sezione parzialmente reagente a trazione.

Nel caso (a) si adotta l'ipotesi di comportamento lineare a sezione interamente reagente; le massime tensioni di trazione e di compressione devono essere confrontate con i rispettivi valori di riferimento.

Nel caso (b) si considera la sezione interamente reagente a patto che la massima tensione di trazione non superi la resistenza a trazione: oltre tale valore, la sezione si parzializza; la massima tensione di trazione resta pari alla resistenza a trazione, mentre la massima tensione di compressione deve essere confrontata con la corrispondente resistenza.

I calcoli dei casi pratici evidenziano che nel passaggio dalla schematizzazione (a) alla (b) la forza orizzontale incassabile dalla parete incrementa anche del 50-70%. Vista la difficoltà di soddisfazione di questo tipo di verifica, appare preferibile seguire la via della parzializzazione della sezione, verificando non la tensione di trazione (che non supererà mai la resistenza a trazione), ma la tensione di compressione. Questo comportamento ovviamente è accettabile solo se è consentito far affidamento sulla sezione parzializzata. Se invece la verifica deve anche prevedere che in nessun caso la sezione si parzializzi, occorre necessariamente considerare la sezione interamente reagente.

Alle Azioni Complanari è dedicato il paragrafo B.3.3.1.3.2., dove alcune considerazioni applicative evidenziano il significato della limitazione della verifica alle sole pareti snelle.

**PC.M 2000 (c) 1997-2000 AEDES Software per Ingegneria Civile s.a.s.**

## **PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI IN MMURATURA**

### **C. ESEMPI APPLICATIVI 223**

#### **C.1. EDIFICI ESISTENTI: ESEMPI DI APPRENDIMENTO 225**

- C.1.1. ESEMPIO GUIDATO: **E-A-01 (PG-AT-81, PG-PR-81, PG-AT-87, PG-PR-87):**  
PROVINCIA DI PERUGIA - SERVIZIO SISMICO NAZIONALE (1998) 225
  - C.1.1.1. ESECUZIONE con INPUT DA FILE DXF 225
  - C.1.1.2. ESECUZIONE con INPUT MANUALE (TABELLARE) 232
- C.1.2. **E-A-02:** TEST DEL METODO POR (REGIONE FRIULI, 1977) 242
- C.1.3. **E-A-03:** TEST DEL METODO POR (REGIONE UMBRIA, 1983) 244
- C.1.4. **E-A-04:** PROVA DI METODO PORFLEX 245
- C.1.5. **E-A-05:** DEFINIZIONE DI TRAVI 245
- C.1.6. **E-A-06:** INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO 245
- C.1.7. **E-A-07:** INTERVENTO DI ADEGUAMENTO 253
- C.1.8. **E-A-08:** RISTRUTTURAZIONE 262
- C.1.9. **E-A-09:** INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO 266

#### **C.2. EDIFICI ESISTENTI: ESEMPI DI STUDIO E PROGETTAZIONE 274**

- C.2.1. **E-P-01:** STUDIO DI EDIFICIO LESIONATO DA SISMA: CANONICA A FIVIZZANO (MS) 274
- C.2.2. **E-P-02:** STUDIO DI EDIFICIO MONUMENTALE: IL "PALAZZO DEI GIUDICI" DI FIRENZE 275
- C.2.3. **E-P-03:** RIPARAZIONE E MIGLIORAMENTO ANTISISMICO 276
- C.2.4. **E-P-04:** RIPARAZIONE E ADEGUAMENTO ANTISISMICO 277
- C.2.5. **E-P-05:** INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO SU UNA CHIESA 278
- C.2.6. **E-P-06:** INTERVENTO DI ADEGUAMENTO 279

#### **C.3. EDIFICI NUOVI IN MURATURA ORDINARIA: ESEMPI DI APPRENDIMENTO 280**

- C.3.1. ESEMPIO GUIDATO: **N-A-01** 280
- C.3.2. **N-A-02:** TEST 286
- C.3.3. **N-A-03:** ESEMPIO DI STRUTTURA MISTA 293
- C.3.4. **N-A-04:** MURATURA IN LATERIZIO ALVEOLARE 298
- C.3.5. **N-A-05:** MURATURA IN BLOCCHI DI CLS ALLEGGERITO 299
- C.3.6. **N-A-06:** MURATURA IN BLOCCHI DI CLS ALLEGGERITO 299

#### **C.4. EDIFICI NUOVI IN MURATURA ORDINARIA: ESEMPI DI STUDIO E PROGETTAZIONE 300**

- C.4.1. **N-P-01** 300
- C.4.2. **N-P-02** 300

#### **C.5. EDIFICI NUOVI IN MURATURA ARMATA: ESEMPI DI APPRENDIMENTO 302**

- C.5.1. **A-A-01:** VERIFICA SEMPLIFICATA 302
- C.5.2. **A-A-02:** VERIFICA ESTESA (TEST) 303
- C.5.3. **A-A-03** 308

#### **C.6. EDIFICI NUOVI IN MURATURA ARMATA: ESEMPI DI STUDIO E PROGETTAZIONE 309**

- C.6.1. **A-P-01** 309
- C.6.2. **A-P-02** 310

### **D. APPENDICE 311**

- D.1. STRUTTURA DELLE DIRECTORY DI PC.M 311
- D.2. TASTI DI SCELTA RAPIDA 311
- D.3. CARATTERISTICHE OPERATIVE DI PC.M 313
- D.4. UNITA' DI MISURA 313

## C. ESEMPI APPLICATIVI

La consultazione dei numerosi esempi applicativi forniti in dotazione a PC.M 2000 costituisce un ottimo metodo per l'apprendimento delle caratteristiche e delle funzionalità del programma.

Gli esempi applicativi sono suddivisi in **tre gruppi fondamentali** che corrispondono alle distinte tipologie degli edifici in muratura; ognuno dei tre gruppi si suddivide in esempi di Apprendimento e in esempi di Studio e Progettazione:

**1°) Edifici Esistenti** (Apprendimento: capitolo C.1., Studio e Progettazione: cap. C.2.);

**2°) Edifici Nuovi in Muratura Ordinaria** (Apprendimento: cap. C.3., Studio e Progettazione: cap. C.4.);

**3°) Edifici Nuovi in Muratura Armata** (Apprendimento: cap. C.5., Studio e Progettazione: cap. C.6.).

Nel 1° gruppo rientrano tutti gli interventi di analisi statica e sismica degli edifici esistenti, inclusi: miglioramento ed adeguamento sismico; interventi su edifici monumentali; interventi di ricostruzione a seguito di eventi sismici. Il 2° e il 3° gruppo trattano specificatamente gli edifici nuovi, per i quali valgono considerazioni distinte rispetto agli edifici esistenti.

Gli **Esempi di Apprendimento** sono finalizzati alla preparazione per l'uso ottimale del software; la loro consultazione costituisce la migliore metodologia di approccio iniziale all'uso di PC.M.

In particolare, per gli Utenti interessati agli **edifici esistenti** è consigliabile eseguire l'esempio guidato del paragrafo C.1.1. prima di effettuare l'analisi dei propri casi; ciò consentirà la conoscenza delle principali procedure di PC.M e quindi una successiva rapida applicazione ai propri edifici da analizzare.

Coloro che si occupano della progettazione di **nuovi edifici**, possono svolgere la sessione di apprendimento riferendosi al paragrafo C.3. per la muratura ordinaria e C.5. per la muratura armata.

Negli esempi di Apprendimento sono contenuti, oltre a modelli tipicamente finalizzati alla conoscenza delle funzionalità del software, anche riferimenti a progetti specifici, allo scopo di rendere più fluido il passaggio dalla teoria alla pratica.

Gli Esempi di Apprendimento vengono automaticamente installati da PC.M 2000 nella cartella:

**C:\PCM2000\ES-APPRENDI**

Per consultarli, nel menu File della finestra Edificio occorre aver selezionato il comando di opzione "Esempi di Apprendimento" (alternativo a "Edifici" [dove vengono progressivamente archiviati i progetti personali degli Utenti] ed a "Esempi di Studio e Progettazione").

Casi di edifici reali affrontati in maniera professionale sono presenti nella sezione degli **Esempi di Studio e Progettazione**; gli esempi ivi riportati, sviluppati da Utenti di PC.M, costituiscono un ottimo metodo di approfondimento non solo delle funzionalità del software ma anche delle metodologie di analisi applicabili ai diversi casi.

Gli esempi di Studio e Progettazione sono descritti in maniera estesa nel capitolo A.8. del **Volume "La Teoria"**, allegato in edizione cartacea al pacchetto di PC.M; nei paragrafi dei capitoli C.2., C.4., C.6. si farà riferimento a tale Volume, indicando i files corrispondenti ai vari edifici esaminati. Come tutti gli altri esempi, tali files sono forniti a corredo di PC.M; eseguita l'installazione del software, essi sono immediatamente consultabili.

Gli Esempi di Studio e Progettazione vengono automaticamente installati da PC.M 2000 nella cartella:

**C:\PCM2000\ES-PROGETTI**

Per consultarli, nel menu File della finestra Edificio occorre aver selezionato il comando di opzione "Esempi di Studio e Progettazione" (alternativo a "Edifici" [dove vengono progressivamente archiviati i progetti personali degli Utenti] ed a "Esempi di Apprendimento").

Di alcuni esempi sono forniti anche i files DXF utilizzati per l'input dati; la loro consultazione in CAD costituisce un valido aiuto nel corso dell'apprendimento delle modalità operative per l'introduzione dei dati attraverso la via grafica.

I nomi dei files degli esempi forniti in dotazione a PC.M rispettano la seguente struttura:

**X-Y-nn[-w].est**

dove:

**X** può assumere i valori:

**E**=edificio esistente; **N**=edificio nuovo in muratura ordinaria; **A**=edificio nuovo in muratura armata;

**Y** può assumere i valori:

**A**=esempio di apprendimento; **P**=esempio di progettazione;

**nn** = numero progressivo dell'esempio;

**w** = ove presente, indica alcune varianti dell'esempio-base (es. E-A-02-A, E-A-02-B);

**est** = estensione del file. Può assumere i seguenti valori:

**DWG** = file di AutoCAD (compatibile con LT97 e versioni successive) normalmente utilizzato come disegno iniziale di riferimento;

**DXF** = file di interscambio prodotto in output da CAD per la successiva importazione in PC.M;

**PCM** = file di archivio di PC.M 2000.

## C.1. EDIFICI ESISTENTI: ESEMPI DI APPRENDIMENTO

### C.1.1. ESEMPIO GUIDATO: E-A-01 (PG-AT-81, PG-PR-81, PG-AT-87, PG-PR-87): PROVINCIA DI PERUGIA - SERVIZIO SISMICO NAZIONALE (1998)

L'esempio di apprendimento guidato, per gli edifici esistenti, corrisponde all'edificio analizzato in dettaglio nel volume: **"Terremoto in Umbria e Marche del 1997, Criteri di calcolo per la progettazione degli interventi"**, edito a cura della Provincia di Perugia e del Servizio Sismico Nazionale, reperibile su Internet, all'indirizzo del Servizio Sismico Nazionale [ssn] (Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali [dstn]):

**www.dstn.it/ssn**

L'indirizzo completa della pagina a cui puntare per la pubblicazione detta è:  
**www.dstn.it/ssn/RT/ALTRE\_PUB/pub0198/presentazione.html**

Questo esempio è installato, in forma già completa, in C:\PCM2000\ES-APPRENDI con le seguenti denominazioni:

**PG-AT-81** : Stato Attuale, analizzato con la Circ.21745 del 30.7.1981

**PG-AT-87** : Stato Attuale, analizzato con il D.M. 20.11.1987

**PG-PR-81** : Stato di Progetto, analizzato con la Circ.21745 del 30.7.1981

**PG-PR-87** : Stato di Progetto, analizzato con il D.M. 20.11.1987

Questo edificio è schematizzato nel rispetto dell'esecuzione di tutte le verifiche previste anche in considerazione dell'attuazione della Legge 61/98.

Gli altri esempi forniti a corredo del software possono non comprendere la schematizzazione dei 'Setti' per la Verifica a Ribaltamento e a PressoFlessione per Azioni Ortogonali, che risultano invece necessari nelle modellazioni attuative della Legge 61/98. Ciò non impedisce l'esecuzione delle analisi statica e sismica, che verranno correttamente svolte; nel Rapporto di Elaborazione, segnalazioni in giallo indicheranno la non esecuzione di alcune verifiche (ad esempio, la Verifica a Ribaltamento nel caso di assenza di definizione dei 'Setti').

L'esempio guidato viene proposto attraverso le due vie possibili per l'introduzione dei dati dell'edificio:

- 1) la via grafica, con input da file DXF;
- 2) la via tradizionale tabellare, con input manuale interattivo.

#### C.1.1.1. ESECUZIONE con INPUT DA FILE DXF

L'input dei dati da file DXF è molto utile per chi utilizza un software di CAD (AutoCAD, AutoCAD LT e compatibili). Disponendo delle piante di un rilievo o di un progetto dell'edificio su supporto informatico (file DWG), è possibile definire agevolmente i maschi murari da esportare verso PC.M 2000.

Oltre ai layers architettonici già presenti, si definiranno gli opportuni layers funzionali al disegno delle polilinee rappresentative delle pareti e dei solai (consultare le specifiche nel paragrafo B.12.1 del Volume 2: Manuale d'uso della 'Documentazione per l'Utente': Input da file DXF). PC.M 2000 importerà le sezioni dei maschi murari e le maglie di solaio da tali appositi layers, ignorando le entità poste sugli altri layers: la schematizzazione strutturale può quindi 'convivere', nello stesso disegno DWG, con l'originario architettonico.

Disponendo di un rilievo o di un progetto cartaceo, può ugualmente essere conveniente creare un DWG specificamente strutturale con le sezioni dei maschi murari, sfruttando tutte le potenzialità di disegno di un ambiente CAD.

In ogni caso, dopo la schematizzazione della struttura, avverrà l'importazione in PC.M 2000.

Nel seguito, si eseguirà l'input da DXF dell'edificio denominato E-A-01.

Si consiglia di consultare preventivamente con CAD il file DXF: E-A-01.DXF, installato in C:\PCM2000\ES-APPRENDI e costruito secondo le specifiche richieste da PC.M 2000.

Lanciato PC.M 2000, si attiva la finestra Edificio.

I dati sono ancora da importare: le finestre grafiche sono vuote.

Nel Menu File, selezionare l'opzione di apertura files: 'Esempi di Apprendimento': ciò predisporrà PC.M per il recupero degli archivi da C:\PCM2000\ES-APPRENDI, che è per default la cartella dove sono contenuti gli esempi di apprendimento (distinta da: C:\PCM2000\ES-PROGETTI, che contiene gli esempi di studio e progettazione, e da C:\PCM2000\EDIFICI, dove verranno archiviati tutti gli edifici dell'Utente).

Quindi, eseguire il comando:

**ALT+F,A (CTRL+F12)** (Menu File, Apri).

Si apre la finestra di dialogo 'Apri': dalla casella di riepilogo 'Tipo file' selezionare:

'File DXF di input per PC.M':

l'elenco dei files di input viene aggiornato con i files aventi estensione DXF.

Fare doppio clic sul file: **E-A-01.DXF**


Compare la richiesta per la Scala del DXF in input: confermare il valore 1, poiché elaborando il disegno E-A-01 con CAD, è stato utilizzato come unità di misura il metro (1 unità di disegno = 1 metro).

Confermando con OK, inizia l'elaborazione del file DXF, evidenziata in una finestra con barra di avanzamento collegata alle fasi successive eseguite durante la lettura del DXF.


Al termine della lettura, l'edificio viene visualizzato nelle finestre grafiche: nella 2D è visualizzata la pianta del Piano 1, nella 3D la schematizzazione spaziale completa costruita nell'ipotesi di altezza 3.00 m. delle pareti (convenzionalmente assunta da PC.M 2000, in quanto l'altezza non compare fra i dati importabili da DXF).

L'edificio viene automaticamente qualificato come 'Esistente': se fosse 'Nuovo' sarebbe sufficiente fare clic sul corrispondente pulsante di opzione contenuto nella finestra Edificio.

Si può subito provare a fare clic sui Controlli 3D (punto di vista, esplosione, vista globale) per apprenderne il comportamento.

Facendo clic su una finestra (una delle 3 visibili: Edificio, 2D, 3D) essa viene attivata. Si (ri)attivi la finestra Edificio. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

[Nota: la finestra Edificio è finestra principale, e durante la sessione di lavoro con PC.M permane come finestra di sfondo dell'applicazione (può essere nascosta da altre finestre, ad esempio la finestra Pareti). Al menu File della finestra Edificio appartiene l'unico comando che permette l'uscita da PC.M: CTRL+Q (Esci). Non è infatti possibile chiudere l'applicazione dalla barra del titolo principale, e non sono disponibili i pulsanti di ridimensionamento e chiusura della finestra Edificio.]


**ALT+N,N (CTRL+N)**: attiva la finestra Piani. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

Nei Dati Piani:

- correggere le altezze (3.30 m, diverse da 3.00 m.);
- si potrebbe precisare l'altezza di solaio 'Hsol' al fine di evidenziarla, ma scegliamo di lasciarla nulla considerandola compresa nell'altezza di piano 'H piano';
- la colonna 'Piano Rigido' vede [a parte le fondazioni (=piano 0)] tutti i piani attivati: lasciarli tali; se si optasse per uno o più piani deformabili, fare clic sulla casellina grafica, per farla apparire rossa (è sufficiente anche evidenziare la cella e premere un qualunque tasto per alternare l'attivazione / disattivazione della proprietà);
- per l'applicazione della Circ.21745 è possibile scegliere fra i tre metodi: VeT, Por e PorFlex (nel calcolo saranno effettivamente attivati solo in caso di presenza di almeno un piano rigido). Se poi nella verifica si userà il D.M.20.11.1987, questa colonna è ininfluente;
- fare clic sulle caselline colorate della colonna 'PressoFless. Complanare' per **disattivare le Verifiche a PressoFlessione per Azioni Complanari**: tali verifiche sono disattivate quando l'icona è rossa; riattivarle (icona verde spuntata) se invece si decide di tenere in considerazione tali verifiche;
- l'attivazione del Vento in direzione X e Y può essere lasciata vera, anche se le scelte successive determineranno la trascurabilità degli effetti del vento;
- la colonna 'Numero pareti' si è riempita automaticamente con l'importazione da DXF;
- la colonna 'Numero solai' prevede al momento solo 1 solaio per ogni piano: la modifica di tale dato avverrà automaticamente operando nella finestra Dati Solai che apriremo in seguito: lasciarne quindi inalterato il contenuto;
- tutte le altre colonne possono essere lasciate inalterate.

Chiudere la finestra Piani, facendo clic sul pulsante di chiusura (l'operazione non è necessaria per passare ad altre finestre; tuttavia si ritiene inutile tenere aperte finestre completate che comunque possono essere in ogni momento chiamate di nuovo).

Riappare la finestra Edificio.

**ALT+N,P (CTRL+P)**: attiva la finestra Pareti. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

I Dati Pareti descrivono in dettaglio gli elementi resistenti dell'edificio, e devono essere completati.

Provare a ingrandire e quindi ridimensionare la tabella: essa può essere sempre ridimensionata a piacere dall'utente. Un elevato numero di dati visualizzati può, in sistemi meno veloci, rallentare la gestione della tabella, fatto comunque ininfluente sul contenuto della tabella stessa.

Facendo clic sulla barra di scorrimento orizzontale in basso, scorrere i campi della tabella.

In successione: in bianco, il gruppo di dati Identificazione e, più a destra, Vincoli e Setti; in giallo, Geometria; in verde, Materiali; in celeste, Carichi.

**ALT+O,R** (Menu Opzioni, Tabella Ridotta) riduce i dati visualizzati a quelli di uso più frequente: avendo però inserito i dati da DXF, occorre visualizzare la tabella in modo completo per esaminare tutti i campi; quindi usare il comando **ALT+O,T** (Menu Opzioni, Tabella Completa) per tornare alla tabella completa.




Tutte le pareti sono sia portanti, sia di controvento (cioè reagiscono sia staticamente sia sismicamente). Sigle a Allineamenti sono stati creati automaticamente, così come la lettura da DXF ha determinato la compilazione di parte dei dati geometrici.

Tutte le pareti hanno sezione trasversale rettangolare, pertanto non è necessario editare il numero dei vertici (sempre pari a 4, in tal caso) e le coordinate dei vertici.

Tutte le pareti al piano 1 sono fondate, mentre ai piani superiori ovviamente non lo sono.

Spostare la cella sull'altezza iniziale 'Hinizio' della parete 1, e digitare 3.30. La conferma produce anche l'aggiornamento di 'Hfine' e di 'Hcalc' (=altezza effettivamente assunta per il calcolo per azioni complanari, quindi ad esempio per il Metodo Por; nelle verifiche ad azioni ortogonali viene invece assunta l'altezza geometrica media tra Hinizio e Hfine).

Con la cella su 'Hinizio' della parete 1, digitare **ALT+U,C (CTRL+U)** (Menu Unifica, Colonna) per unificare le altezze di tutte le pareti del piano corrente. Poiché si desidera che 'Hcalc' sia pari a 3.00 m. (effettivo interpiano), si pone la cella su tale campo, per la parete 1, e si digita 3.00, quindi di nuovo **CTRL+U** per unificare la colonna 'Hcalc'.

Ripetere questi comandi anche ai piani superiori: per spostarsi tra i piani, usare i comandi del Menu Sposta, oppure i pulsanti grafici della barra degli strumenti (    ).

Tornando al piano 1, in corrispondenza della parete 1, definire ora il tipo di materiale: facendo clic sul campo corrispondente, si attiva la casella di riepilogo in cui si può scegliere il materiale, facendo doppio clic su quello che interessa (per predefinito, i tipi 1 e 2 sono Cemento Armato e Acciaio; se si tratta di elementi in muratura, scegliere quindi uno dei tipi da 3 in poi). Nel caso in esame, si sceglierà il tipo 4. Per default, viene proposto - per tale materiale - il peso specifico di 1800 kg/mc: per concordare con l'esempio di riferimento, digitare in tale colonna il valore 1900.

Ponendo la cella su 'Tipo mat.', usare **CTRL+U** per unificare i tipi di materiale di tutte le pareti.

Passando ora alle colonne sui Vincoli, lasciare 12.0 per il coefficiente di rigidità flessionale complanare; correggere 8.0 in 10.0 per il denominatore del momento in mezzzeria per Azioni Ortogonali esercitate sulla parete vincolata agli interpiani, ed unificare la colonna; passare quindi, più a destra, alla colonna 'Setti'.

Mentre le **Pareti** sono per definizione i maschi murari di interpiano, i **Setti** sono i paramenti esterni a tutt'altezza (dalla fondazione alla sommità) che saranno sottoposti alle verifiche a Ribaltamento e a PressoFlessione per Azioni Ortogonali. I Setti, sempre considerati nel calcolo come strisce di base 1.00 m., vengono definiti, in PC.M 2000, adottando una sigla specifica per ogni paramento murario e attribuendola, piano per piano, alle pareti che compongono tale setto: con riferimento all'esempio studiato (pag.83, TAV.05 del volume di riferimento), si avranno due setti:

- il setto A, composto dalle pareti 9 (p.1°), 7 (p.2°) e 6 (p.3°);
- il setto B, composto dalle pareti 13 (p.1°), 12 (p.2°) e 11 (p.3°):

in corrispondenza di tali pareti, digitare - nella colonna Setti - il nome del setto. In PC M si adotta la convenzione di nome preceduto dal segno meno: -, qualora l'esterno sia collocato alla sinistra del setto (la sinistra è verso

l'alto per pareti orientate secondo +X, e verso sinistra per pareti orientate secondo +Y); il segno non è necessario nel caso opposto. Per l'esempio corrente, si adotteranno i nomi:

-A




-B

digitare tali nomi nel campo 'Setti' delle pareti suddette.

Per visualizzare il nome dei Setti nella pianta, fare clic sul pulsante 'Parametri di Disegno' della barra degli Strumenti, scheda Dati, comando 'Setti'.

Per le medesime pareti interessate dalla definizione dei Setti, si dovrà specificare se il solaio di interpiano costituisce vincolo efficace per la parete: se sì, nella verifica ad Azioni Ortogonali per PressoFlessione del setto verrà considerato un appoggio di trave continua, altrimenti la sezione sarà libera (se tutti i vincoli sono inefficaci, la verifica riguarderà uno schema a mensola; nei vari casi possibili si avranno travi continue con incastro alla base e appoggi nel corso dello sviluppo in altezza, con campate composte ognuna da uno o più interpiani, a seconda della presenza di vincoli efficaci). Ai fini della verifica a Ribaltamento l'efficacia del vincolo non svolge alcun ruolo, in quanto - in tal caso - sono le forze di tirantaggio (assicurate da tiranti, catene, cordoli, controventi di solaio) che garantiranno la stabilità (tali forze possono ovviamente essere interpretate come corrispondenti a vincoli efficaci per la verifica a PressoFlessione).


Nel caso in esame, per lo Stato Attuale si disattivano tutti i campi di vincolamento efficace per le pareti che definiscono i setti: infatti, si ipotizza che l'intervento di consolidamento debba ancora essere eseguito.

Ogni tanto, salvare i dati (anche usando la barra degli strumenti: ). Si osservi che con i comandi Annulla e Ripristina del menu Modifica (barra degli strumenti:  ) è possibile tornare alla configurazione precedente o ripristinare la successiva (comandi molto utili in caso di errori di inserimento dati o necessità di correzione).


Nel campo 'Tiro', allo Stato Attuale, non vi è alcun dato.


Per quanto riguarda i carichi imposti (campi di input in colore celeste), questi sono carichi aggiuntivi rispetto a quelli che saranno automaticamente calcolati in base ai Dati Solai (che introdurremo tra poco). Nel caso in esame, non vi è alcun carico verticale, mentre si vuole inserire una forza orizzontale ribaltante in sommità del setto 'A' all'ultimo piano dovuta alla spinta della copertura. Torneremo, però, sul campo 'Fperm.distr.' e 'Facc.distr.' non appena definiti i Solai.

Tornare ora a sinistra sulla colonna 'Interasse irrigidimenti': per il setto A [*cioè: per tutte le pareti che concorrono a definire il setto A*], digitare 7.00 m. (corrisponde all'interasse tra le pareti ortogonali; tale vincolo permetterà il calcolo di idonei coefficienti per le azioni ortogonali alle pareti); per il setto B, 5.70 m. (in corrispondenza di tutti i piani).

Possiamo ora chiudere la finestra Pareti e passare ai dati Solai (**CTRL+S**), dove specificare le maglie ed i carichi. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

All'inizio, è visualizzato il piano 1, con una sola maglia nulla. Occorreranno in totale 4 maglie +1 per il perimetro di piano (il 'Perimetro di Piano' è una maglia fittizia che percorre il contorno del piano e che deve essere sempre definita per ogni piano [tranne che per i solai di fondazione], quindi si ha sempre una maglia in più rispetto alle effettive campate di solaio).

Ripetendo 4 volte il comando Aggiungi del menu Modifica (**CTRL+A**) (o equivalentemente usando il corrispondente pulsante della barra degli strumenti: ) , otteniamo 5 righe disponibili in tabella.

Facendo clic sulla finestra grafica 2D, scegliamo il comando 'Parametri di Disegno' del menu Opzioni (**F11**) (o usando la barra degli strumenti: ): disattiviamo 'Numerazione' e attiviamo 'Allineamenti': si evidenzieranno gli allineamenti che costituiscono i 'fili fissi' di riferimento della struttura (e che, ricordiamo, sono stati generati automaticamente attraverso l'input da file DXF (*se i dati geometrici della struttura fossero stati inseriti numericamente, avremmo potuto creare automaticamente gli allineamenti utilizzando il comando Ottimizza del menu Modifica della finestra Dati Pareti*). Verifichiamo anche che siano attivate l'Orditura e la Numerazione dei solai.

Usciti dalla finestra di dialogo, fare di nuovo clic sulla finestra Dati Solai per ridarle il fuoco. Spostiamo la cella nel campo 'Solai per Allineamenti (Maglia)' del primo solaio.

Digitiamo la stringa alfanumerica (solo il testo racchiuso tra le virgolette; ogni allineamento è separato dal successivo da uno spazio bianco):

"1X 1Y 2X 2Y"

Confermando, compare nel disegno il primo simbolo di orditura del solaio, inizialmente con angolo 0°. Per cambiarne l'orditura, digitare 90 nel campo 'Angolo orditura'.





Procedere analogamente per gli altri solai, definendo:

Solaio n.2: "2X 1Y 3X 2Y", angolo: 90;

Solaio n.3: "1X 2Y 2X 3Y", angolo: 0;

Solaio n.4: "2X 2Y 3X 3Y", angolo: 90.

Il solaio fittizio n°5 (perimetro di piano) sarà la maglia "1X 1Y 3X 3Y", angolo ininfluente (si può lasciare 0). Spostando la cella a destra nella colonna 'Schema Statico', si vede che questo è automaticamente 'M' (=solaio monodirezionale). Va bene per tutte le maglie, escluso l'ultima: il solaio fittizio del perimetro di piano deve infatti avere lo schema E.

Per definire le maglie di solaio risulterà, in seguito, probabilmente più comodo utilizzare la via grafica attraverso gli appositi comandi della barra degli strumenti della finestra grafica 2D: il pulsante  attiva l'inizio dell'inserimento della maglia, mentre  conferma e termina: facendo clic su almeno una parete per ogni lato della maglia (cui corrisponde un preciso allineamento), la stringa alfanumerica contenente (nella tabella dei Dati Solai) la sequenza degli allineamenti che definiscono la maglia, si comporrà automaticamente da sola. Mentre si fa clic su una parete, questa viene evidenziata.

Inseriamo ora i carichi:

dai dati dell'esempio di riferimento, risulta, per lo Stato Attuale:

permanente=300 kg/mq (che si può scomporre, ad esempio, in 200 di peso proprio e 100 di sovraccarico permanente); accidentale=200 kg/mq. Si utilizza poi un coefficiente di riduzione  $s=0.33$ , e un coefficiente di combinazione di carico accidentale (per le verifiche agli Stati Limite) pari a 1.00: digitare tali valori nei campi corrispondenti. Unificare i carichi di tutti i solai usando il comando 'Carichi: tutti i seguenti' del menu Unifica; poi riazzerare i carichi del perimetro di piano (ultima riga), che fisicamente non hanno significato.

Spostando ora il fuoco al piano superiore, copiare il piano inferiore: infatti, le maglie di solaio hanno la stessa definizione. Usare il comando 'Piano inferiore' del menu Copia. Ripetere l'operazione di copiatura anche all'ultimo piano. All'ultimo piano (solai del piano 3) occorre però correggere il carico accidentale del solaio di sottotetto (100, invece di 200 kg/mq), e inserire altre quattro maglie, sovrapposte a quelle già definite, per schematizzare l'azione della copertura (non esiste un piano di pareti in copertura definito nell'edificio).

Per far ciò, porre la cella corrente in corrispondenza dell'ultima riga (5° solaio), e utilizzare 4 volte il comando 'Inserisci' del menu Modifica (**CTRL+I**) (o equivalentemente usando il corrispondente pulsante della barra degli strumenti), ottenendo infine 9 righe totali in tabella. Riempiamo le maglie da 5 a 8, copiando quelle da 1 a 4: è possibile usare i comandi 'Copia' e 'Incolla' del menu Modifica: posizionare la cella corrente sul solaio 1; comando 'Copia' del menu Modifica; spostare la cella sul solaio 5; comando 'Incolla'. Ripetere l'operazione, fino alla completa definizione delle 4 nuove maglie di solaio.

Per le 4 nuove maglie (da 5 a 8), digitare i carichi di copertura:

p.p.=150, perm. oltre p.p.=50, acc.=120 (neve),  $s=0.33$ , coeff.comb.=0.70


Infine, per queste nuove maglie, si inserirà una 'Pendenza' pari a 30 (%): essa permetterà, nei calcoli, di considerare un carico verticale incrementato adeguatamente, e consentirà l'uso di un'utilità dedicata al calcolo delle spinte. Si osservi inoltre che al piano 3 tutte le maglie hanno angolo di orditura 90.

A questo punto siamo in grado di calcolare la spinta della copertura sul setto 'A' grazie ad un'utilità di PC.M 2000: posizioniamo la cella sul solaio n°6 (siamo sempre al piano 3); comando 'Spinta da solaio inclinato' del menu Opzioni. Viene richiesta la luce orizzontale: inserire 5.90 (vedi pag.51 del Volume Prov.PG-S.S.N.).

Confermando, compare una finestra di testo con il risultato:

spinta permanente=162 kg/ml, spinta accidentale=97 kg/ml. Questi valori possono essere ora utilizzati per applicarli alla parete 6 del piano 3°, nei Dati Pareti, dove è definito il setto A: chiamare quindi la finestra Dati Pareti, con **CTRL+P** o usando il comando del menu Finestra. Spostarsi sul piano 3, ed inserire i valori 162 per 'Fperm.distr.' e 97 per 'Facc.distr.'

Nessuna spinta dalla copertura è applicata sul setto B.

Chiudiamo la finestra Pareti e la finestra Solai, tornando ai Dati Edificio. Chiamiamo ora la finestra Fondazioni, con **CTRL+F** o usando il comando del menu Finestra. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

Il comando più rapido per definire l'insieme delle fondazioni è: 'Crea Fondazioni da pareti' del menu Opzioni. Viene così creato un reticolo di fondazione, dove le fondazioni vengono riunificate con continuità lungo ogni allineamento (rispetto alle sezioni delle pareti sovrastanti).

Le fondazioni, però, sono più larghe delle pareti sovrastanti: usare allora il comando Allarga del menu Edit.

Inserendo il valore 0.20, tutte le fondazioni saranno allargate da 40 a 60 cm.


[In generale, la via più efficiente di introduzione della geometria delle fondazioni che sarà seguita dall'Utente per i propri progetti è quella grafica attraverso l'input da file DXF anche delle fondazioni, oltre che delle pareti].

Posizioniamo ora la cella sul campo 'Spessore suola' e digitiamo 0.40 (altezza della fondazione). Unificando la colonna (**CTRL+U**) si completa la definizione geometrica delle fondazioni.

Resta infine il peso proprio: nella colonna 'Tipo Mat.' Scegliamo, dalla casella a discesa, 'Calcestruzzo'.

Così, la definizione delle fondazioni è stata rapidamente completata.

Ricordiamo che la definizione delle fondazioni è necessaria per tutti gli edifici. Qualora non siano effettivamente note, esse devono essere supposte con le dimensioni più plausibili e definite in PC.M 2000. I comandi di utilità, quali 'Crea Fondazioni da pareti', assistono l'utente per la creazione rapida di reticoli di fondazione, con la procedura ora illustrata.

A questo punto, quasi tutti i dati sono inseriti: rimangono i '**Parametri di Calcolo**' che determineranno i tipi di verifiche che verranno eseguite. Dalla finestra Edificio, menu Esegui, comando 'Parametri di Calcolo' (**F11**) (o usando la barra degli strumenti: ): scorrere le sei schede (Analisi Statica, Analisi Sismica, Parametri Vari (1), Parametri Vari (2), Muratura Armata, Avanzate).

Poniamo l'attenzione sui parametri principali.

#### 1. Analisi Statica.

Si scelgono: Fondazioni su Piano Rigido, e Trascurabilità delle verifiche statiche secondo D.M.20.11.1987.

#### 2. Analisi Sismica.

Nel Riferimento Normativo viene scelto il percorso di verifica: D.M.20.11.1987 o Circolare 21745 del 30.7.1981. In questo primo calcolo, facciamo riferimento alla Circ.21745.

Azioni Sismiche: per la ricostruzione in base alla Legge 61/98, specificare 0.65 per il Coefficiente di Sicurezza nei confronti dell'Adeguamento Sismico [*tale coefficiente sarà invece pari a 1.00 per un normale progetto di adeguamento*].

Masse sismiche: piani completi. Sezione per Verifiche a Taglio: alla base della parete. Verifiche a Taglio secondo Circ.21745: scegliere lo Stato Limite Ultimo al collasso della prima parete.

#### 3. Parametri Vari (1).

Scegliere lo Stato di Fatto. Se fosse uno Stato di Progetto, dovremmo anche definire la struttura di confronto, per rilevarne il C<sub>0</sub> di riferimento.


Verifiche a Taglio secondo D.M.20.11.1987: prescindere dalla parzializzazione su tutte le pareti.

Per Azioni Ortogonali: eseguire le verifiche sismiche a pressoflessione sui Setti.

#### 4. Parametri Vari (2).

Capacità portante del terreno:  $q_{lim} = 6.60 \text{ kg/cmq}$ .

Confermando con OK, si è completato l'inserimento dati.

Per l'esecuzione del calcolo, dalla finestra Edificio: menu Esegui, Analisi Sismica (o usare il pulsante grafico della barra degli strumenti: ). Al termine dell'elaborazione, una finestra mostra il 'Rapporto di Elaborazione', con i coefficienti C corrispondenti alle diverse verifiche attivate, ed i risultati complessivi. Questo edificio, allo stato attuale, presenta valori teorici praticamente nulli di C, come peraltro ben dettagliatamente evidenziato nel volume di riferimento (par.8.5, pag.52).

Il valore di C corrispondente al metodo Por è pari a 0.059, un poco inferiore allo 0.064 riportato nel volume a pag.55 (le differenze possono rientrare nella tolleranza per diverse modalità di esecuzione del calcolo, che in PC.M 2000 viene completamente automatizzato).

Spostando il fuoco sulle finestre grafiche 2D e 3D si può dare inizio alle consultazioni sulle post-elaborazioni grafiche dei risultati. A questo punto, però, focalizziamo l'attenzione sulla schematizzazione dell'intervento edilizio.

Confermando con OK, riattiviamo la finestra Edificio e salviamo E-A-01.

Andremo ora a modificarlo per creare lo **Stato di Progetto**: salviamo quindi l'edificio anche con il nome **E-A-01-P**, usando 'Salva con nome' del menu File.

In E-A-01-P non vi è alcun cambiamento nella finestra **Dati Piani**.

Nella finestra **Dati Pareti**:

- \* al piano 1, attribuiamo a tutte le pareti il materiale 13, sempre correggendo in 1900 kg/mc il peso specifico;
- \* in corrispondenza delle pareti che definiscono i Setti, a tutti i piani, poniamo veri i Vincoli efficaci;
- \* la spinta del tetto permane: nel calcolo, essa verrà contrastata dal tiro dei tiranti (in PC.M 2000 l'azione di tirantaggio viene usata per la verifica; diversamente, con calcoli manuali si può operare con una preventiva progettazione, come riportato al par.8.11, pag.58 del volume di riferimento: l'effetto finale è il solito - giungere, cioè, alla dimostrazione di una raggiunta stabilità delle strutture);
- \* occorre definire il tiro dei tiranti. Ad ogni piano, verranno posti nelle due direzioni X e Y, 4d24, caratterizzati da  $f_{vd}=2470$  kg/cm<sup>2</sup>.

Posizioniamo la cella sulla parete 6 del piano 3. Menu Opzioni, comando 'Tiro dai tiranti'. Per valutare l'azione di tirantaggio a ml. sul lato dell'edificio (di lunghezza 10.50 ml.), si specifica la stringa (solo il testo tra virgolette):

"4,24,2470,10.50"

Il risultato è un'azione di 4257 kg/ml, che viene subito riportata nel campo 'Tiro' della parete 6. Analogo valore si inserirà per le pareti 7 del piano 2°, e 9 del piano 1°.

Per quanto riguarda il setto B, si procede analogamente, ma su un lato dell'edificio di 10.00 m, ottenendo un'azione di 4470 kg/ml.

\* Per completare i dati dello Stato di Progetto, rimane una variazione geometrica per la tamponatura del vano al piano terra. Devono essere unificate le pareti 1 e 2 del p.1° (ricordiamo che in PC.M 2000 il piano 1 è sempre il piano più in basso di calcolo, e quindi coincide spesso - come in questo caso - col piano terreno).

Posizioniamo la cella sulla parete 1; menu Edit, comando Unisci. Specificare: 2 (il che significa: unisci la 1 alla 2), e confermare con Invio. Il risultato è immediatamente evidente.

Nella finestra **Dati Solai**:

- \* a tutte le maglie di solaio dei piani 1 e 2 occorre attribuire un peso proprio di 300 kg/mq (anziché 200), a causa della soletta di irrigidimento prevista dall'intervento.

Nella finestra **Dati Fondazioni**:

- \* a causa dell'unificazione delle pareti 1 e 2 al piano 1, la fondazione n°2 è rimasta 'scollegata' dalle pareti sovrastanti. Convienne quindi eliminarla, 'stirando' la n°1: cella sulla n°2, menu Modifica, comando Elimina;
- cella sulla n°1, menu Edit, comando Stira, inserire (solo testo tra virgolette): "0,3.75", confermare (significa: 0=lascia inalterato l'estremo iniziale; 3.75=allunga di 3.75 l'estremo finale).

Torniamo alla finestra Edificio. Nei 'Parametri di Calcolo':

- \* Scheda 'Parametri Vari (1)': deselezionare 'Setti' e selezionare 'Pareti appartenenti a Setti' (ovviamente questa è una scelta; si potrebbe anche selezionarle entrambe, ed anche le pareti non appartenenti a setti).

Nella stessa scheda, fare clic su 'Stato Modificato' e digitare E-A-01 come struttura di confronto allo Stato Attuale.

Confermando con OK, si è completato l'inserimento dati dello Stato di Progetto.

Per l'esecuzione del calcolo, dalla finestra Edificio: menu Esegui, Analisi Sismica (o usare il pulsante grafico della barra degli strumenti). Al termine dell'elaborazione, il 'Rapporto di Elaborazione' mostra i coefficienti C corrispondenti alle diverse verifiche attivate, ed i risultati complessivi. Questo edificio, allo stato di progetto, presenta i valori seguenti (da confrontare con il Volume Prov.PG-S.S.N., pag. 60):

**Verifica a Ribaltamento:  $C = 0.725$**

**Verifica a PressoFlessione per Azioni Ortogonali:  $C = 0.067$**

**Verifica di resistenza globale a taglio:  $C = 0.056$**

Per l'esempio svolto nel volume di riferimento si ha, corrispondentemente:

Verifica a Ribaltamento:  $C=0.857$

Verifica a Pressoflessione per Azioni Ortogonali:  $C=0.081$

Verifica di resistenza globale a taglio:  $C=0.068$

Come per lo Stato Attuale, i valori un poco più bassi ottenuti rientrano nella tolleranza per diverse modalità di esecuzione del calcolo. L'efficacia dell'intervento è comunque giustificata.

Nella finestra del Rapporto di elaborazione, facendo clic sul pulsante **'Sismica: attuazione Legge 61/98'** si possono visualizzare i risultati appositamente riassunti per la **compilazione delle schede tecniche di accompagnamento ai progetti di ricostruzione**, consultabili in maniera estesa attraverso l'elaborazione della Relazione di Calcolo (scegliere il parametro 'Attuazione Legge 61/98' nella scheda 'Analisi Sismica' della finestra di dialogo 'Stampa su file', apribile con il comando Stampa del menu File della finestra Edificio).

Per quanto riguarda la consultazione delle varie opzioni grafiche, la fase di stampa ed ogni altra proprietà del software, si rimanda al Volume 2, Manuale d'uso, 'Documentazione per l'Utente', disponibile anche sotto forma di ipertesto nella Guida in linea.

**C.1.1.2. ESECUZIONE con INPUT MANUALE (TABELLARE)**

La via tradizionale tabellare, con input manuale interattivo, è una metodologia sempre valida che può essere seguita per l'inserimento dei dati geometrici in PC.M 2000. Mentre si inseriscono le dimensioni  $L_x$  e  $L_y$  delle pareti e le posizioni del baricentro  $X_g$  e  $Y_g$ , si può osservare la costruzione interattiva della struttura (il disegno, cioè, si aggiorna automaticamente ad ogni variazione dei dati).

Questa metodologia viene seguita quando non si disponga di un programma di CAD, oppure qualora si desideri rilevare le dimensioni e le coordinate delle pareti direttamente da rilievi cartacei.

Per l'edificio dell'esempio, supponiamo quindi di disporre delle piante (rappresentate nelle figure seguenti) e di aver preparato manualmente una tabellina che utilizzeremo per l'inserimento dei Dati Pareti in tabella.

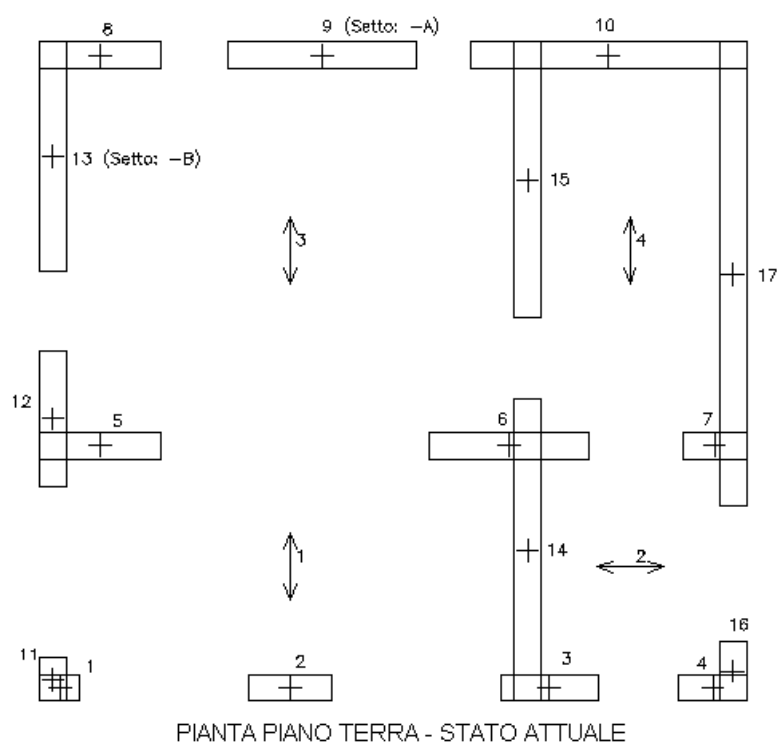


Fig. 1.

DATI GEOMETRICI PIANO TERRA (PIANO di calcolo n°1) - STATO ATTUALE

	Lx (m)	Ly (m)	Xg (m)	Yg (m)	Ang. (°)	Hi	Altezze (m)			
							Hf	Hb	Hcalc	
1	0.60	0.40	0.300	0.200	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
2	1.25	0.40	3.725	0.200	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
3	1.45	0.40	7.575	0.200	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
4	1.00	0.40	10.000	0.200	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
5	1.80	0.40	0.900	3.800	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
6	2.35	0.40	6.975	3.800	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
7	0.95	0.40	10.025	3.800	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
8	1.80	0.40	0.900	9.600	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
9	2.80	0.40	4.200	9.600	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
10	4.10	0.40	8.450	9.600	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
11	0.40	0.65	0.200	0.325	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
12	0.40	2.00	0.200	4.200	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
13	0.40	3.40	0.200	8.100	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
14	0.40	4.50	7.250	2.250	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
15	0.40	4.10	7.250	7.750	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
16	0.40	0.90	10.300	0.450	0	3.30	3.30	0.00	3.00	
17	0.40	6.90	10.300	6.350	0	3.30	3.30	0.00	3.00	

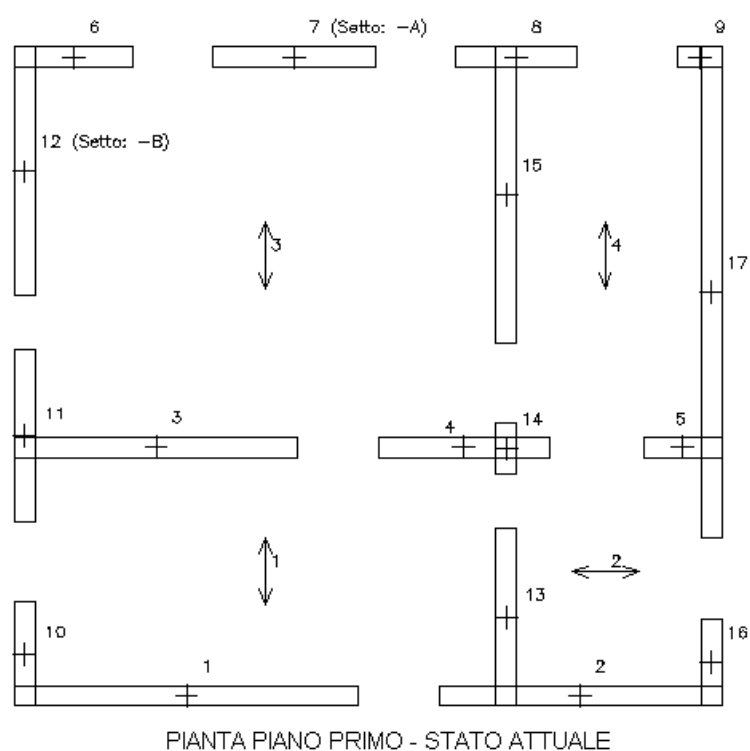
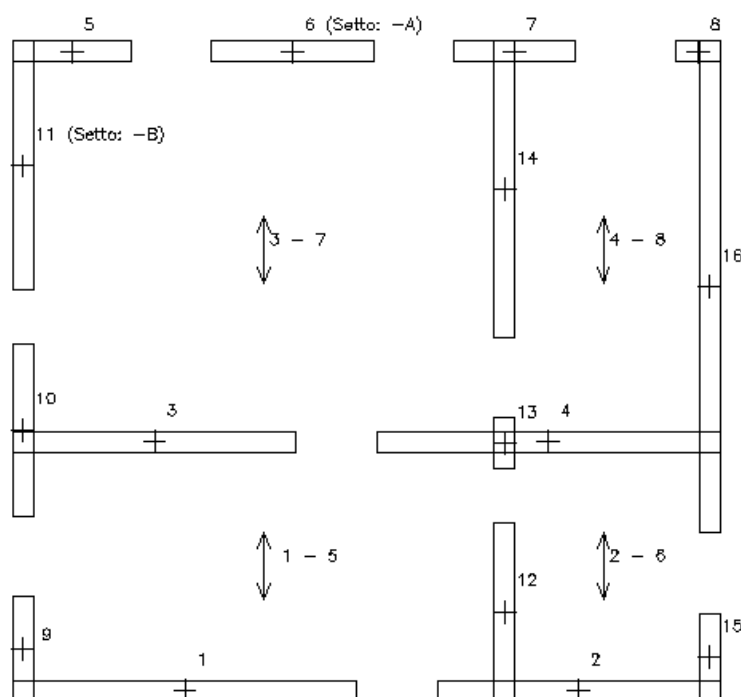


Fig. 2.

DATI GEOMETRICI PIANO PRIMO (PIANO di calcolo n°2) - STATO ATTUALE

	Lx (m)	Ly (m)	Xg (m)	Yg (m)	Ang. (°)	Hi	Altezze (m)			Hcalc
							Hf	Hb		
1	5.10	0.30	2.550	0.150	0	3.30	3.30	0.00		3.00
2	4.20	0.30	8.400	0.150	0	3.30	3.30	0.00		3.00
3	4.20	0.30	2.100	3.850	0	3.30	3.30	0.00		3.00
4	2.55	0.30	6.675	3.850	0	3.30	3.30	0.00		3.00
5	1.15	0.30	9.925	3.850	0	3.30	3.30	0.00		3.00
6	1.75	0.30	0.875	9.650	0	3.30	3.30	0.00		3.00
7	2.40	0.30	4.150	9.650	0	3.30	3.30	0.00		3.00
8	1.80	0.30	7.450	9.650	0	3.30	3.30	0.00		3.00
9	0.65	0.30	10.175	9.650	0	3.30	3.30	0.00		3.00
10	0.30	1.55	0.150	0.775	0	3.30	3.30	0.00		3.00
11	0.30	2.55	0.150	4.025	0	3.30	3.30	0.00		3.00
12	0.30	3.70	0.150	7.950	0	3.30	3.30	0.00		3.00
13	0.30	2.65	7.300	1.325	0	3.30	3.30	0.00		3.00
14	0.30	0.75	7.300	3.825	0	3.30	3.30	0.00		3.00
15	0.30	4.40	7.300	7.600	0	3.30	3.30	0.00		3.00
16	0.30	1.30	10.350	0.650	0	3.30	3.30	0.00		3.00
17	0.30	7.30	10.350	6.150	0	3.30	3.30	0.00		3.00



PIANTA PIANO SECONDO - STATO ATTUALE

Fig. 3

DATI GEOMETRICI PIANO SECONDO (PIANO di calcolo n°3) - STATO ATTUALE

	Lx (m)	Ly (m)	Xg (m)	Yg (m)	Ang. (°)	Hi	Altezze (m)			Hcalc
							Hf	Hb		
1	5.10	0.30	2.550	0.150	0	3.30	3.30	0.00		3.00
2	4.20	0.30	8.400	0.150	0	3.30	3.30	0.00		3.00
3	4.20	0.30	2.100	3.850	0	3.30	3.30	0.00		3.00
4	5.10	0.30	7.950	3.850	0	3.30	3.30	0.00		3.00
5	1.75	0.30	0.875	9.650	0	3.30	3.30	0.00		3.00
6	2.40	0.30	4.150	9.650	0	3.30	3.30	0.00		3.00
7	1.80	0.30	7.450	9.650	0	3.30	3.30	0.00		3.00
8	0.65	0.30	10.175	9.650	0	3.30	3.30	0.00		3.00
9	0.30	1.55	0.150	0.775	0	3.30	3.30	0.00		3.00
10	0.30	2.55	0.150	4.025	0	3.30	3.30	0.00		3.00
11	0.30	3.70	0.150	7.950	0	3.30	3.30	0.00		3.00
12	0.30	2.65	7.300	1.325	0	3.30	3.30	0.00		3.00
13	0.30	0.75	7.300	3.825	0	3.30	3.30	0.00		3.00
14	0.30	4.40	7.300	7.600	0	3.30	3.30	0.00		3.00
15	0.30	1.30	10.350	0.650	0	3.30	3.30	0.00		3.00
16	0.30	7.30	10.350	6.150	0	3.30	3.30	0.00		3.00


Si eseguirà l'input manuale (tabellare) dell'edificio che denomineremo E-A-01.

Lanciato PC.M 2000, il programma si predispone da solo per i dati di un nuovo edificio.


I dati sono ancora da definire: le finestre grafiche sono vuote.

Iniziamo con lo specificare il numero di piani nella finestra Edificio: 3. L'edificio è esistente, e quindi la selezione di default va bene (altrimenti, fare clic su 'Nuovo').

Nella casella di testo del 'Commento' si può inserire un testo a piacere inerente l'edificio corrente (descrizione dell'edificio, nome del Committente ed ubicazione, indicazioni sulla configurazione del progetto, ecc.)

La finestra Edificio non richiede ulteriori dati; essa resterà come finestra di sfondo dell'applicazione. In ogni momento si può renderle il fuoco (cioè riattivarla) anche utilizzando il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

[Nota: la finestra Edificio è finestra principale, e durante la sessione di lavoro con PC.M permane come finestra di sfondo dell'applicazione (può essere nascosta da altre finestre, ad esempio la finestra Pareti). Al menu File della finestra Edificio appartiene l'unico comando che permette l'uscita da PC.M: CTRL+Q (Esci). Non è infatti possibile chiudere l'applicazione dalla barra del titolo principale, e non sono disponibili i pulsanti di ridimensionamento e chiusura della finestra Edificio.]

**ALT+N,N (CTRL+N):** attiva la finestra Piani. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

Nei Dati Piani:

inizialmente, le righe della tabella - tante quanti sono i piani specificati nei Dati Edificio + 1 (il piano 0 = piano di fondazione) -, si presentano ognuna con: una sola parete in totale, un solo solaio in totale, altezze nulle.

- Nella colonna 'Numero pareti', inserire ad ogni piano il numero totale delle pareti, già noto dagli schemi delle piante resistenti: 1 al piano 0 (per ora non consideriamo il numero di fondazioni, che sarà ottenuto automaticamente a partire dai dati delle pareti sovrastanti; comunque, almeno un elemento di fondazione sarà presente, per questo va bene: 1); 17 al piano 1 (Piano Terreno); 17 al piano 2 (Piano Primo); 16 al piano 3 (Piano Secondo).

- Nella colonna 'Numero solai' inserire ad ogni piano il numero totale delle maglie di solaio + 1: la maglia in più, piano per piano, descriverà il 'Perimetro di Piano', dato obbligatorio per ogni piano dell'edificio (tranne che per le fondazioni). Per ogni piano (fondazioni incluse) deve esserci almeno 1 solaio: eventualmente, l'unico solaio presente avrà valori nulli (nel caso del piano 0 di fondazione) oppure coinciderà col Perimetro di Piano (nel caso dei piani in elevazione). Inseriamo quindi: 1 al piano 0; 5 al piano 1; 5 al piano 2; 9 al piano 3: infatti, il sottotetto e la copertura verranno rappresentati da due ordini di maglie di solaio, a due a due sovrapposte ( $4 \times 2 = 8$ , + il Perimetro di Piano = 9 maglie).

Qualora, nel corso di input/modifica delle tabelle dei Dati Pareti e dei Dati Solai si desideri modificarne il numero totale del piano corrente, automaticamente PC.M gestirà la modifica del corrispondente parametro (Numero pareti o Numero solai) nella tabella dei Dati Piani.

Proseguiamo con l'input nei Dati Piani.

- Inserire le altezze (3.30 m.) (per il piano 0 di fondazione si può lasciare altezza nulla; un'eventuale valore non nullo in questo campo - pari all'altezza delle fondazioni - può essere utilizzato per impostare le forze sismiche a partire dall'intradosso delle fondazioni, cioè dal piano di appoggio sul terreno, altrimenti le forze iniziano ad essere valutate dall'estradosso, assunto come quota 0.00 di riferimento);

- si potrebbe precisare l'altezza di solaio 'Hsol' al fine di evidenziarla, ma scegliamo di lasciarla nulla considerandola compresa nell'altezza di piano 'H piano';

- la colonna 'Piano Rigido' vede [a parte le fondazioni (=piano 0)] tutti i piani attivati: lasciarli tali; se si optasse per uno o più piani deformabili, fare clic sulla casellina grafica, per farla apparire rossa (è sufficiente anche evidenziare la cella e premere un qualunque tasto per alternare l'attivazione / disattivazione della proprietà);

- per l'applicazione della Circ.21745 è possibile scegliere fra i tre metodi: VeT, Por e PorFlex (nel calcolo saranno effettivamente attivati solo in caso di presenza di almeno un piano rigido). Se poi nella verifica si userà il D.M.20.11.1987, questa colonna è ininfluente;


- fare clic sulle caselline colorate della colonna 'PressoFless. Complanare' per **disattivare le Verifiche a PressoFlessione per Azioni Complanari**: tali verifiche sono disattivate quando l'icona è rossa; riattivarle (icona verde spuntata) se invece si decide di tenere in considerazione tali verifiche;

- l'attivazione del Vento in direzione X e Y può essere lasciata vera, anche se le scelte successive determineranno la trascurabilità degli effetti del vento;

- tutte le altre colonne possono essere lasciate inalterate.

Chiudere la finestra Piani, facendo clic sul pulsante di chiusura (l'operazione non è necessaria per passare ad altre finestre; tuttavia si ritiene inutile tenere aperte finestre completate che comunque possono essere in ogni momento chiamate di nuovo).

Riappare la finestra Edificio.

**ALT+N,P (CTRL+P):** attiva la finestra Pareti. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

Si inseriranno i Dati Pareti, che descrivono in dettaglio gli elementi resistenti dell'edificio.



Tutte le pareti hanno sezione trasversale rettangolare, pertanto non sarà necessario editare il numero dei vertici (sempre pari a 4, in tal caso) e le coordinate dei vertici; traslascieremo l'input/modifica di tali campi.

Per semplificare l'introduzione dei dati geometrici, utilizzare la tabella in formato ridotto:

**ALT+O,R** (Menu Opzioni, Tabella Ridotta)

Fare clic nel campo di input Lx della parete 1 del piano 1, e iniziare a digitare i dati geometrici. Digitato un dato, spostarsi al successivo ad esempio utilizzando il tasto freccia →, oppure confermare con INVIO e spostare la cella con un clic. Facendo doppio clic su un campo, vi si colloca direttamente la cella e si attiva l'editazione.

Per la parete 1, quindi, si ha:

$L_x = 0.60$ ,  $L_y = 0.40$ ,  $X_g = 0.30$ ,  $Y_g = 0.20$

Inizia la costruzione grafica interattiva in 2D e 3D: l'unica parete non nulla inserita occupa tutta l'area visiva nel 2D, mentre nel 3D (dove già è attiva l'informazione delle altezze dei piani), si vede la parete 1 piatta (ha ancora altezza nulla), in basso (base del piano 1).

Inseriamo ora i dati della parete 2:

$L_x = 1.25$ ,  $L_y = 0.40$ ,  $X_g = 3.725$ ,  $Y_g = 0.20$

E' evidente come l'interattività dei quadri grafici rappresenta, istante per istante, la configurazione geometrica corrente.

Con riferimento ai dati sopra riportati, si completino i campi Lx, Ly, Xg, Yg per tutte le pareti.

Quindi, si digiti 'H inizio' pari a 3.30 per la parete 1, e tenendo lì la cella si unifichi la colonna:

**ALT+U,C (CTRL+U)**

tutte le pareti inserite assumono la tridimensionalità.

Ogni parete è dotata anche di altezza finale, altezza di base e altezza di calcolo. Le selezioni correnti del menu Opzioni della finestra Pareti ( ✓Hf=Hi, ✓Hcalc automatica ) fanno sì che automaticamente l'altezza finale sia posta uguale alla iniziale (pareti a piano medio rettangolare, cioè con sommità parallela alla base), e che l'altezza di calcolo venga posta uguale alla media fra Hf e Hi (e quindi, nel caso corrente, pari alla Hi medesima).


Ricordiamo che Hcalc è l'altezza effettivamente assunta per il calcolo per azioni complanari, quindi ad esempio per il Metodo Por; nelle verifiche ad azioni ortogonali viene invece assunta l'altezza geometrica media tra Hinizio e Hfine.

L'altezza di base Hbase è normalmente pari a 0, a parte il caso di sfalsamenti (non presenti in questo esempio).

Per questa pianta, inoltre, l'angolo di rotazione è zero per tutte le pareti (le pareti Y non hanno angolo 90°, ma hanno:  $L_y > L_x$ ).

Inseriti i dati geometrici, è subito possibile far impostare a PC.M gli allineamenti. Il riconoscimento automatico di sigle e allineamenti avviene con un algoritmo del tutto simile a quello attivato automaticamente durante l'importazione dei dati da files DXF; nel caso di input manuale, occorre usare il comando Ottimizza del menu Modifica:

**ALT+M,O** (Menu Modifica, Ottimizza)

Vogliamo ora visualizzare, sulla pianta, gli allineamenti. Facendo clic sulla finestra grafica 2D, scegliamo il comando 'Parametri di Disegno' del menu Opzioni (**F11**) (o usando la barra degli strumenti: ): disattiviamo 'Numerazione' e attiviamo 'Allineamenti'. Confermando con OK, si evidenzieranno gli allineamenti che costituiscono i 'filì fissi' di riferimento della struttura e che, notiamo ancora, sono stati creati automaticamente attraverso il comando Ottimizza del menu Modifica (*se i dati geometrici della struttura fossero stati importati da file DXF, gli allineamenti sarebbero stati creati automaticamente durante l'importazione*).

Fare di nuovo clic sulla finestra Dati Pareti per ridarle il fuoco.

Riattivare ora la tabella completa:

**ALT+O,T** (Menu Opzioni, Tabella Completa)

Provare a ingrandire e quindi ridimensionare la tabella: essa può essere sempre ridimensionata a piacere dall'utente. Un elevato numero di dati visualizzati può, in sistemi meno veloci, rallentare la gestione della tabella, fatto comunque ininfluenza sul contenuto della tabella stessa.

Facendo clic sulla barra di scorrimento orizzontale in basso, scorrere i campi della tabella.

In successione: in bianco, il gruppo di dati Identificazione e, più a destra, Vincoli e Setti; in giallo, Geometria; in verde, Materiali; in celeste, Carichi.

Tutte le pareti sono sia portanti, sia di controvento (cioè reagiscono sia staticamente sia sismicamente).

Tutte le pareti al piano 1 sono fondate, mentre ai piani superiori ovviamente non lo sono.

Eseguire l'introduzione dei dati geometrici anche ai piani superiori: per spostarsi tra i piani, usare i comandi del Menu Sposta, oppure i pulsanti grafici della barra degli strumenti (▲ ▼ ▲ ▼).

Tornando al piano 1, in corrispondenza della parete 1, definire ora il tipo di materiale: facendo clic sul campo corrispondente, si attiva la casella di riepilogo in cui si può scegliere il materiale, facendo doppio clic su quello che interessa (per predefinito, i tipi 1 e 2 sono Cemento Armato e Acciaio; se si tratta di elementi in muratura, scegliere quindi uno dei tipi da 3 in poi). Nel caso in esame, si sceglierà il tipo 4. Per default, viene proposto - per tale materiale - il peso specifico di 1800 kg/mc: per concordare con l'esempio di riferimento, digitare in tale colonna il valore 1900.

Ponendo la cella su 'Tipo mat.', usare **CTRL+U** per unificare i tipi di materiale di tutte le pareti.

Passando ora alle colonne sui Vincoli, lasciare 12.0 per il coefficiente di rigidità flessionale complanare; correggere 8.0 in 10.0 per il denominatore del momento in mezzaria per Azioni Ortogonali esercitate sulla parete vincolata agli interpiani, ed unificare la colonna; passare quindi, più a destra, alla colonna 'Setti'.

Mentre le **Pareti** sono per definizione i maschi murari di interpiano, i **Setti** sono i paramenti esterni a tutt'altezza (dalla fondazione alla sommità) che saranno sottoposti alle verifiche a Ribaltamento e a PressoFlessione per Azioni Ortogonali. I Setti, sempre considerati nel calcolo come strisce di base 1.00 m., vengono definiti, in PC.M 2000, adottando una sigla specifica per ogni paramento murario e attribuendola, piano per piano, alle pareti che compongono tale setto: con riferimento all'esempio studiato (pag.83, TAV.05 del volume di riferimento), si avranno due setti:

- il setto A, composto dalle pareti 9 (p.1°), 7 (p.2°) e 6 (p.3°);
- il setto B, composto dalle pareti 13 (p.1°), 12 (p.2°) e 11 (p.3°):

in corrispondenza di tali pareti, digitare - nella colonna Setti - il nome del setto. In PC. M 2000 si adotta la convenzione di *nome preceduto dal segno meno*: -, *qualora l'esterno sia collocato alla sinistra* del setto (la sinistra è verso l'alto per pareti orientate secondo +X, e verso sinistra per pareti orientate secondo +Y); il segno non è necessario nel caso opposto. Per l'esempio corrente, si adotteranno i nomi:

-A




-B

digitare tali nomi nel campo 'Setti' delle pareti suddette.

Per visualizzare il nome dei Setti nella pianta, fare clic sul pulsante 'Parametri di Disegno' della barra degli Strumenti, scheda Dati, comando 'Setti'.

Per le medesime pareti interessate dalla definizione dei Setti, si dovrà specificare se il solaio di interpiano costituisce vincolo efficace per la parete: se sì, nella verifica ad Azioni Ortogonali per PressoFlessione del setto verrà considerato un appoggio di trave continua, altrimenti la sezione sarà libera (se tutti i vincoli sono inefficaci, la verifica riguarderà uno schema a mensola; nei vari casi possibili si avranno travi continue con incastro alla base e appoggi nel corso dello sviluppo in altezza, con campate composte ognuna da uno o più interpiani, a seconda della presenza di vincoli efficaci). Ai fini della verifica a Ribaltamento l'efficacia del vincolo non svolge alcun ruolo, in quanto - in tal caso - sono le forze di tirantaggio (assicurate da tiranti, catene, cordoli, controventi di solaio) che garantiranno la stabilità (tali forze possono ovviamente essere interpretate come corrispondenti a vincoli efficaci per la verifica a PressoFlessione).


Nel caso in esame, per lo Stato Attuale si disattivano tutti i campi di vincolamento efficace per le pareti che definiscono i setti: infatti, si ipotizza che l'intervento di consolidamento debba ancora essere eseguito.

Ogni tanto, salvare i dati (anche usando la barra degli strumenti: ). Si osservi che con i comandi Annulla e Ripristina del menu Modifica (barra degli strumenti:  ) è possibile tornare alla configurazione precedente o ripristinare la successiva (comandi molto utili in caso di errori di inserimento dati o necessità di correzione).


Nel campo 'Tiro', allo Stato Attuale, non vi è alcun dato.


Per quanto riguarda i carichi imposti (campi di input in colore celeste), questi sono carichi aggiuntivi rispetto a quelli che saranno automaticamente calcolati in base ai Dati Solai (che introdurremo tra poco). Nel caso in esame, non vi è alcun carico verticale, mentre si vuole inserire una forza orizzontale ribaltante in sommità del setto 'A' all'ultimo piano dovuta alla spinta della copertura. Torneremo, però, sul campo 'Fperm.distr.' e 'Facc.distr.' non appena definiti i Solai.


Tornare ora a sinistra sulla colonna 'Interasse irrigidimenti': per il setto A [*cioè: per tutte le pareti che concorrono a definire il setto A*], digitare 7.00 m. (corrisponde all'interasse tra le pareti ortogonali; tale vincolo permetterà il calcolo di idonei coefficienti per le azioni ortogonali alle pareti); per il setto B, 5.70 m. (in corrispondenza di tutti i piani).

Possiamo ora chiudere la finestra Pareti e passare ai dati Solai (**CTRL+S**), dove specificare le maglie ed i carichi. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .


All'inizio, è visualizzato il piano 1, con 5 maglie di solaio. Se volessimo aggiungere, inserire o eliminare altre maglie (analogamente a come faremmo per aggiungere, inserire o eliminare altre pareti nella tabella dei Dati Pareti), dovremmo utilizzare i comandi del menu Modifica (cambiando quindi il numero delle righe della tabella):

Aggiungi (**CTRL+A**) (o equivalentemente usando il corrispondente pulsante della barra degli strumenti: 

Inserisci (**CTRL+I**) (barra degli strumenti: 

Elimina (**CTRL+Y**) (della barra degli strumenti: 

Comunque, abbiamo già predisposto il necessario numero di righe, avendo inserito nei Dati Piani il numero di maglie di solaio piano per piano.

Facciamo clic sulla finestra grafica 2D, scegliamo il comando 'Parametri di Disegno' del menu Opzioni (**F11**) (o usando la barra degli strumenti: 

Usciti dalla finestra di dialogo, fare di nuovo clic sulla finestra Dati Solai per ridarle il fuoco. Spostiamo la cella nel campo 'Solai per Allineamenti (Maglia)' del primo solaio.

Digitiamo la stringa alfanumerica (solo il testo racchiuso tra le virgolette; ogni allineamento è separato dal successivo da uno spazio bianco):

"1X 1Y 2X 2Y"

Confermando, compare nel disegno il primo simbolo di orditura del solaio, inizialmente con angolo 0°. Per cambiarne l'orditura, digitare 90 nel campo 'Angolo orditura'.

Procedere analogamente per gli altri solai, definendo:



Solaio n.2: "2X 1Y 3X 2Y", angolo: 90;

Solaio n.3: "1X 2Y 2X 3Y", angolo: 0;

Solaio n.4: "2X 2Y 3X 3Y", angolo: 90.

Il solaio fittizio n°5 (perimetro di piano) sarà la maglia "1X 1Y 3X 3Y", angolo ininfluente (si può lasciare 0).

Spostando la cella a destra nella colonna 'Schema Statico', si vede che questo è automaticamente 'M' (=solaio monodirezionale). Va bene per tutte le maglie, escluso l'ultima: il solaio fittizio del perimetro di piano deve infatti avere lo schema E.

Per definire le maglie di solaio risulterà, in seguito, probabilmente più comodo utilizzare la via grafica attraverso gli appositi comandi della barra degli strumenti della finestra grafica 2D: il pulsante  attiva l'inizio dell'inserimento della maglia, mentre  conferma e termina: facendo clic su almeno una parete per ogni lato della maglia (cui corrisponde un preciso allineamento), la stringa alfanumerica contenente (nella tabella dei Dati Solai) la sequenza degli allineamenti che definiscono la maglia, si comporrà automaticamente da sola. Mentre si fa clic su una parete, questa viene evidenziata.

Inseriamo ora i carichi:

dai dati dell'esempio di riferimento, risulta, per lo Stato Attuale:

permanente=300 kg/mq (che si può scomporre, ad esempio, in 200 di peso proprio e 100 di sovraccarico permanente); accidentale=200 kg/mq. Si utilizza poi un coefficiente di riduzione  $s=0.33$ , e un coefficiente di combinazione di carico accidentale (per le verifiche agli Stati Limite) pari a 1.00: digitare tali valori nei campi corrispondenti. Unificare i carichi di tutti i solai usando il comando 'Carichi: tutti i seguenti' del menu Unifica; poi riazzerare i carichi del perimetro di piano (ultima riga), che fisicamente non hanno significato.

Spostando ora il fuoco al piano superiore, copiare il piano inferiore: infatti, le maglie di solaio hanno la stessa definizione. Usare il comando 'Piano inferiore' del menu Copia.

Ripetendo l'operazione di copiatura anche all'ultimo piano, da 9 i solai diventano 5: infatti, il comando di Copia del piano pone i dati del piano corrente esattamente uguali a quelli del piano copiato. Nessun problema: reinseriremo le 4 maglie mancanti.

Correggiamo intanto il carico accidentale del solaio di sottotetto (100, invece di 200 kg/mq); quindi, inseriamo altre quattro maglie, sovrapposte a quelle già definite, per schematizzare l'azione della copertura (non esiste un piano di pareti in copertura definito nell'edificio).

Per far ciò, porre la cella corrente in corrispondenza dell'ultima riga (5° solaio), e utilizzare 4 volte il comando 'Inserisci' del menu Modifica (**CTRL+I**) (o equivalentemente usando il corrispondente pulsante della barra degli strumenti), ottenendo infine 9 righe totali in tabella. Riempiamo le maglie da 5 a 8, copiando quelle da 1 a 4: è possibile usare i comandi 'Copia' e 'Incolla' del menu Modifica: posizionare la cella corrente sul solaio 1; comando 'Copia' del menu Modifica; spostare la cella sul solaio 5; comando 'Incolla'. Ripetere l'operazione, fino alla completa definizione delle 4 nuove maglie di solaio.

Per le 4 nuove maglie (da 5 a 8), digitare i carichi di copertura:

p.p.=150, perm. oltre p.p.=50, acc.=120 (neve), s=0.33, coeff.comb.=0.70


Infine, per queste nuove maglie, si inserirà una 'Pendenza' pari a 30 (%): essa permetterà, nei calcoli, di considerare un carico verticale incrementato adeguatamente, e consentirà l'uso di un'utilità dedicata al calcolo delle spinte. Si osservi inoltre che al piano 3 tutte le maglie hanno angolo di orditura 90.

A questo punto siamo in grado di calcolare la spinta della copertura sul setto 'A' grazie ad un'utilità di PC.M 2000: posizioniamo la cella sul solaio n°6 (siamo sempre al piano 3); comando 'Spinta da solaio inclinato' del menu Opzioni. Viene richiesta la luce orizzontale: inserire 5.90 (vedi pag.51 del Volume Prov.PG-S.S.N.).

Confermando, compare una finestra di testo con il risultato:

spinta permanente=162 kg/ml, spinta accidentale=97 kg/ml. Questi valori possono essere ora utilizzati per applicarli alla parete 6 del piano 3°, nei Dati Pareti, dove è definito il setto A: chiamare quindi la finestra Dati Pareti, con **CTRL+P** o usando il comando del menu Finestra. Spostarsi sul piano 3, ed inserire i valori 162 per 'Fperm.distr.' e 97 per 'Facc.distr.'

Nessuna spinta dalla copertura è applicata sul setto B.

Chiudiamo la finestra Pareti e la finestra Solai, tornando ai Dati Edificio. Chiamiamo ora la finestra Fondazioni, con **CTRL+F** o usando il comando del menu Finestra. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

Il comando più rapido per definire l'insieme delle fondazioni è: 'Crea Fondazioni da pareti' del menu Opzioni. Viene così creato un reticolo di fondazione, dove le fondazioni vengono riunificate con continuità lungo ogni allineamento (rispetto alle sezioni delle pareti sovrastanti).

Le fondazioni, però, sono più larghe delle pareti sovrastanti: usare allora il comando Allarga del menu Edit.


Inserendo il valore 0.20, tutte le fondazioni saranno allargate da 40 a 60 cm.

Posizioniamo ora la cella sul campo 'Spessore suola' e digitiamo 0.40 (altezza della fondazione). Unificando la colonna (**CTRL+U**) si completa la definizione geometrica delle fondazioni.

Resta infine il peso proprio: nella colonna 'Tipo Mat.' Scegliamo, dalla casella a discesa, 'Calcestruzzo'.

Così, la definizione delle fondazioni è stata rapidamente completata.

Ricordiamo che la definizione delle fondazioni è necessaria per tutti gli edifici. Qualora non siano effettivamente note, esse devono essere supposte con le dimensioni più plausibili e definite in PC.M 2000. I comandi di utilità, quali 'Crea Fondazioni da pareti', assistono l'utente per la creazione rapida di reticoli di fondazione, con la procedura ora illustrata.

A questo punto, quasi tutti i dati sono inseriti: rimangono i '**Parametri di Calcolo**' che determineranno i tipi di verifiche che verranno eseguite. Dalla finestra Edificio, menu Esegui, comando 'Parametri di Calcolo' (**F11**) (o usando la barra degli strumenti: 

Poniamo l'attenzione sui parametri principali.

#### 1. Analisi Statica.

Si scelgono: Fondazioni su Piano Rigido, e Trascurabilità delle verifiche statiche secondo D.M.20.11.1987.

#### 2. Analisi Sismica.

Nel Riferimento Normativo viene scelto il percorso di verifica: D.M.20.11.1987 o Circolare 21745 del 30.7.1981. In questo primo calcolo, facciamo riferimento alla Circ.21745.

Azioni Sismiche: per la ricostruzione in base alla Legge 61/98, specificare 0.65 per il Coefficiente di Sicurezza nei confronti dell'Adeguamento Sismico [*tale coefficiente sarà invece pari a 1.00 per un normale progetto di adeguamento*].

Masse sismiche: piani completi. Sezione per Verifiche a Taglio: alla base della parete. Verifiche a Taglio secondo Circ.21745: scegliere lo Stato Limite Ultimo al collasso della prima parete.

#### 3. Parametri Vari (1).

Scegliere lo Stato di Fatto. Se fosse uno Stato di Progetto, dovremmo anche definire la struttura di confronto, per rilevarne il  $C_0$  di riferimento.


Verifiche a Taglio secondo D.M.20.11.1987: prescindere dalla parzializzazione su tutte le pareti.

Per Azioni Ortogonali: eseguire le verifiche sismiche a pressoflessione sui Setti.

#### 4. Parametri Vari (2).

Capacità portante del terreno:  $q_{lim} = 6.60 \text{ kg/cmq}$ .

Confermando con OK, si è completato l'inserimento dati.

Per l'esecuzione del calcolo, dalla finestra Edificio: menu Esegui, Analisi Sismica (o usare il pulsante grafico della barra degli strumenti: ). Al termine dell'elaborazione, una finestra mostra il 'Rapporto di Elaborazione', con i coefficienti C corrispondenti alle diverse verifiche attivate, ed i risultati complessivi. Questo edificio, allo stato attuale, presenta valori teorici praticamente nulli di C, come peraltro ben dettagliatamente evidenziato nel volume di riferimento (par.8.5, pag.52).

Il valore di C corrispondente al metodo Por è pari a 0.059, un poco inferiore allo 0.064 riportato nel volume a pag.55 (le differenze possono rientrare nella tolleranza per diverse modalità di esecuzione del calcolo, che in PC.M 2000 viene completamente automatizzato).

Spostando il fuoco sulle finestre grafiche 2D e 3D si può dare inizio alle consultazioni sulle post-elaborazioni grafiche dei risultati. A questo punto, però, focalizziamo l'attenzione sulla schematizzazione dell'intervento edilizio.

Confermando con OK, riattiviamo la finestra Edificio e salviamo E-A-01.

Andremo ora a modificarlo per creare lo **Stato di Progetto**: salviamo quindi l'edificio anche con il nome **E-A-01-P**, usando 'Salva con nome' del menu File.

In E-A-01-P non vi è alcun cambiamento nella finestra **Dati Piani**.

Nella finestra **Dati Pareti**:

- \* al piano 1, attribuiamo a tutte le pareti il materiale 13, sempre correggendo in 1900 kg/mc il peso specifico;
- \* in corrispondenza delle pareti che definiscono i Setti, a tutti i piani, poniamo veri i Vincoli efficaci;
- \* la spinta del tetto permane: nel calcolo, essa verrà contrastata dal tiro dei tiranti (in PC.M 2000 l'azione di tirantaggio viene usata per la verifica; diversamente, con calcoli manuali si può operare con una preventiva progettazione, come riportato al par.8.11, pag.58 del volume di riferimento: l'effetto finale è il solito - giungere, cioè, alla dimostrazione di una raggiunta stabilità delle strutture);
- \* occorre definire il tiro dei tiranti. Ad ogni piano, verranno posti nelle due direzioni X e Y, 4d24, caratterizzati da  $f_{vd}=2470 \text{ kg/cmq}$ .

Posizioniamo la cella sulla parete 6 del piano 3. Menu Opzioni, comando 'Tiro dai tiranti'. Per valutare l'azione di tirantaggio a ml. sul lato dell'edificio (di lunghezza 10.50 ml.), si specifica la stringa (solo il testo tra virgolette):

"4,24,2470,10.50"

Il risultato è un'azione di 4257 kg/ml, che viene subito riportata nel campo 'Tiro' della parete 6. Analogo valore si inserirà per le pareti 7 del piano 2°, e 9 del piano 1°.

Per quanto riguarda il setto B, si procede analogamente, ma su un lato dell'edificio di 10.00 m, ottenendo un'azione di 4470 kg/ml.

- \* Per completare i dati dello Stato di Progetto, rimane una variazione geometrica per la tamponatura del vano al piano terra. Devono essere unificate le pareti 1 e 2 del p.1° (ricordiamo che in PC.M 2000 il piano 1 è sempre il piano più in basso di calcolo, e quindi coincide spesso - come in questo caso - col piano terreno).

Posizioniamo la cella sulla parete 1; menu Edit, comando Unisci. Specificare: 2 (il che significa: unisci la 1 alla 2), e confermare con Invio. Il risultato è immediatamente evidente.

Nella finestra **Dati Solai**:

- \* a tutte le maglie di solaio dei piani 1 e 2 occorre attribuire un peso proprio di 300 kg/mq (anziché 200), a causa della soletta di irrigidimento prevista dall'intervento.

Nella finestra **Dati Fondazioni**:

\* a causa dell'unificazione delle pareti 1 e 2 al piano 1, la fondazione n°2 è rimasta 'scollegata' dalle pareti sovrastanti. Convien quindi eliminarla, 'stirando' la n°1:  
cella sulla n°2, menu Modifica, comando Elimina;  
cella sulla n°1, menu Edit, comando Stira, inserire (solo testo tra virgolette): "0,3.75", confermare (significa: 0=lascia inalterato l'estremo iniziale; 3.75=allunga di 3.75 l'estremo finale).

Torniamo alla finestra Edificio. Nei 'Parametri di Calcolo':

\* Scheda 'Parametri Vari (1)': deselezionare 'Setti' e selezionare 'Pareti appartenenti a Setti' (ovviamente questa è una scelta; si potrebbe anche selezionarle entrambe, ed anche le pareti non appartenenti a setti).

Nella stessa scheda, fare clic su 'Stato Modificato' e digitare E-A-01 come struttura di confronto allo Stato Attuale.

Confermando con OK, si è completato l'inserimento dati dello Stato di Progetto.

Per l'esecuzione del calcolo, dalla finestra Edificio: menu Esegui, Analisi Sismica (o usare il pulsante grafico della barra degli strumenti). Al termine dell'elaborazione, il 'Rapporto di Elaborazione' mostra i coefficienti C corrispondenti alle diverse verifiche attivate, ed i risultati complessivi. Questo edificio, allo stato di progetto, presenta i valori seguenti (da confrontare con il Volume Prov.PG-S.S.N., pag. 60):

**Verifica a Ribaltamento:  $C = 0.725$**

**Verifica a PressoFlessione per Azioni Ortogonali:  $C = 0.067$**

**Verifica di resistenza globale a taglio:  $C = 0.056$**

Per l'esempio svolto nel volume di riferimento si ha, corrispondentemente:

Verifica a Ribaltamento:  $C=0.857$

Verifica a PressoFlessione per Azioni Ortogonali:  $C=0.081$

Verifica di resistenza globale a taglio:  $C=0.068$

Come per lo Stato Attuale, i valori un poco più bassi ottenuti rientrano nella tolleranza per diverse modalità di esecuzione del calcolo. L'efficacia dell'intervento è comunque giustificata.

Nella finestra del Rapporto di elaborazione, facendo clic sul pulsante '**Sismica: attuazione Legge 61/98**' si possono visualizzare i risultati appositamente riassunti per la **compilazione delle schede tecniche di accompagnamento ai progetti di ricostruzione**, consultabili in maniera estesa attraverso l'elaborazione della Relazione di Calcolo (scegliere il parametro 'Attuazione Legge 61/98' nella scheda 'Analisi Sismica' della finestra di dialogo 'Stampa su file', apribile con il comando Stampa del menu File della finestra Edificio).

Per quanto riguarda la consultazione delle varie opzioni grafiche, la fase di stampa ed ogni altra proprietà del software, si rimanda al Volume 2, Manuale d'uso, 'Documentazione per l'Utente', disponibile anche sotto forma di ipertesto nella Guida in linea.

### C.1.2. E-A-02: TEST DEL METODO POR (REGIONE FRIULI, 1977)

Facciamo anzitutto riferimento all'archivio **E-A-02-A**. Questa struttura, inserita a scopo di test, è tratta dal Documento Tecnico DT2 della Regione Friuli-Venezia Giulia, diffuso in applicazione della Legge Regionale n.30 del 20.6.1977, contenente un'ampia descrizione del metodo Por. I risultati sono concordi con quanto ivi riportato.

E' una struttura esistente, con muratura perimetrale in pietra, consolidata con iniezioni di malta cementizia e con una parete in nuova muratura. I solai, in laterocemento, sono monodirezionali con orditura 90°. La copertura a falde si imposta su una trave centrale di colmo posta in direzione X.

L'edificio ha 3 piani (terreno, primo, secondo) ed ha altezza di interpiano 3.00 m.

Il carico di solaio è di 500 kg/mq (permanente + accidentale) mentre in copertura è 400 kg/mq.

Nell'esempio del DT2, la muratura ha peso specifico 2150 kg/mc, e quella nuova 1750 kg/mc.

In E-A-02-A di PC.M 2000 si è considerata la seguente ripartizione dei carichi:

ai piani: permanente 300, accidentale 200 kg/mq

in copertura: permanente 300, accidentale 100 kg/mq.

Il grado di sismicità è  $S=12$ . Nel DT2 il coefficiente sismico viene posto pari a 0.300.

In PC.M 2000, seguendo la Normativa Nazionale, si avrebbe:  $K=0.400$ . Per ottenere  $K=0.300$ , possiamo agire sul coefficiente di sicurezza rispetto all'adeguamento, ponendolo pari a  $0.300/0.400 = 0.75$ : poiché tale coefficiente moltiplica i coefficienti sismici, la forza di confronto sarà pari al 75% della forza di Normativa, ossia corrisponderà appunto a  $K=0.300$  anziché  $K=0.400$ .

Nel DT2 la verifica è riportata solo a piano terra: questo è anche l'unico piano inserito in E-A-02-A.

Per l'inserimento dei carichi, si utilizzano le tensioni normali  $\sigma_0$ , compatibilmente alle modalità operative dell'esempio del DT2. Inserendo le tensioni  $\sigma_0$ , si prescinde dalle Combinazioni di Carico e quindi i risultati saranno univoci (non esiste cioè un'analisi dei carichi tale da consentire l'applicazione dei diversi coefficienti amplificativi delle quote permanente e accidentale). Questo metodo permette di eseguire il confronto mantenendo l'ipotesi, ormai superata, di applicazione del Metodo Por con la somma dei carichi G e Q (oggi, invece, in virtù del D.M. 16.1.1996, par. B.8.2., si applicano i coefficienti di combinazione, esaminando il massimo carico - G e Q amplificati -, ed il minimo carico - solo G, senza contributo di Q). Schematizzando ex-novo l'edificio secondo le modalità tipiche di PC.M 2000 (vedi archivio E-A-02-A-B), ed eseguendo il calcolo con le impostazioni attualmente in vigore, i risultati differiranno a causa della diversa entità dei carichi nella valutazione delle resistenze a taglio.

Mancando informazioni sulle fondazioni, queste si creano automaticamente dal piano terreno.

Non vi sono dati sulle maglie di solaio oltre il perimetro di piano, avendo introdotto i carichi direttamente attraverso le tensioni  $\sigma_0$ .

In DT2, nell'espressione della rigidezza alla traslazione dei maschi, si assume per semplicità:

$$(1/1.2) * (G/E) = 1/6$$

In PC.M 2000 invece, essendo  $E=6G$ , tale coefficiente vale 1/7.2: ciò conduce a rigidezze un po' superiori.

Per condurre quindi un confronto diretto, si è diviso il valore di E corrispondente alla muratura considerata per 1.2 in modo da riottenere automaticamente la stessa rigidezza valutata nel DT2.

Nell'edificio non sono stati schematizzati setti, quindi non saranno eseguite le Verifiche a Ribaltamento (non erano presenti nella schematizzazione del DT2).

A seguito di tutto ciò, si è eseguita l'analisi sismica; in particolare, fissiamo l'attenzione sul Metodo Por. Il confronto fra i risultati di PC.M 2000 e quelli riportati nel DT2 mostra i seguenti valori:

Secondo PC.M 2000:

Forza Reattiva (kg) allo Stato Limite Ultimo: X) 154928 - Y) 141507

Coeff. Sic. Stato Limite Elastico: X) 1.284 - Y) 1.132

Coeff. Sic. Stato Limite di Fessurazione: X) 1.384 - Y) 1.267

Coeff. Sic. Stato Limite Ultimo: X) 1.500 - Y) 1.370

Secondo DT2:

Forza Reattiva (kg): X) 154000 - Y) 141000

Coeff. Sic. Stato Limite Elastico: X)  $0.386/0.300=1.286$  - Y)  $0.340/0.300=1.133$

Coeff. Sic. Stato Limite di Fessurazione: X)  $0.418/0.300=1.393$  - Y)  $0.383/0.300=1.276$

Coeff. Sic. Stato Limite Ultimo: X)  $0.449/0.300=1.497$  - Y)  $0.411/0.300=1.370$

dove i coefficienti sono espressi come rapporto fra (Forza Reattiva / Peso Totale) e Coefficiente Sismico di riferimento ( $K=0.300$ ).

I due calcoli conducono quindi a risultati praticamente coincidenti; il test è concluso con successo.

Nell'archivio **E-A-02-A-B** viene ancora analizzato l'edificio proposto dal DT2, schematizzato ex-novo secondo le modalità tipiche di PC.M 2000. Per quanto già detto, i risultati del Metodo Por differiranno a causa della



diversa entità dei carichi agenti sulle pareti, e saranno organizzati secondo le due Combinazioni di Carico di riferimento (massimo carico e minimo carico). In particolare, con riferimento allo Stato Limite Ultimo, risulta:

- Combinazione di Carico 1 (massimo carico):

Forza Reattiva (kg): X) 202158 - Y) 167160

Coeff. Sic.: X) 1.954 - Y) 1.616

- Combinazione di Carico 2 (minimo carico):

Forza Reattiva (kg): X) 172654 - Y) 154697

Coeff. Sic.: X) 1.669 - Y) 1.495

### C.1.3. E-A-03: TEST DEL METODO POR (REGIONE UMBRIA, 1983)

Facciamo anzitutto riferimento all'archivio E-A-03-A. Questa struttura, inserita a scopo di test, è tratta dalle Direttive Tecniche della Regione Umbria (Dipartimento per l'assetto del territorio, Perugia 1983), contenente anch'esso un'ampia descrizione del metodo Por. I risultati sono concordi con quanto ivi riportato.

Si tratta di un edificio a 3 piani, lesionato da un evento sismico e sottoposto a un intervento di consolidamento e ristrutturazione. L'altezza di interpiano è 2.80 m; lo spessore delle murature è di 60 cm. per il piano terra e il piano primo, di 40 cm. per il piano sovrastante.

Con riferimento alla numerazione adottata, i materiali hanno le seguenti caratteristiche:

Parete n.1: originariamente in pietra, ma parzialmente crollata; viene sostituita da muro in mattoni;

2,4: pietra a sacco in buone condizioni; nessun intervento;

3: pietra molto lesionata; iniezioni di cemento per irrigidirla;

5,6: pietra squadrata e ben organizzata; irrobustite con tiranti orizzontali e verticali;

7,8,9: pietra a sacco in buone condizioni; consolidate con tiranti orizzontali.

Alcuni parametri adottati sono i seguenti:

peso della muratura in pietra: 1400 kg/mc; in mattoni: 1800 kg/mc;

carico sui solai di piano: 500 kg/mq; in copertura: 400 kg/mq.

Il coefficiente sismico considerato è:  $K=0.350$ . Avendo posto:  $S=9$ , in PC.M 2000 otteniamo il  $K$  voluto adottando un coefficiente di sicurezza pari a 1.25 (oppure, se volessimo attribuire il significato di tale amplificazione all'effetto del terreno, potremmo porre pari a 1.25 il coefficiente  $\varepsilon=Fa$ ).

Nel documento tecnico si riporta anche il calcolo manuale delle forze sismiche, nell'ipotesi di schema a fasce di piano con la totalità del piano terra. I carichi verticali totali agenti a livello dei tre piani risultano così:

1) 189 t, 2) 124 t, 3) 69 t.

Nella finestra di dialogo 'Parametri di Calcolo', è stato scelto: 'Carichi di Piano inseriti: Sostitutivi', in modo che i valori anzidetti, inseriti nella colonna 'G' dei Dati Piani sostituiscono completamente quelli calcolati in via automatica.

Le forze sismiche calcolate nel documento tecnico sono:

(forze ai vari piani, in kg): 1) 39000 - 2) 50000 - 3) 42000.

PC.M 2000 calcola automaticamente tali forze, e fornisce i valori:

1) 39238 - 2) 51487 - 3) 42975, in ottimo accordo.

L'analisi condotta nelle due sedi diverse mostra i seguenti risultati, per quanto riguarda i valori della forza reattiva, ai vari piani (kg):

Secondo PC.M 2000:

1: X) 242362 - Y) 195574

2: X) 214226 - Y) 177903

3: X) 121077 - Y) 93445

Secondo Documento Tecnico Regione Umbria:

1: X) 235000 - Y) 192000

2: X) 211000 - Y) 174000

3: X) 113000 - Y) 90000



I due calcoli conducono quindi a risultati praticamente coincidenti; il test è concluso con successo. Nell'archivio **E-A-03-B** viene ancora analizzato l'edificio proposto dal Documento Tecnico della Regione Umbria, schematizzato ex-novo secondo le modalità tipiche di PC.M 2000.

#### **C.1.4. E-A-04: PROVA DI METODO PORFLEX**

Condurre il calcolo con Por e PorFlex. Poi, cambiare lo schema del solaio da monodirezionale verso uno a lastra, ed osservare la variazione nei risultati. Per il Por i cambiamenti sono minimi; per PorFlex invece sono assai diversi: infatti in PorFlex l'incidenza del carico verticale su una parete ha molta più importanza che nel Por, a causa delle verifiche a pressoflessione eseguite durante il procedimento di calcolo. Da questo esempio, si vede come sia preferibile la schematizzazione a lastra, usando PorFlex, purché ovviamente la configurazione statica reale dei solai lo consenta.

#### **C.1.5. E-A-05: DEFINIZIONE DI TRAVI**

Esempi, da A a D, di trave impostata su due maschi, e di trave impostata su un maschio e su una striscia. Esempio di trave che sostiene un muro sovrastante. Leggere i Commenti per una breve sintesi delle caratteristiche di ogni esempio.

#### **C.1.6. E-A-06: INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO**

In breve: viene eseguito il confronto fra Stato Attuale (E-A-06-A) e Stato di Progetto (E-A-06-P). Questo esempio ben si presta al confronto fra risultati sismici con metodo Por e con metodo PorFlex: in direzione X i maschi sono più snelli e sono impegnati a taglio e a flessione; in direzione Y prevalentemente a taglio (infatti il diagramma Forza-Spostamento secondo Y è praticamente coincidente).

Vediamo l'esempio in dettaglio.

Il progetto in esame consiste nel rifacimento di una porzione di solaio in un edificio in muratura posto in un Comune classificato sismico con grado di sismicità  $S=9$  (figure 4, 5).

La zona di solaio oggetto di intervento, al piano primo e in copertura, è attualmente in legno, con travi principali e secondarie che scaricano su tutte le murature perimetrali, e presenta una evidente deformazione. Queste travi vengono completamente rimosse; il nuovo solaio viene realizzato in laterocemento.

Un muro divisorio avente attualmente funzione di tramezzatura viene sostituito da una parete in nuova muratura portante, di tipo antisismico, su cui si appoggiano i travetti costituenti il nuovo solaio in laterocemento; il nuovo solaio, inoltre, viene ammorsato alla muratura esistente, con realizzazione di un cordolo corrente in c.a. ed ancoraggi a coda di rondine.

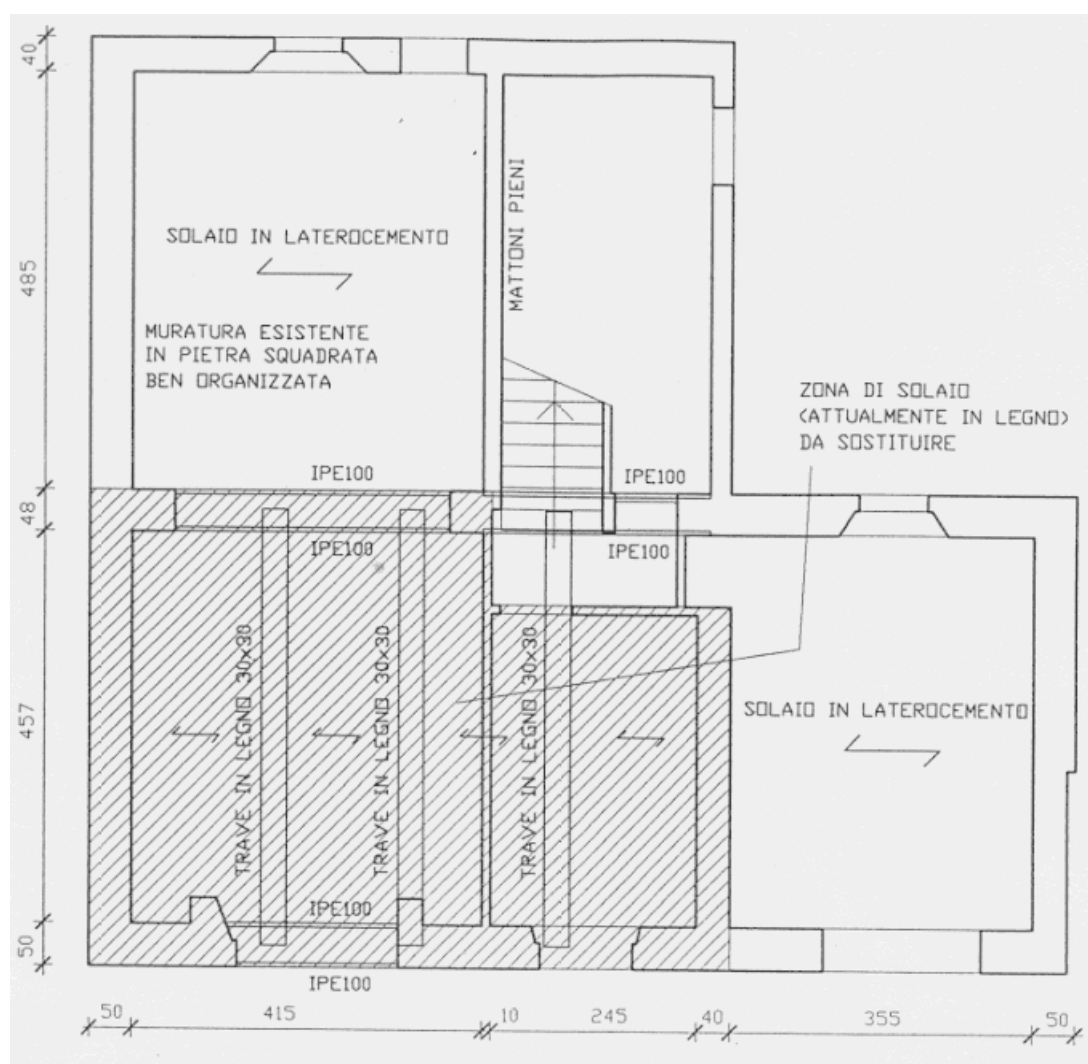
Il restante solaio risulta già in laterocemento, con una soletta in conglomerato cementizio; l'edificio infatti, in epoca relativamente recente, era stato oggetto di ristrutturazione parziale.

La muratura esistente è in pietra, che appare ben squadrate e organizzata; nella zona del vano scale è presente una parete in mattoni pieni.

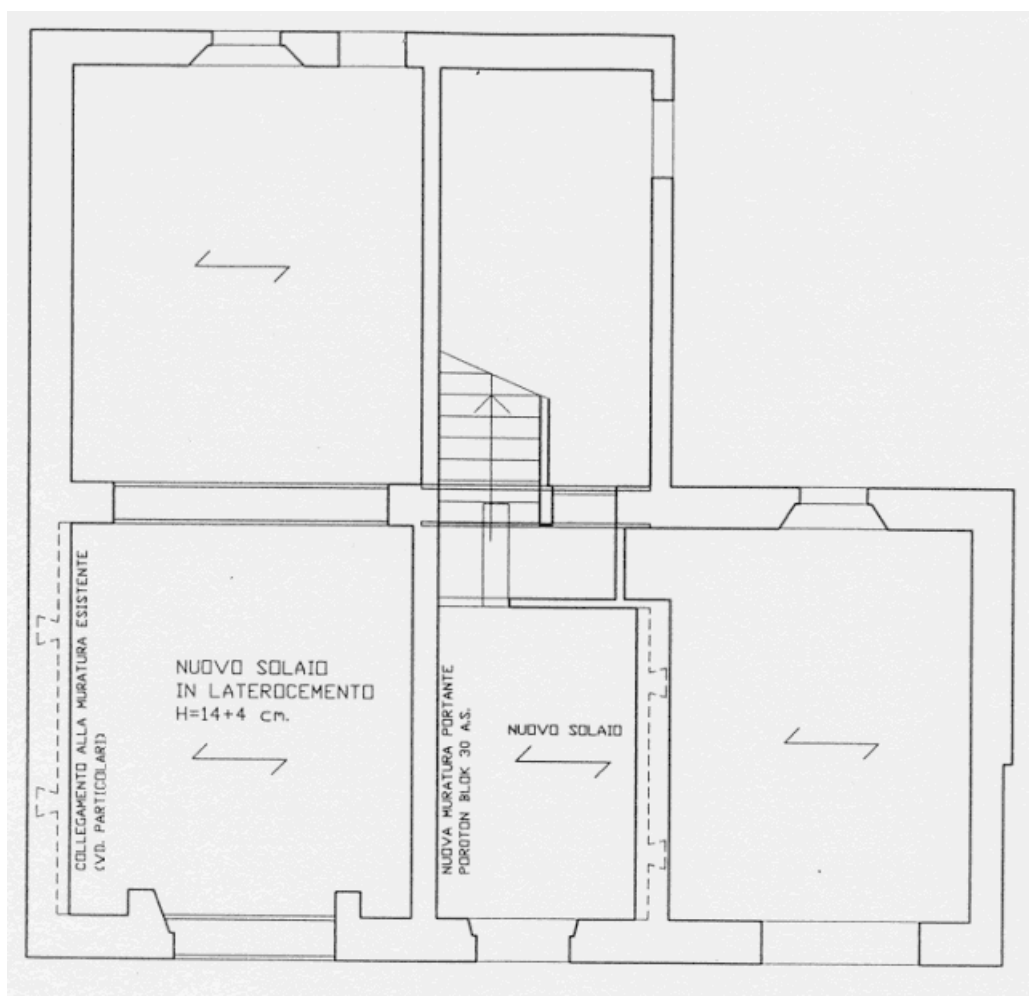
Grazie alla nuova parete, si realizza un notevole irrigidimento delle strutture portanti nei confronti delle azioni orizzontali; inoltre il nuovo solaio "lega" l'edificio in modo da assicurare a tutto l'orizzontamento la necessaria rigidità d'impalcato.

Sotto queste considerazioni, si è schematizzata la struttura allo Stato Attuale e allo Stato di Progetto, denominate rispettivamente E-A-06-A ed E-A-06-P.

Dall'analisi compiuta, come vedremo ora in dettaglio, risulta un miglioramento nel passaggio allo stato modificato.



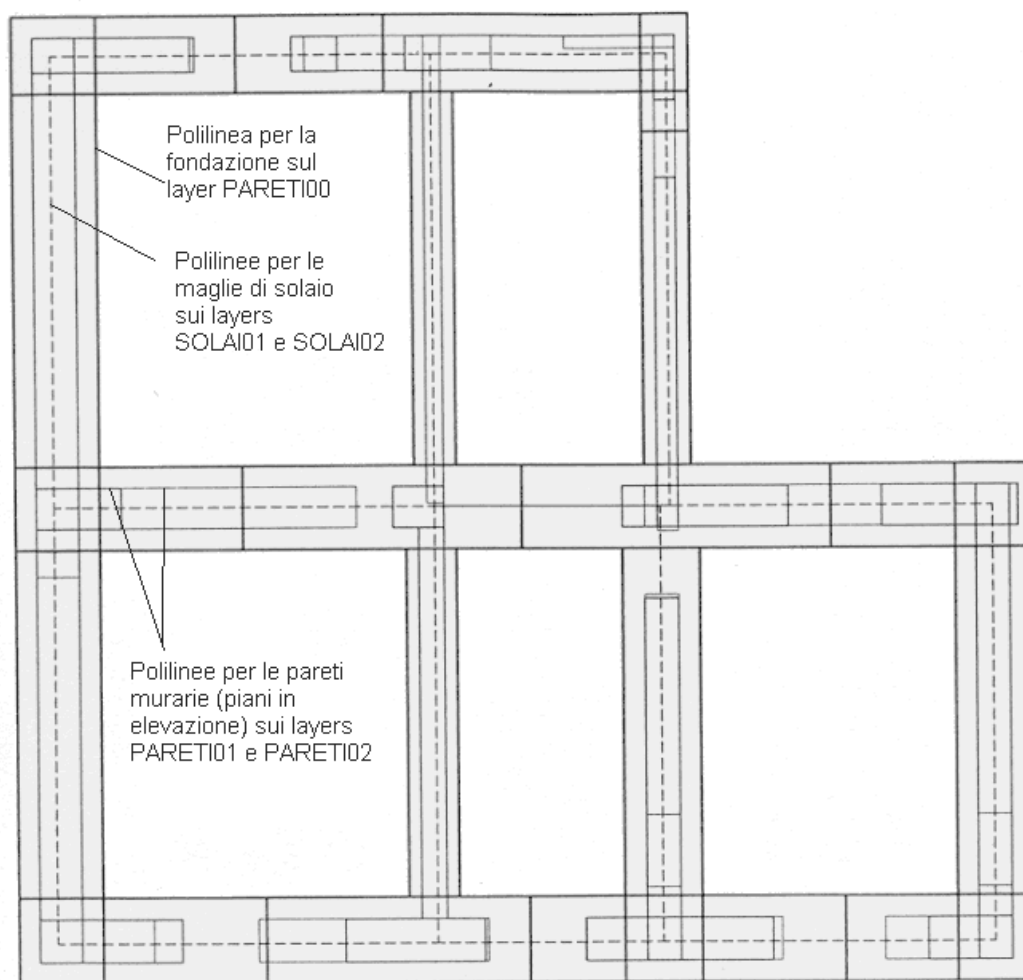
**Fig. 4.** Pianta Piano Terreno Stato Attuale.



**Fig. 5.** Pianta Piano Terreno Stato di Progetto.

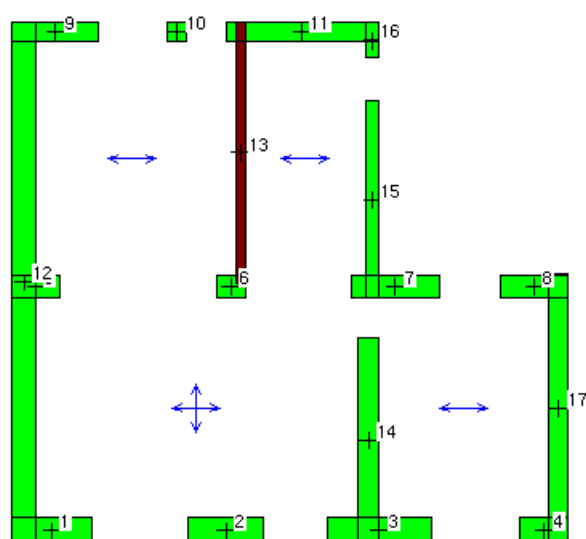
Nelle figure 4 e 5 vediamo la pianta del Piano Terreno dell'edificio, con il sovrastante solaio (solaio di calpestio del Piano Primo), rispettivamente allo Stato Attuale ed allo Stato di Progetto.

E' evidenziata la zona di solaio in legno da sostituire. Risulta vantaggioso sviluppare queste piante con un programma di CAD. Infatti in esse si individuano facilmente le pareti murarie portanti; pertanto si possono tenere come 'base' per la preparazione dei files DXF di input dati per PC.M.



**Fig. 6.** Pianta su file DXF.

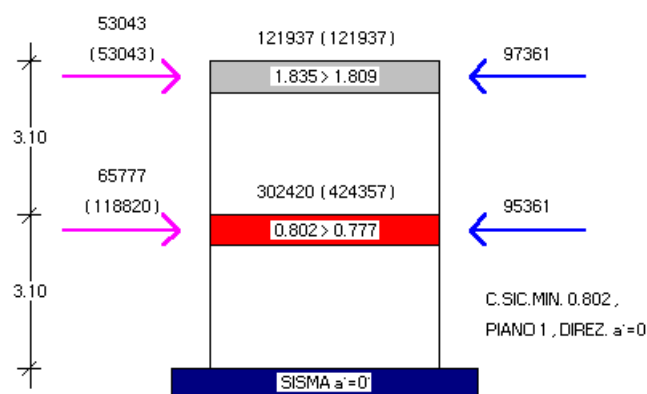
In figura 6 vediamo gli elementi strutturali rappresentati su file DXF per l'introduzione dati in PC.M. E' sufficiente tracciare le polilinee che rappresentano le pareti e le relative fondazioni (linea continua) e le maglie di solaio (in tratteggio); queste verranno lette ed interpretate da PC.M. Non ha importanza l'ordine con cui si definiscono le polilinee: PC.M provvede automaticamente a numerare e riordinare le pareti secondo gli allineamenti dell'edificio.



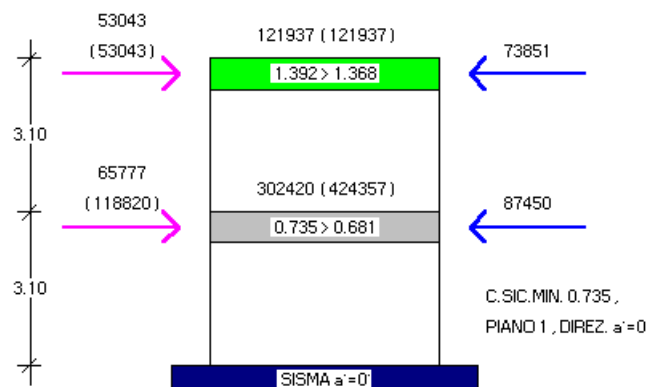
**Fig. 7.** Schema Strutturale Pareti Piano Terreno.

In figura 7 è riportata la schematizzazione delle pareti resistenti al Piano Terreno, ai fini dell'analisi strutturale. Pareti e solai sono stati riletti da file DXF; potrebbero tuttavia essere stati inseriti completamente all'interno di PC.M.

L'edificio, allo Stato Attuale e di Progetto, viene sottoposto ai vari tipi di calcolo, fra cui Por e PorFlex. Si noti che in questo caso il metodo PorFlex viene applicato in assenza di strisce. Sappiamo che le strisce possono rivestire un ruolo resistente soltanto nell'ambito del PorFlex, ma non sono indispensabili ai fini del calcolo con questo metodo. In questo esempio, le pareti inserite nei dati sono soltanto maschi murari.



**Fig. 8.** Forze e Coefficienti: confronto fra Stato Attuale e Stato di Progetto (Metodo Por).



**Fig. 9.** Forze e Coefficienti: confronto fra Stato Attuale e Stato di Progetto (Metodo PorFlex).

Eseguiti i calcoli Por e PorFlex per entrambe le strutture, è interessante il confronto dei risultati.

Nella figura 8 è riportato il disegno di Forze e Coefficienti per il metodo Por, riferito alla direzione X (angolo  $\alpha=0^\circ$ ) ed alla Combinazione di Carico 2, corrispondente al minor carico verticale.

Si osservi che la situazione a carico minore (solo permanente) è in generale più sfavorevole rispetto alla totalità del carico verticale (permanente + accidentale). Infatti, mentre la forza sismica è convenzionalmente calcolata sempre nello stesso modo (proporzionalmente a  $W=G+sQ$ ), invece a seconda che si consideri maggiore o minore carico verticale corrispondentemente il taglio ultimo della parete (crescente insieme al carico) aumenta o diminuisce. Ciò significa che minore carico corrisponde a minore resistenza intrinseca delle pareti, e quindi a un rapporto più sfavorevole con la forza sismica. Ignorare pertanto la combinazione di carico a solo carico permanente potrebbe quindi operare a sfavore di sicurezza, sovrastimando la resistenza del complesso murario.

Il confronto dello Stato di Progetto con lo Stato Attuale è positivo. Infatti il coefficiente di sicurezza è migliorato: per sisma in direzione X, il più sfavorevole, da 0.777 a 0.802 al Piano Terreno, e da 1.809 a 1.835 al Piano Primo.

Non è stato conseguito un adeguamento dell'edificio, per raggiungere il quale lo Stato di Progetto avrebbe dovuto mostrare in ogni caso coefficienti  $\geq 1.00$ .

I corrispondenti risultati del metodo PorFlex (visualizzati in figura 9), evidenziano un miglioramento su valori assoluti minori rispetto al Por. In direzione X, allo Stato di Progetto, i coefficienti di sicurezza intorno a  $0.600 \div 0.700$  manifestano una certa debolezza della struttura.

Le figure 8 e 9 sono state elaborate a progetto corrente E-A-06-P; pertanto le forze reattive riportate sono quelle dello Stato di Progetto.

E' molto interessante il confronto fra i risultati Por e PorFlex.

Il Por si limita a considerare la resistenza a taglio dei maschi murari; nel PorFlex si prende in esame anche la possibilità di crisi a flessione. Questo esempio dimostra che il PorFlex è conservativo rispetto al Por (cioè agisce dalla parte della sicurezza) in quanto considera più aspetti del comportamento strutturale.

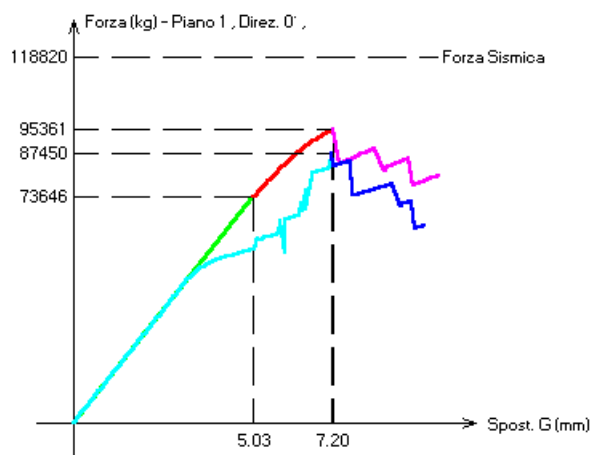
In direzione X, secondo PorFlex, la forza reattiva dell'organismo murario è di 87450 kg, mentre per Por è di 95361 kg; trascurando la crisi flessionale delle murature si può quindi sovrastimare del 10% la capacità di resistenza della struttura.

In direzione Y, invece, i risultati dei due metodi sostanzialmente coincidono: ciò significa che lo Stato Limite Ultimo si consegue comunque per crisi a taglio.

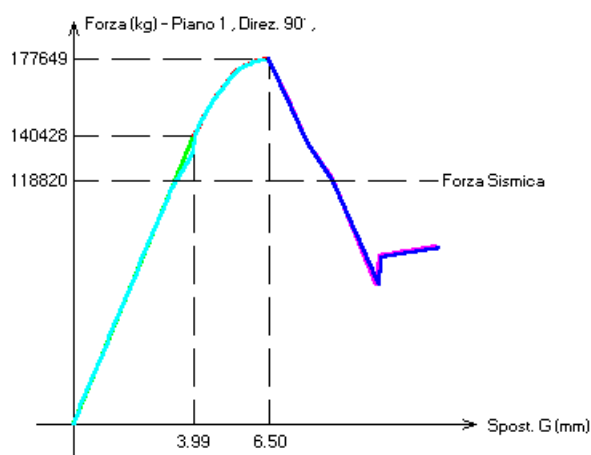
Questo comportamento discordante fra X e Y è facilmente comprensibile osservando la pianta delle pareti resistenti (figura 7): in direzione Y gli elementi sono tozzi e perciò lavorano prevalentemente a taglio; in

direzione X vi sono molte pareti snelle che si comportano quindi a ‘trave’ con l’instaurazione di una rilevante deformazione flessionale.

Queste osservazioni si possono dedurre anche dai diagrammi forza-spostamento riportati nelle figure 10 e 11, con riferimento allo Stato di Progetto.

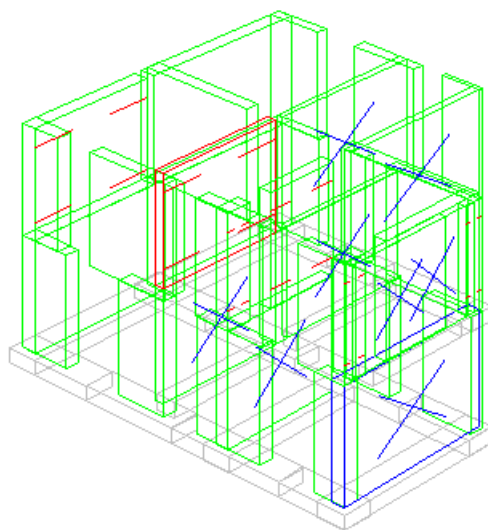


**Fig. 10.** Diagrammi H-  $\delta$  del Piano Terreno per Sisma X (Stato di Progetto).



**Fig. 11.** Diagrammi H-  $\delta$  del Piano Terreno per Sisma Y (Stato di Progetto).

Mentre in direzione Y (figura 11) i diagrammi Por e PorFlex praticamente coincidono, in direzione X (figura 10) dopo un primo tratto elastico la divergenza fra i due metodi è rilevante (la curva più ‘bassa’ è quella secondo PorFlex).



**Fig. 12.** Lesioni allo Stato Limite Ultimo per Sisma Y secondo PorFlex.

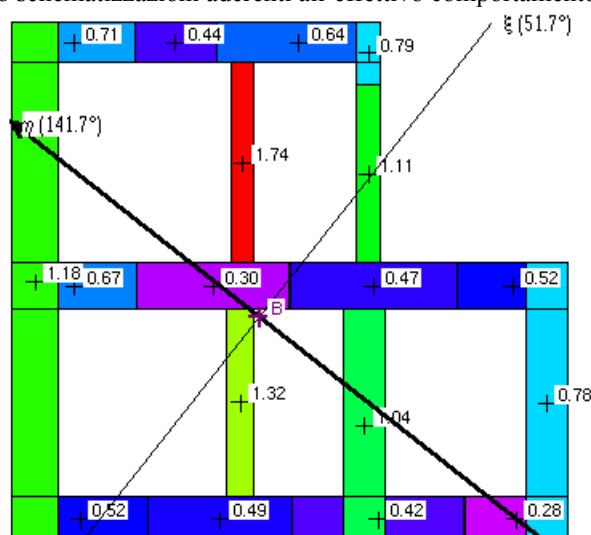
Nella figura 12 è riportato il quadro fessurativo dell'edificio allo Stato Limite Ultimo, per sisma in direzione Y, secondo il metodo PorFlex.

Si possono osservare le lesioni a taglio (dalla tipica forma ad X), quelle a flessione e le zone di possibile innesco di crisi per le pareti sottoposte ad azioni sismiche ortogonali (sono le pareti in direzione X, trattandosi di sisma Y) qualora la connessione con le pareti complanari al sisma sia insufficiente.

Grazie a questa rappresentazione, è possibile 'fotografare' le lesioni che vengono prodotte nell'edificio dall'evento sismico, sulla base delle ipotesi adottate.

Questa post-elaborazione dell'analisi strutturale è importante, in quanto costituisce un diretto collegamento fra calcolo automatico e realtà fisica del problema.

Un elaborato di questo tipo risulterebbe inoltre di ausilio fondamentale a sisma avvenuto, per condurre un progetto di ripristino operando schematizzazioni aderenti all'effettivo comportamento manifestato dalla struttura.



**Fig. 13.** Tensioni in fondazione sotto azione sismica.

Nella figura 13 sono rappresentate le tensioni in fondazione sotto gli effetti del sisma lungo la direzione principale  $\eta$ . Le tensioni risultano dalla somma dei valori statici (prodotti dai carichi verticali) e di quelli dinamici (dovuti all'effetto ribaltante dell'azione sismica agente sull'edificio).



Il confronto con la  $\sigma$  ammissibile del terreno determina se la verifica è soddisfatta o meno.

Si individuano le direzioni principali dell'edificio (tra loro ortogonali), che dipendono dalla forma della pianta, e si calcolano le sollecitazioni massime per sisma agente in tali direzioni.

Nell'esempio, l'asse principale  $\xi$  forma con l'asse di riferimento X un angolo di  $51^\circ,7$ .

Nel caso di sisma lungo  $\xi$  la massima tensione sul terreno vale  $1.82 \text{ kg/cm}^2$ ; nel caso di sisma lungo  $\eta$  (figura 13),  $1.74 \text{ kg/cm}^2$ , ed entrambe si manifestano sotto la parete di spina in mattoni pieni (evidenziata dal colore rosso in fig. 13).

### C.1.7. E-A-07: INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

In breve: si tratta di un ampliamento di volume. Edificio con fondazioni su piani sfalsati. Modifica della forma della pianta nel passaggio dallo Stato Attuale (E-A-07-A) allo Stato di Progetto (E-A-07-P), con regolarizzazione. Calcolo piuttosto complesso, con allineamenti parzialmente corrispondenti fra i diversi piani. Presenza di un piano seminterrato. Presenza di carichi concentrati, direttamente inseriti nei Dati Pareti (balconi del piano primo). Maglie di solaio non rettangolari. Elementi in cemento armato allo Stato di Progetto (pareti al piano seminterrato, pilastri al piano terreno). Materiali murari di vario tipo.

Vediamo l'esempio in dettaglio.

Il progetto si riferisce ad un ampliamento volumetrico di un fabbricato in muratura. Attualmente l'edificio, di forma ad L, si sviluppa in Piano Terreno, Primo e Sottotetto (parzialmente praticabile). Il Piano Terreno in parte si imposta su di un seminterrato, in parte ha fondazioni dirette.

L'intervento prevede:

- l'ampliamento del Piano Terreno, nella zona che ha fondazione diretta, creando così un vano che non prosegue al Piano Primo (infatti in corrispondenza del Piano Primo c'è la copertura di questa nuova parte);
- la sopraelevazione di un piano di una parte che attualmente è presente solo al Piano Terreno;
- la realizzazione, su metà superficie della attuale copertura, di una mansarda, con ristrutturazione dei locali sottotetto e della copertura;
- la riorganizzazione del seminterrato, creando una nuova scala di collegamento al piano terra.

L'intervento previsto conferisce all'edificio una forma in pianta più regolare, tendente ad avvicinarsi alla rettangolare.

Poiché l'edificio è localizzato in zona sismica, classificata con grado di sismicità  $S=9$ , il progetto di consolidamento dovrà rispettare la Normativa vigente per le Zone Sismiche.

Le strutture portanti attuali sono in muratura, e non presentano alcuna lesione di rilievo. Le pareti perimetrali, in pietrame, hanno spessore generalmente di  $40 \text{ cm.}$ ; le pareti interne, in mattoni pieni, hanno spessore da  $15$  a  $25 \text{ cm.}$ ; vi sono anche alcune pareti interne in blocchi parzialmente forati.

Le nuove pareti portanti verranno realizzate in muratura con blocchi antisismici tipo Poroton Blok 30 A.S., e saranno ben ammassate alle pareti esistenti, nelle zone ove si intersecano. Nuove pareti in c.a. dello spessore di  $20 \text{ cm.}$  saranno inserite al Piano Seminterrato; si prevede inoltre la realizzazione di un portale in c.a., con pilastri  $30 \times 30 \text{ cm.}$ , al Piano Terreno.

I solai esistenti sono in laterocemento, con altezza al finito da  $25$  a  $45 \text{ cm.}$  I nuovi solai verranno realizzati in laterizio e c.a.,  $H=22 (18+4) \text{ cm.}$ , con soletta di cls di  $4 \text{ cm.}$  armata con rete e.s.; in copertura, verrà realizzato un solaio di  $20+4 \text{ cm.}$  ( $H=24$ ). I nuovi solai saranno muniti di cordoli perimetrali e verranno ancorati alla muratura esistente tramite innesti a coda di rondine.

In base a quanto indicato nella Relazione geologica, è stata assunta come tensione ammissibile per il terreno:  $\sigma_{\text{amm}} = 2.30 \text{ kg/cm}^2$ .

Nei confronti della situazione attuale, l'intervento previsto comporta una generale diminuzione della attuale tensione trasmessa dall'edificio al terreno, grazie anche all'allargamento delle fondazioni esistenti delle pareti al seminterrato (si vedano gli esecutivi di progetto).

Le verifiche condotte hanno evidenziato che nello Stato di Progetto ovunque  $\sigma_t < \sigma_{\text{amm}}$ .

I carichi di solaio sono stati trasmessi alle pareti verticali portanti in base alle aree di influenza, tenendo conto dell'orditura dei solai.

Per quanto riguarda i valori utilizzati per le caratteristiche di resistenza meccaniche si è fatto riferimento ai valori di resistenza al taglio e di duttilità consigliati dalla Normativa vigente, in assenza di specifiche sperimentazioni.

In particolare:

- per la muratura esistente perimetrale in pietrame, si assume:  $\tau_k=7$  t/mq,  $\mu=1.5$ , peso specifico=2200 kg/mc;
- per la muratura esistente in mattoni pieni, si assume:  $\tau_k=12$  t/mq,  $\mu=1.5$ , peso specifico=1800 kg/mc;
- per la muratura portante esistente in blocchi parzialmente forati, si assumono le caratteristiche meccaniche dei “blocchi di laterizio”, inferiori a quelle dei mattoni pieni:  $\tau_k=8$  t/mq,  $\mu=1.5$ ; peso specifico 1800 kg/mc;
- per la muratura nuova tipo Poroton Blok 30 A.S., si assume:  $\tau_k=24$  t/mq,  $\mu=2.0$ , peso specifico 900 kg/mc;
- per le murature in pietra perimetrali del Seminterrato, si prevedono iniezioni cementizie, per cui verranno conseguiti i valori:  $\tau_k=11$  t/mq,  $\mu=2.0$ .

Per quanto riguarda lo Stato di Progetto, gli elementi in c.a. sono considerati reagenti in modo indefinitamente elastico; lo stato limite dell'organismo resistente viene raggiunto per collasso di una o più pareti in muratura. Lo Stato Attuale e lo Stato di Progetto corrispondono ai files denominati rispettivamente E-A-07-A ed E-A-07-P.

Per la Verifica sismica dello Stato Attuale e dello Stato di Progetto, nelle due direzioni di riferimento X ed Y è stato utilizzato il metodo Por.

La verifica è stata condotta considerando le forze sismiche agenti a partire dalle fondazioni del seminterrato, costituente il Piano 1 di calcolo.

Le fondazioni dell'edificio risultano su piani sfalsati, essendo in parte localizzate al seminterrato ed in parte alla quota del Piano Terreno.

Sia nello Stato Attuale che in quello di Progetto, i piani di calcolo sono 3 (1:Seminterrato, 2:Terreno, 3:Primo); il sottotetto viene considerato come ‘peso’ gravante sul Piano Primo.

Il calcolo ha evidenziato che nel passaggio dallo Stato Attuale allo Stato di Progetto i coefficienti di sicurezza (dati dal rapporto fra Forza reattiva sviluppata dal complesso murario e Forza sismica di piano) sono aumentati (miglioramento) ed inoltre, nello Stato di Progetto, superano ampiamente il valore di 1.00 richiesto dalla Normativa; questo per ognuno dei 3 piani e per ognuna delle due direzioni tra loro ortogonali X e Y cui l'edificio è stato riferito e rispetto alle quali si è condotta la verifica sismica.

Il soddisfacimento dei valori richiesti dalla Normativa conferma la definizione del presente progetto di consolidamento come “Adeguamento sismico”.

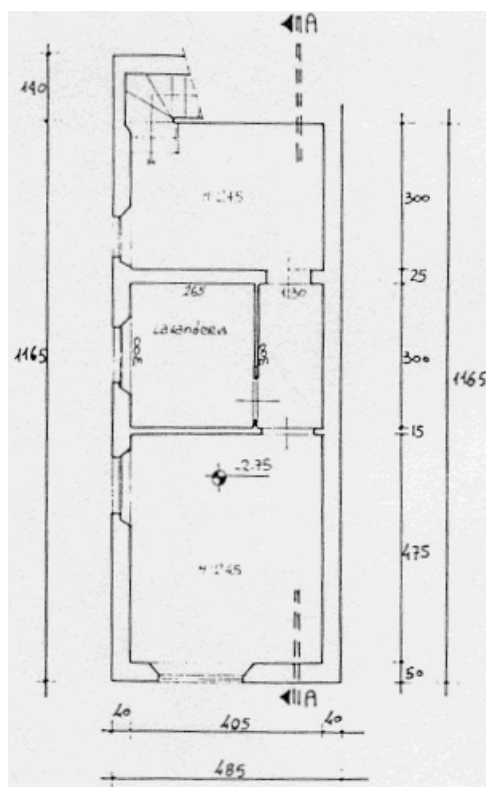


Fig. 14. Pianta Seminterrato Stato Attuale.

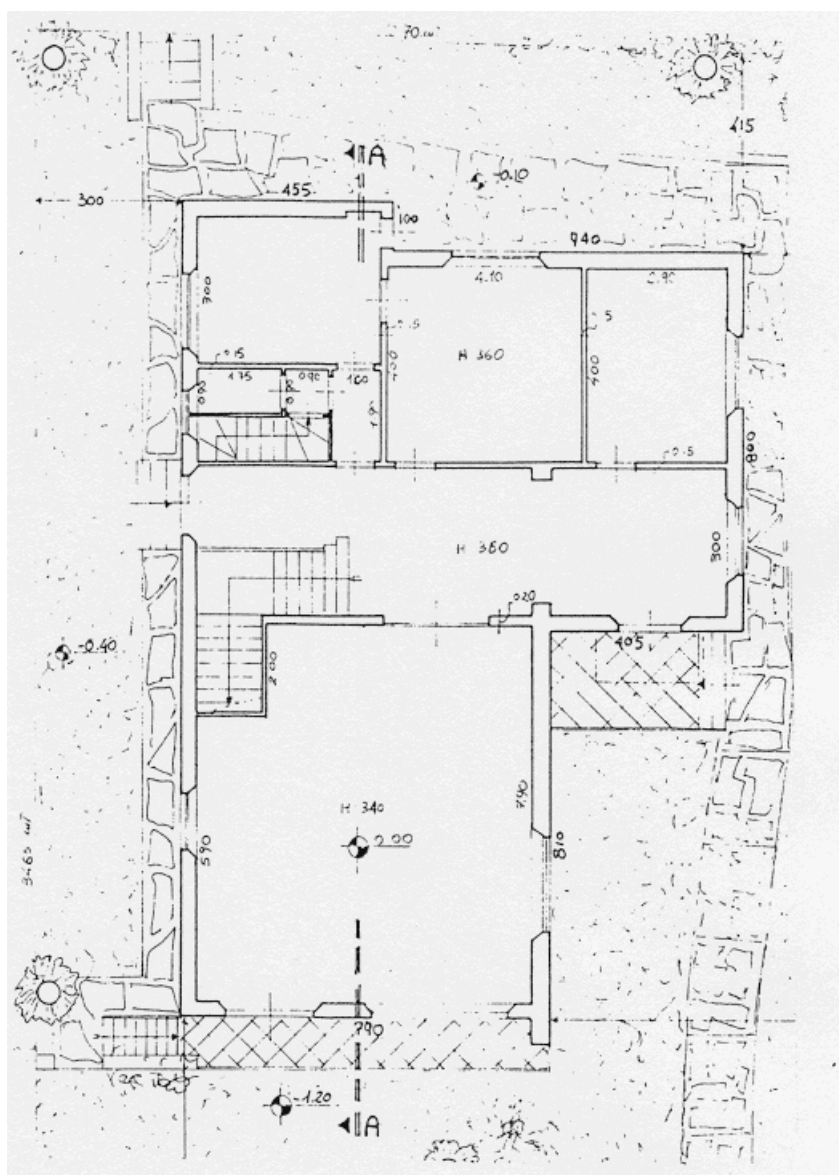


Fig. 15. Pianta Piano Terreno Stato Attuale.

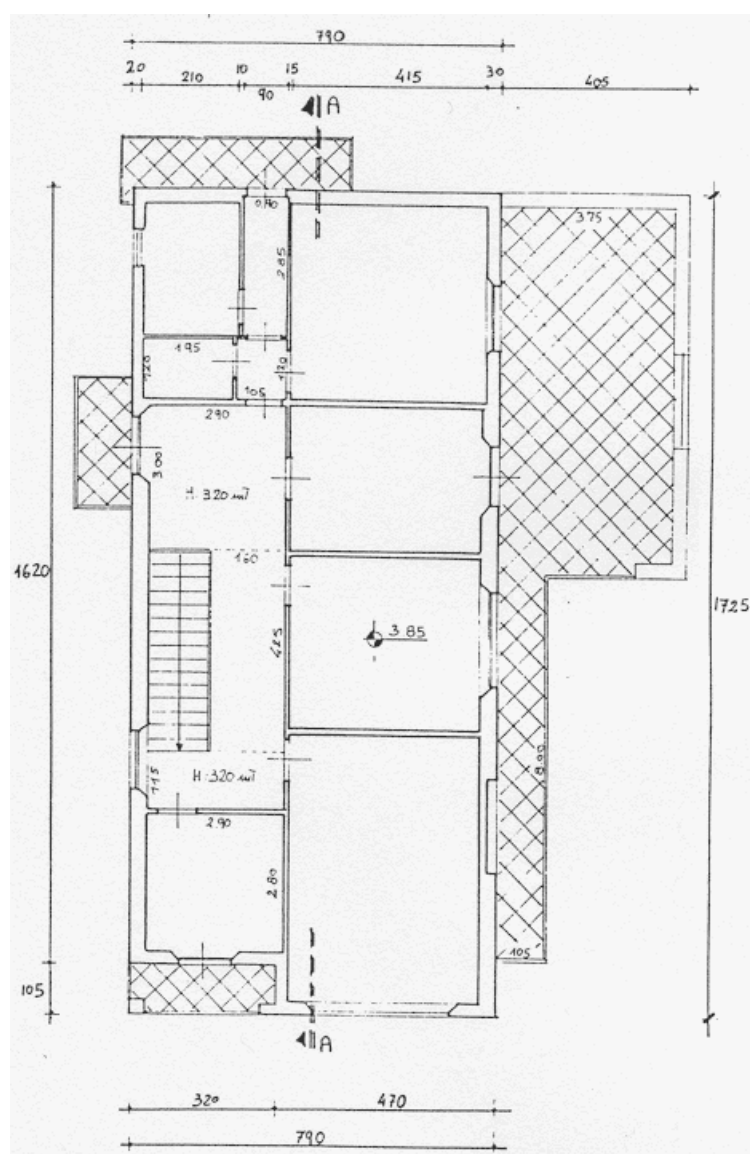


Fig. 16. Pianta Piano Primo Stato Attuale.

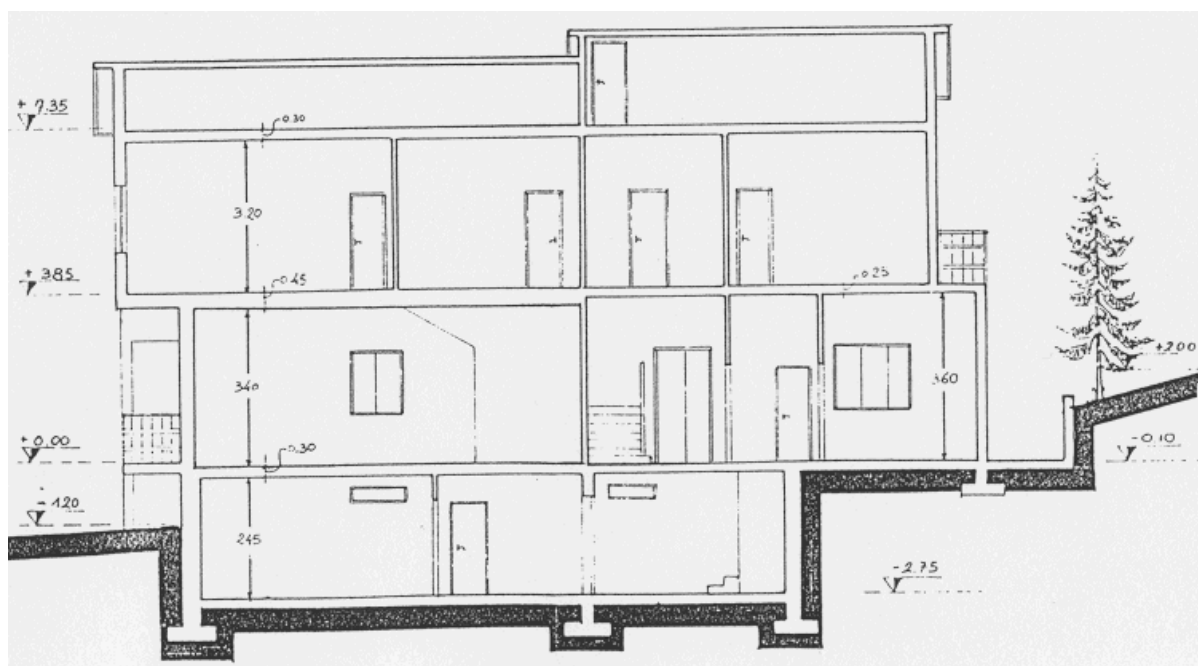


Fig. 17. Sezione Stato Attuale.

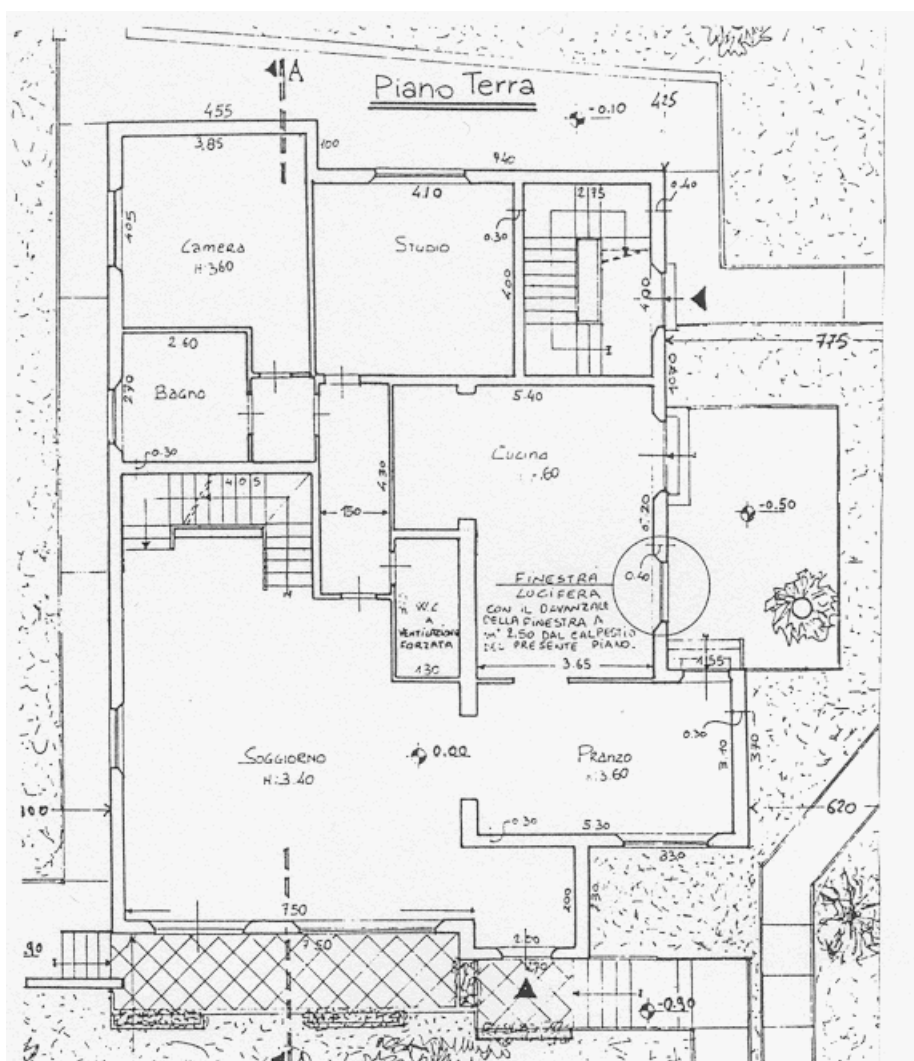
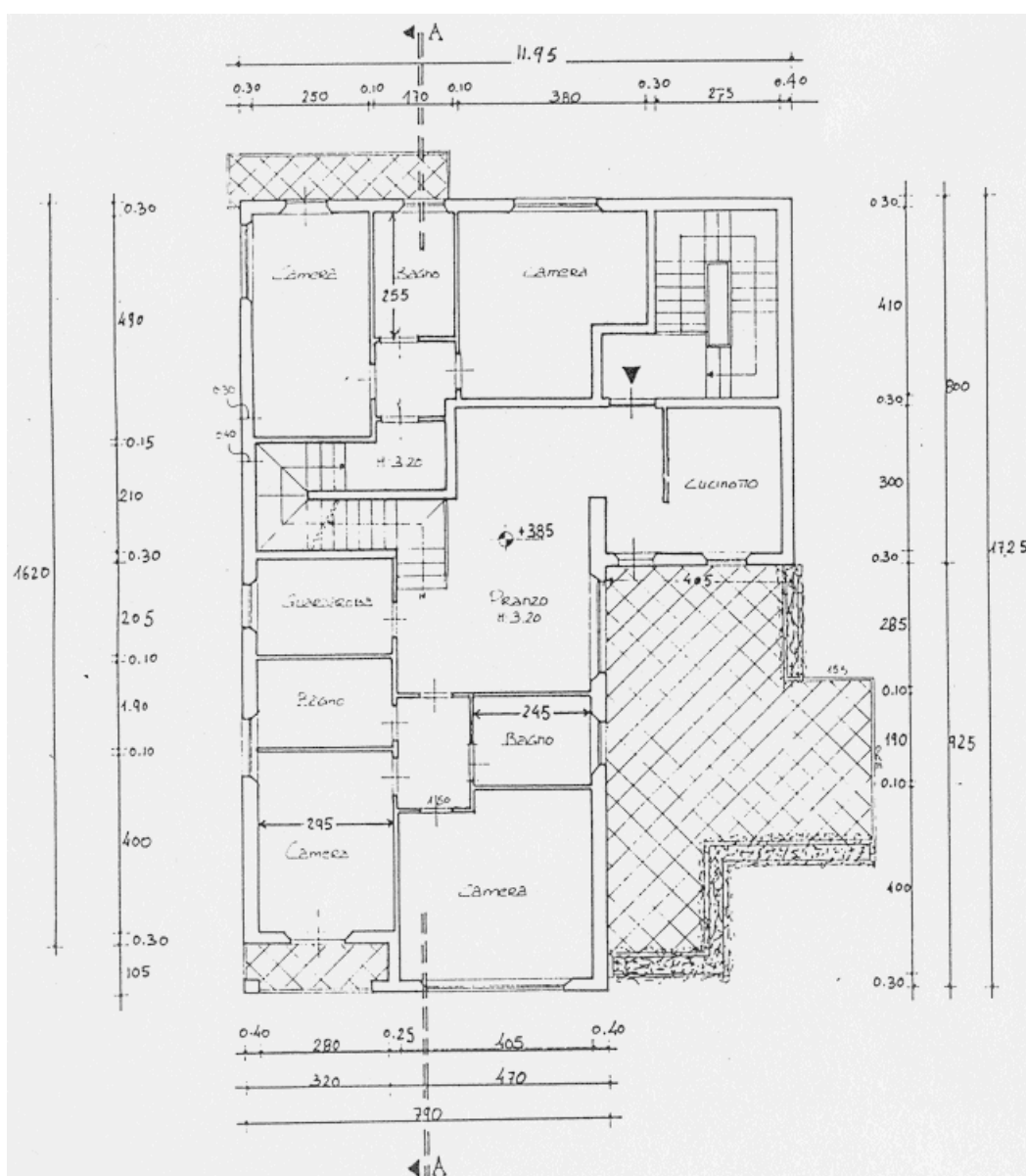


Fig. 18. Pianta Piano Terreno Stato di Progetto.



**Fig. 19.** Pianta Piano Primo Stato di Progetto.

Nelle figure 14, 15, 16, 17 sono riportati i disegni architettonici relativi allo Stato Attuale; nelle figure 18 e 19 quelli dello Stato di Progetto.

Per entrambe le strutture E-A-07-A ed E-A-07-P sono stati creati i files DXF per l'introduzione dati in PC.M. Il calcolo di questo edificio si presenta abbastanza complesso in quanto la struttura muraria non è regolare, ed alcuni allineamenti non si corrispondono tra i diversi piani.

Alcune particolarità da notare per l'applicazione di PC.M sono le seguenti.

- Presenza di un piano Seminterrato che viene a tutti gli effetti considerato come un piano di calcolo.
- Fondazioni su piani sfalsati. Alcune pareti si fondano al Seminterrato, altre al livello del Piano Terreno. Occorre una integrazione/correzione dei dati riletti da DXF per specificare, per ogni fondazione, la parete che vi si imposta ed a quale piano (1 per Seminterrato e 2 per Terreno).
- Presenza di carichi concentrati, direttamente introdotti nella tabella Dati Pareti, relativi ai balconi posti a Piano Primo.



Questi carichi ovviamente vengono sommati a quelli automaticamente calcolati dalle maglie di solaio, geometricamente lette da DXF ed i cui dati vengono poi completati in PC.M specificando angoli di orditura e carichi.

- Presenza di alcune maglie di solaio non rettangolari, regolarmente rilette da DXF.
- Presenza di elementi in c.a. allo Stato di Progetto (setti al Seminterrato, pilastri al Piano Terreno). I pilastri al Piano Terreno non sono stati inseriti nel DXF, ma direttamente in PC.M tramite il comando 'Aggiungi parete'. Affinché gli elementi in c.a. partecipino alla resistenza sismica dell'edificio, occorre specificare che deve esserne considerato il contributo (nella finestra di dialogo del modulo "Analisi Strutturale").
- Materiali murari di vario tipo contemporaneamente presenti.

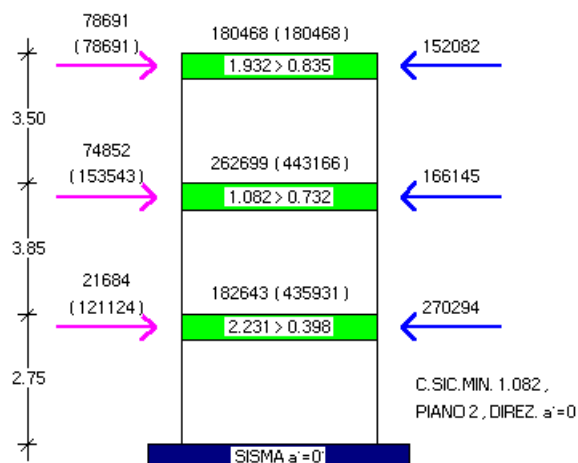


Fig. 20. Confronto fra Stato Attuale e Stato di Progetto.

In figura 20 è riportato, per la struttura in elevazione, il confronto fra Stato Attuale e Stato di Progetto; l'adeguamento risulta evidente.

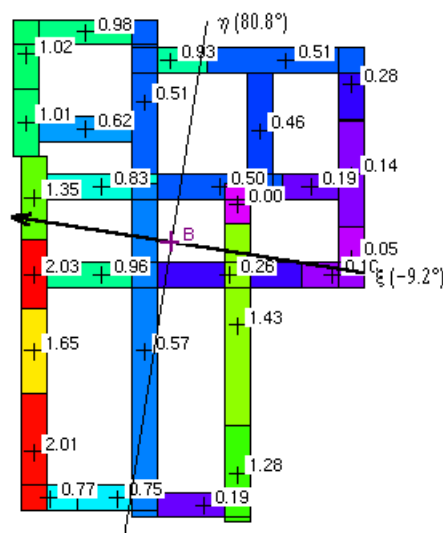


Fig. 21. Fondazioni: analisi sismica Stato Attuale.

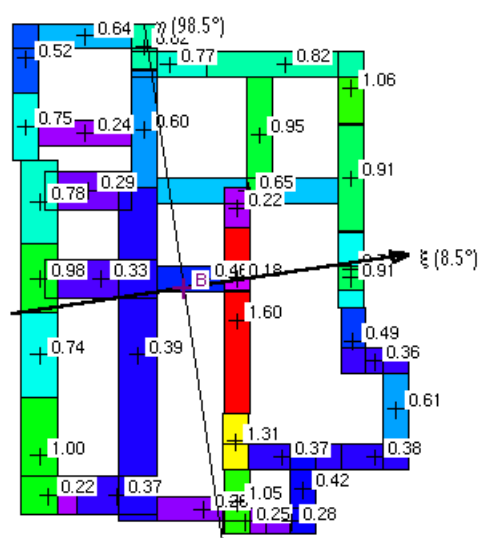


Fig. 22. Fondazioni: analisi sismica Stato di Progetto.

Nelle figure 21 e 22 viene riportata la pianta delle fondazioni sottoposte a sisma, rispettivamente per lo Stato Attuale e per lo Stato di Progetto. Grazie all'allargamento delle fondazioni, la  $\sigma_{max}$ , che allo Stato Attuale risulta pari a 2.03 kg/cm<sup>2</sup>, allo Stato di Progetto diventa pari a 1.60 kg/cm<sup>2</sup>. Si noti anche il cambiamento degli assi principali  $\xi, \eta$  (l'angolo formato con l'asse di riferimento X passa da  $-9^\circ, 2$  a  $+8^\circ, 5$ ).

### C.1.8. E-A-08: RISTRUTTURAZIONE

Il progetto consiste nella verifica dello Stato Attuale di un edificio a struttura portante in muratura e nello studio dell'intervento di consolidamento.

L'edificio (posto in zona sismica  $S=9$ ) è isolato, ed è costituito da un corpo principale formato da due piani (piano terreno e piano primo) e, sul lato est, da annessi limitati al solo piano terreno.

La struttura in muratura portante dell'edificio si presenta in condizioni mediocri al piano terreno; qualche lesione si manifesta nelle zone di appoggio delle travi di copertura.

Al piano terreno, la muratura è costituita da pietrame vario, non molto bene organizzato, di spessore 40 cm. Al piano primo, la muratura - in normali condizioni - è realizzata in mattoni pieni, con spessore di 15 cm.

Il solaio del piano primo (a copertura del piano terreno) si appoggia sulla risega del muro, ed è in legno. Si presenta molto deformabile, e con travi abbastanza deteriorate.

Allo Stato di Progetto occorre prevederne in ogni caso la totale demolizione e sostituzione con nuovo solaio in laterocemento, con cordolo di rigiro e soletta in c.a., dello spessore complessivo di 20 cm. (16+4).

Per quanto riguarda la copertura, in struttura lignea (capriata, travi e travicelli in buone condizioni) con scempiato di pannelle in cotto e manto di tegoli, se ne prevede l'irrigidimento con soletta in cls armata con rete e.s.



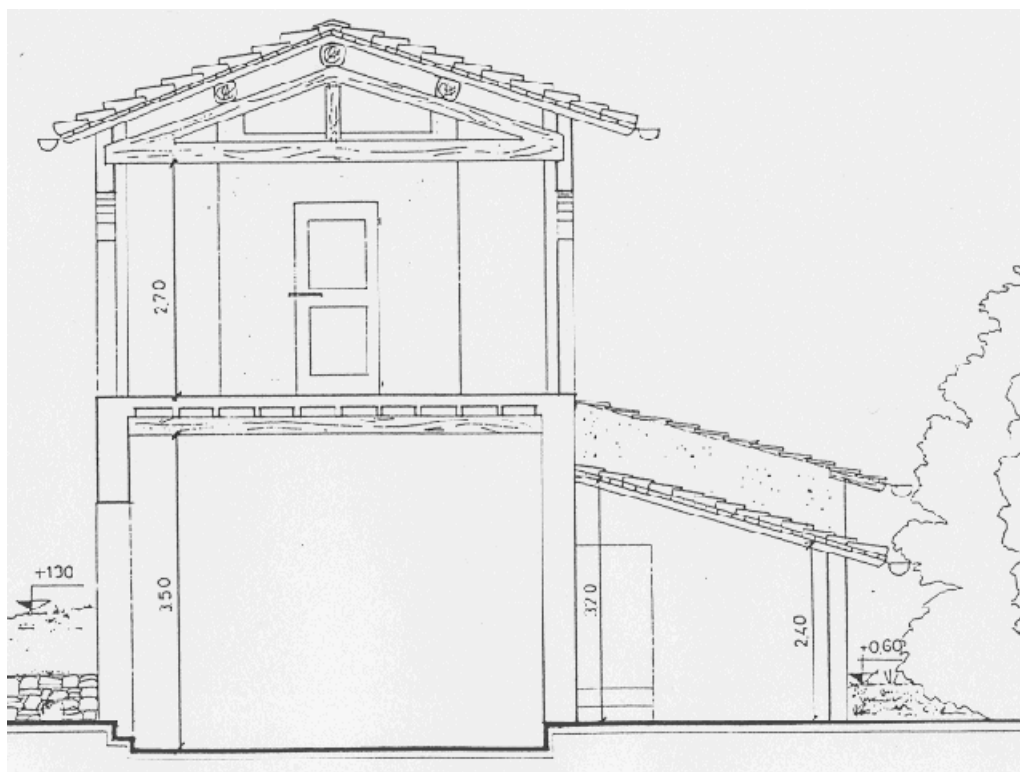


Fig. 25. Sezione Stato Attuale.

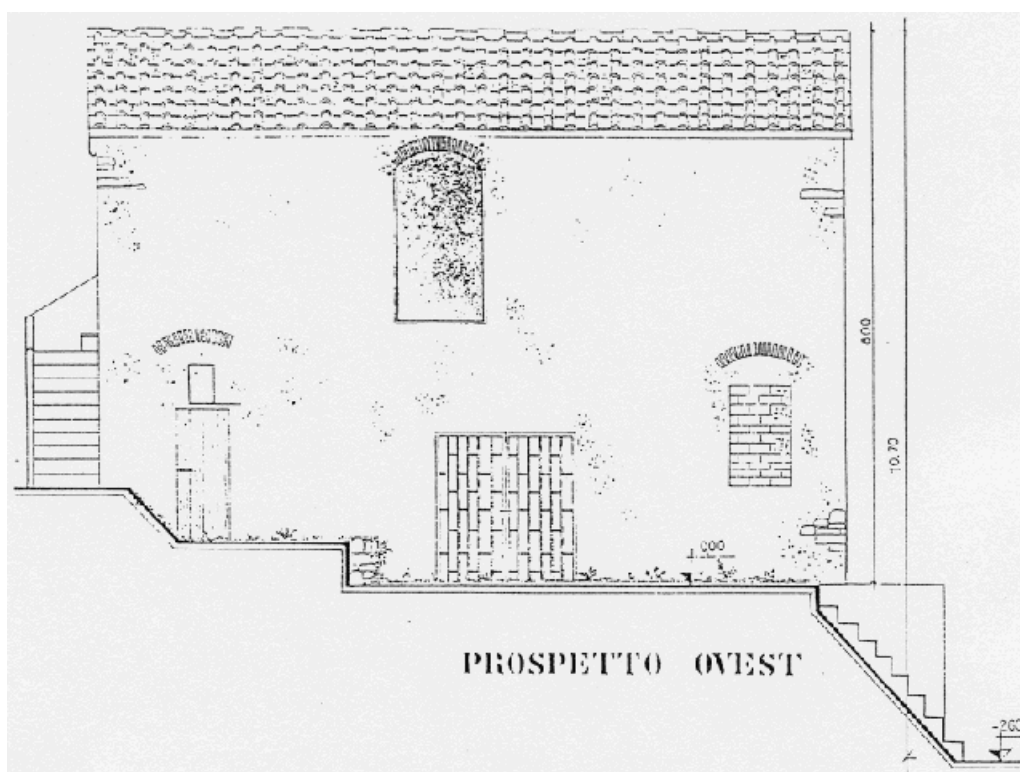


Fig. 26. Prospetto Stato Attuale.

Nelle figure 23, 24, 25, 26 sono riportati i disegni architettonici relativi allo Stato Attuale.

Per introdurre in PC.M i dati della struttura allo Stato Attuale (denominata E-A-08-A), è stato creato il file DXF. Una particolare osservazione riguarda i due pilastri in mattoni, a sezione quadrata, presenti al piano terreno. Quando nel programma di CAD si è disegnato, sottoforma di polilinea, un elemento portante a sezione quadrata, PC.M non può determinare una direzione 'prevalente' dell'elemento (lo spessore coincide con la lunghezza). Di conseguenza, la lettura dal file DXF può generare un'erronea collocazione dell'elemento negli allineamenti dell'edificio. Il pilastro a sezione quadrata, infatti, può ad esempio appartenere a un allineamento secondo X, ma PC.M potrebbe attribuirgli sigla e allineamento come se fosse orientato secondo Y.

Per evitare questa possibilità di interpretazione non corretta, è consigliabile 'allungare' di un po' il pilastro (bastano anche 10-20 cm.) nella direzione alla quale si vuole farlo appartenere (la X o la Y), riaggiustando poi le sue dimensioni Lx e Ly nella tabella Dati Pareti.

Si consiglia di allungarlo simmetricamente in entrambi i versi (lungo X: a destra e a sinistra; lungo Y: in alto e in basso) in modo da lasciare inalterata la posizione del baricentro, senza così dover poi correggere Xg e Yg nella tabella Dati Pareti.

Recuperata da DXF la geometria della struttura, si inseriscono i dati mancanti, fra cui: le altezze di piano (Dati Generali), la tensione ammissibile del terreno (Dati Edificio), i carichi delle maglie di solaio (Dati Solai), le altezze delle pareti ed il tipo di materiali (Dati Pareti).

Si valutano i seguenti carichi:

- solaio su piano terreno allo Stato Attuale (in legno):

- permanente 200 kg/mq, accidentale 200 kg/mq;

- copertura lignea allo stato attuale:

- permanente 150 kg/mq, accidentale 60 kg/mq.

Allo Stato di Progetto, i carichi si modificano:

- solaio in laterocemento:

- permanente 430 kg/mq; accidentale 200 kg/mq;

- copertura irrigidita con soletta in cls:

- permanente 250 kg/mq; accidentale 60 kg/mq.

Alcune maglie di solaio vengono schematizzate a lastra. Questa scelta non dipende certo dalla buona legatura e organizzazione del solaio; si intende invece rappresentare più correttamente la ripartizione del carico, dal momento che alcune travi in legno contribuiscono a distribuire il carico del solaio su tutta la muratura perimetrale, come se ci fosse quindi un'orditura incrociata.

Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche e meccaniche della muratura, al pietrame, viste le condizioni mediocri, si attribuisce  $\tau_k=2.0$  t/mq e  $\mu=1.5$ , con peso specifico 2200 kg/mc;

per i mattoni pieni:  $\tau_k=12$  t/mq,  $\mu=1.5$ .

La verifica dello Stato Attuale viene condotta analizzando l'edificio con i metodi Por, PorFlex e ai Solai Deformabili.

Il Por fornisce i seguenti risultati (Combinazione di Carico (2), a solo carico permanente):

Piano Terreno	X=0.881	Y=0.781
---------------	---------	---------

Piano Primo	X=3.943	Y=1.748
-------------	---------	---------

E' quindi evidente che l'edificio non risulta conforme alle richieste della Normativa sismica.

E' molto importante comprendere i termini entro i quali viene condotta questa verifica.

L'applicazione del metodo Por presuppone l'irrigidimento dei solai, quindi appare in realtà lecita soltanto dopo aver aggiornato i dati dei solai con i carichi competenti allo Stato di Progetto. I coefficienti testé elencati hanno scarsa attendibilità.

Lo Stato Attuale con i carichi dei solai non consolidati non dovrebbe essere sottoposto a verifica Por, in quanto non è garantita la ripartizione delle azioni orizzontali in base alle rigidezze. La verifica più idonea, a Solai Deformabili, conduce a valori dei coefficienti di sicurezza inferiori rispetto al metodo Por:

Piano Terreno	X=0.600	Y=0.490
---------------	---------	---------

Piano Primo	X=3.890	Y=1.630
-------------	---------	---------

Prevedendo l'irrigidimento dei solai (copertura inclusa), il comportamento migliora.

In questo schema di Progetto si manifesta pertanto un aumento sia dei carichi verticali agenti sulle pareti, sia delle forze sismiche di piano.

Il Por diventa lecito, e i risultati ottenuti sono i seguenti:

---

Piano Terreno    X=1.306            Y=1.307

Piano Primo     X=3.244            Y=1.662

La lieve diminuzione al piano primo lungo X (da 3.890 a 3.244) non è significativa, in quanto il risultato si attesta comunque su valori di gran lunga superiori rispetto al minimo richiesto dalla Normativa.

In pratica, l'aumento dei coefficienti di sicurezza è da attribuirsi all'irrigidimento degli impalcati, una categoria di intervento che riveste importanza fondamentale nei progetti di ristrutturazione.

Se l'utente deve dimostrare un miglioramento tra lo Stato Attuale e lo Stato di Progetto, può riferirsi ai risultati dei Solai Deformabili, in quanto sono quelli che rappresentano il reale stato di fatto, senza ancora aver introdotto alcun tipo di consolidamento.

### **C.1.9. E-A-09: INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO**

In breve: Stato Attuale e Stato di Progetto. Edificio porzione di un complesso più ampio. Consolidamento di una parte di solaio del piano secondo, a struttura portante attuale in legno, con getto di soletta in conglomerato.

Vediamo l'esempio in dettaglio.

L'intervento oggetto del presente esempio applicativo si riferisce ad un edificio in muratura la cui proprietà committente dei lavori si estende ad una porzione del piano terreno e dei piani sovrastanti non coincidenti in pianta (si vedano le tavole architettoniche, figure 27, 28, 29, 30, 31); si è quindi ritenuto indispensabile, ai fini di una corretta valutazione statica e sismica dell'edificio in esame, estendere la configurazione resistente all'intera area interessata, fermo comunque restando che la zona studiata è parte di un organismo murario ancor più complesso ed esteso, seguendo la tipologia di edifici a schiera.

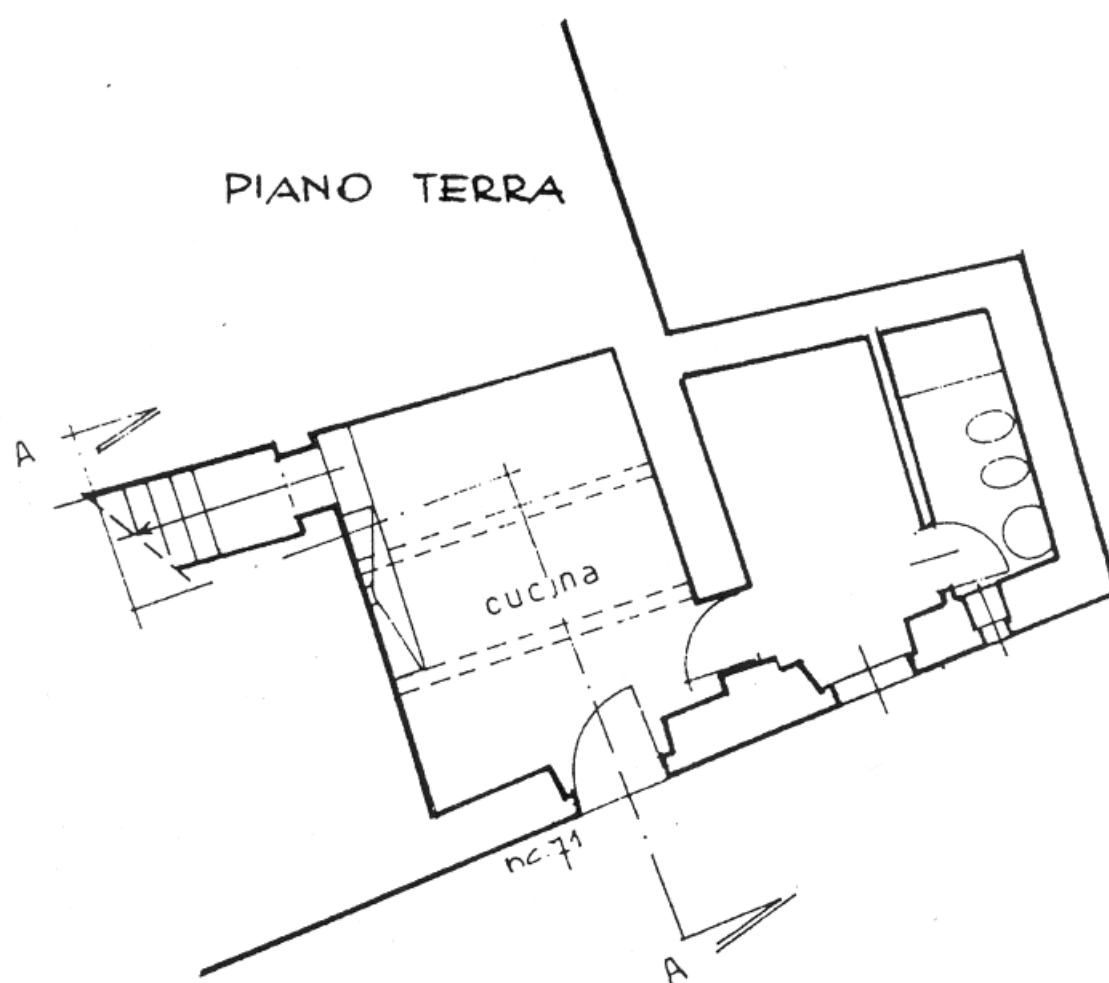


Fig. 27. Piano Terra.

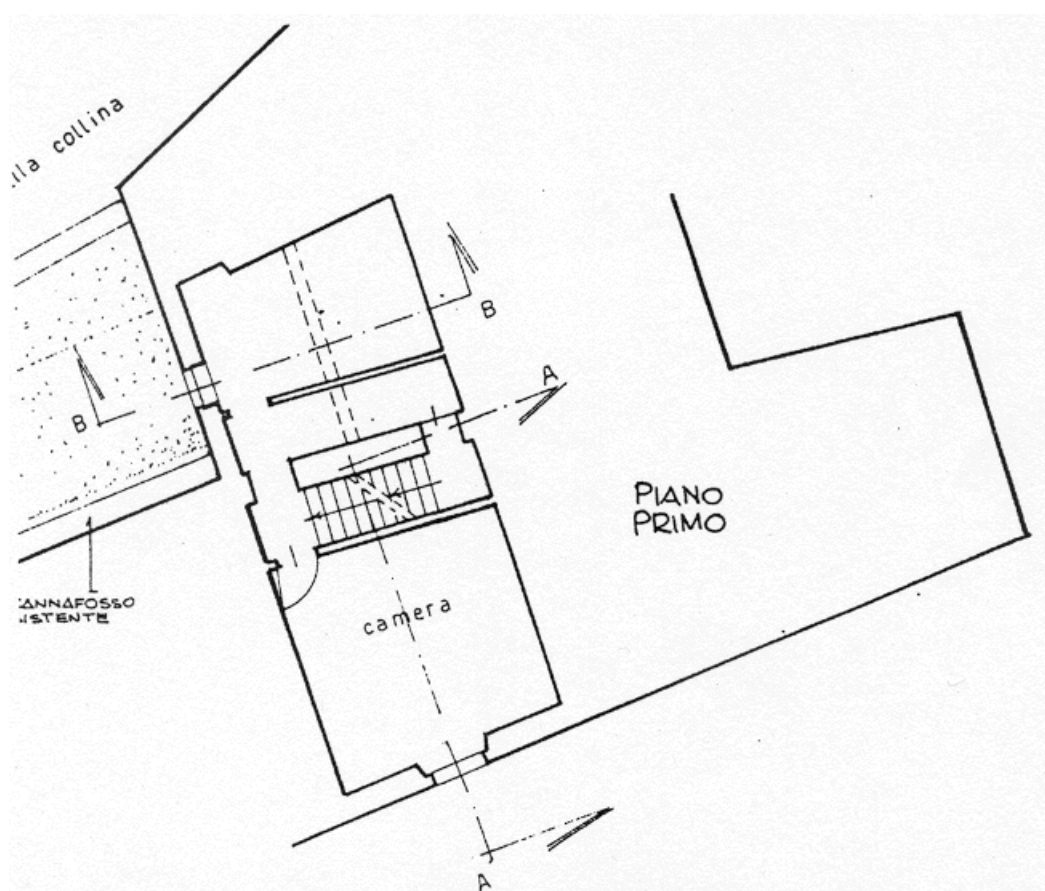


Fig. 28. Piano Primo.



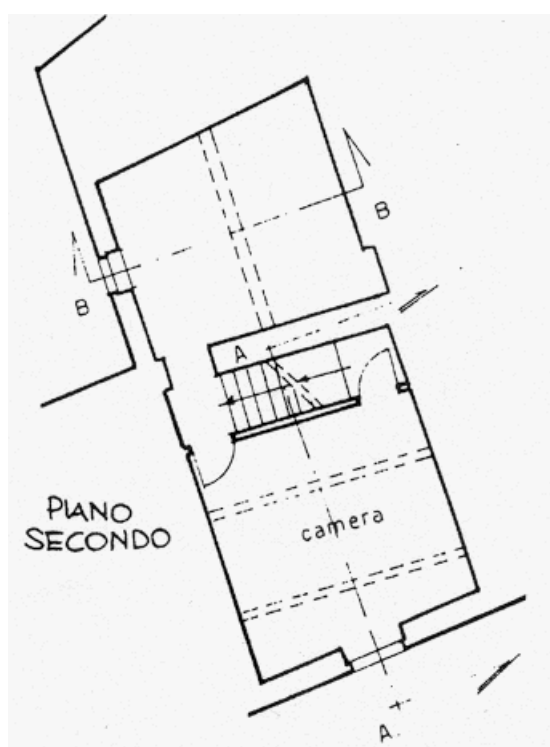


Fig. 29. Piano Secondo.

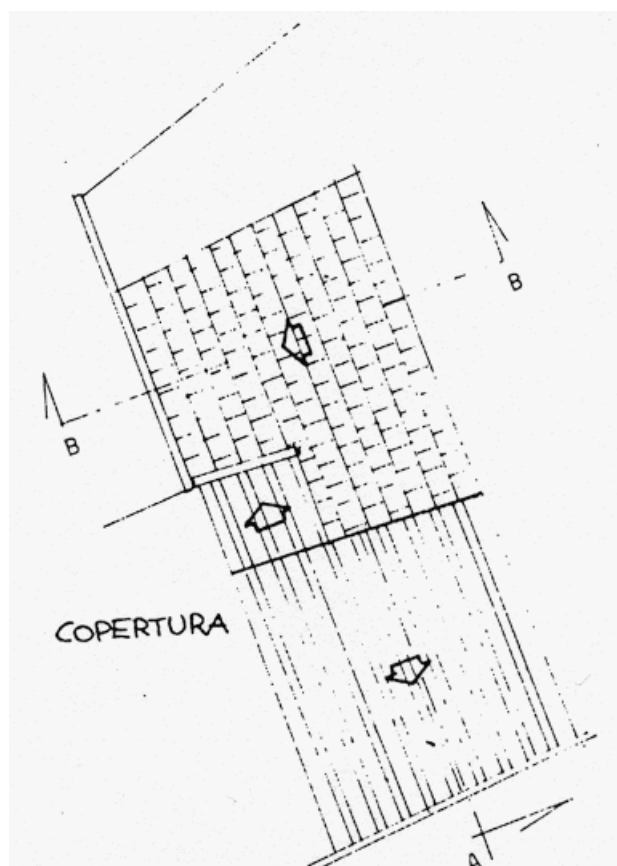
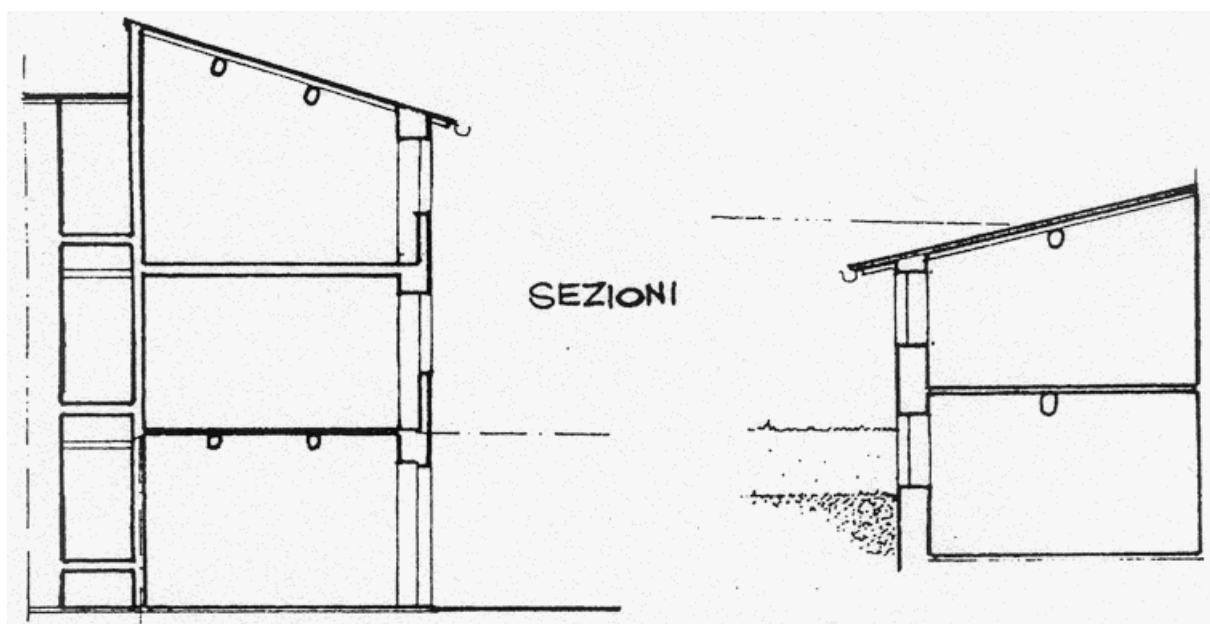


Fig. 30. Copertura.



**Fig. 31.** Sezioni.

L'intervento strutturale consiste anzitutto nel consolidamento di una porzione di solaio di calpestio del piano secondo, avente struttura portante in legno, costituita da una trave principale e da travetti secondari.

La trave principale, in buone condizioni, verrà ripulita; i travetti verranno sostituiti; quindi verrà realizzato un nuovo tavolato con sovrastante getto di calcestruzzo alleggerito in cui sarà posta una rete elettrosaldata  $\phi 6$  10x10, risvoltata nelle pareti laterali (dove è prevista la realizzazione di un intonaco armato). Una diffusa chiodatura provvederà a realizzare la connessione strutturale fra la soletta in conglomerato cementizio e l'orditura portante lignea.

L'ammorsamento nella muratura sarà realizzato ponendo perimetralmente un profilato UNP200 (posto in uno scasso di profondità 10 cm.), come risulta nella tavola esecutiva riportata in fig. 32.

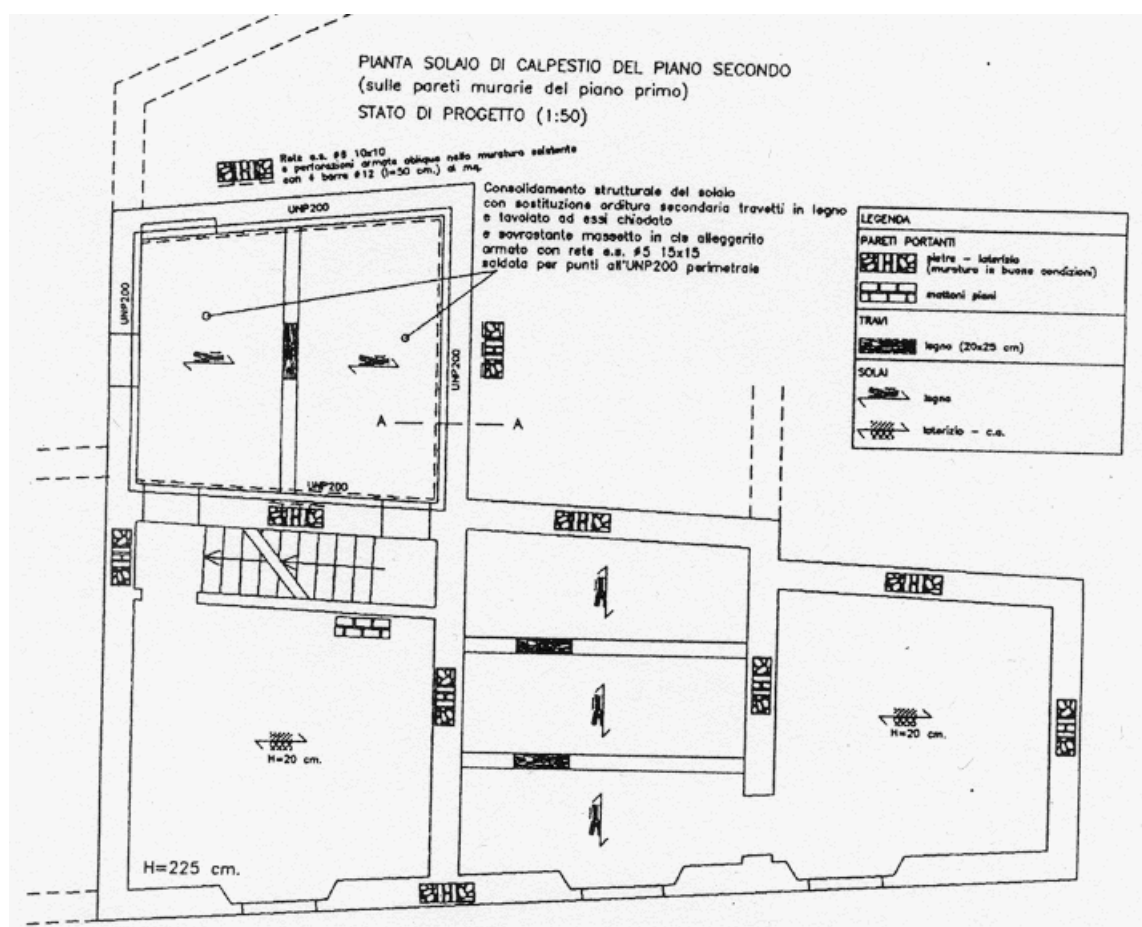


Fig. 32. Intervento Strutturale.

La muratura esistente è mista in pietrame e mattoni, ed appare generalmente in buone condizioni e ben organizzata; nella zona del vano scale è possibile individuare una parete in mattoni pieni.

Risulta comunque opportuno irrigidire le pareti sottostanti e soprastanti al solaio da consolidare, in modo da garantire un miglior funzionamento scatolare della struttura muraria, realizzando nello stesso tempo un'efficace cucitura di alcune lesioni rilevate. Verrà dunque realizzato un intonaco armato, sul lato interno, solidarizzato alla muratura tramite perforazioni armate con barre #12 di lunghezza 50 cm., in direzione variamente obliqua (a circa 45°), nella misura di circa 4 al mq.

Sotto queste indicazioni, si è schematizzata la struttura allo stato attuale ed allo stato di progetto; ne risulta un miglioramento effettivo; si può inoltre notare che i coefficienti di sicurezza mostrano che l'edificio, nella sua globalità, è conforme alla richiesta resistenza alle azioni di natura sismica.

Questo intervento può essere considerato di miglioramento, secondo quanto specificato al punto C.9.1.2. del D.M. 16.1.1996; infatti viene eseguita un'opera che riguarda una parte strutturale dell'edificio senza modificarne in maniera rilevante il comportamento globale, e conseguendo altresì un maggior grado di sicurezza agli effetti sismici, dal momento che la rigidità alle azioni orizzontali risulta incrementata rispetto a quella attuale.

Infatti viene irrigidita una parte di solaio che, allo stato attuale, non sarebbe in grado di assicurare la necessaria rigidità d'impalcato alle azioni orizzontali; inoltre vengono consolidate alcune pareti murarie portanti;

introducendo tali dati nella schematizzazione Por (vedasi Relazione di Calcolo) si dimostra il miglioramento del comportamento statico e sismico dell'edificio.

Inoltre, non è verificata nessuna delle condizioni riportate al punto C.9.1.1. del detto D.M. in base alle quali viene fatto obbligo di procedere all'adeguamento:

- a) l'edificio non viene sopraelevato n, ampliato;
- b) il carico originario non subisce incrementi superiori al 20%;
- c) l'organismo edilizio esistente non viene sostanzialmente trasformato;
- d) il suo comportamento globale non è sostanzialmente alterato;
- e) l'intervento in oggetto non costituisce un "insieme sistematico di opere" atto a "reintegrare l'organismo edilizio esistente nella sua funzionalità strutturale".

Le sollecitazioni sono state valutate in ottemperanza alla vigente Normativa.

Poiché l'edificio non risponde ai requisiti del punto C.5. del D.M. 16.1.1996, il suo comportamento globale viene esaminato tramite verifica sismica, effettuata nel rispetto del D.M. 20.11.1987 e del D.M. 2.7.1981.

Per quanto riguarda i materiali previsti, la soletta della nuova porzione di solaio verrà realizzata in conglomerato cementizio eseguito con cemento titolo 425 ed avente, a 28 giorni di maturazione, una resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$  maggiore di 250 kg/cmq; è previsto un alleggerimento con elementi tipo LECA. Anche per l'intonaco armato delle pareti murarie è da impiegarsi cls  $R_{ck} \geq 250$  kg/cmq.

L'armatura metallica (rete e.s. e barre  $\phi 12$  per perforazioni armate) sarà del tipo FeB44K controllato avente una tensione caratteristica di snervamento maggiore di 44 kg/mm<sup>2</sup>, una tensione caratteristica di rottura di 55 kg/mm<sup>2</sup> ed una tensione ammissibile di 2600 kg/cm<sup>2</sup>.

L'acciaio strutturale (profilato UNP200) sarà del tipo FeB360; le saldature, ovunque di 5 mm., saranno di IIa classe e con elettrodi omologati; la bulloneria di classe 8.8 ad alta resistenza.

\* Analisi dei carichi.

\* Solai esistenti in legno.

Peso proprio 100 kg/mq

Pavimento + sottofondo 150 kg/mq

Totale Carico Permanente 250 kg/mq

Carico Accidentale 200 kg/mq

\* Solai in laterocemento ( $H=16+4$  cm.).

Peso proprio inclusa soletta  $s=4$  cm 230 kg/mq

Intonaco 30 kg/mq

Pavimento + sottofondo 90 kg/mq

Totale Carico Permanente 350 kg/mq

Carico Accidentale 200 kg/mq

\* Copertura esistente a struttura lignea, in buone condizioni.

Peso proprio 100 kg/mq

Manto di copertura in laterizio 100 kg/mq

Totale Carico Permanente 200 kg/mq

Carico Accidentale 120 kg/mq

Carico neve:  $0.8 \cdot 115 = 92$  kg/mq

Data la pendenza del tetto, si amplificano i carichi in copertura:

Carico Permanente 230 kg/mq

Carico Accidentale 140 kg/mq

\* Verifica globale dell'edificio.

Il Metodo Por è stato usato per la Verifica dello Stato Attuale e dello Stato di Progetto, nelle due direzioni di riferimento X ed Y. Esaminando i risultati per entrambe le Combinazioni di Carico, si constata che nello Stato di Progetto si consegue un incremento dei coefficienti di sicurezza.

In particolare, l'edificio risulta adeguato alla Normativa vigente (coefficienti di sicurezza in ogni caso  $>1$ ).

Per quanto riguarda i valori utilizzati per le caratteristiche di resistenza meccaniche si è fatto riferimento ai valori di resistenza al taglio e di duttilità consigliati dalla Normativa vigente, in assenza di specifiche sperimentazioni.

In particolare:

- per la muratura esistente perimetrale in pietrame, si assume:

$\tau_k=7$  t/mq,  $\mu=1.5$ , peso specifico=2200 kg/mc;

- per la muratura esistente in mattoni pieni, si assume:

$\tau_k=12$  t/mq,  $\mu=1.5$ , peso specifico=1800 kg/mc;

- per la muratura portante consolidata con intonaco armato unito a perforazioni armate, si assume:

$\tau_k=18$  t/mq,  $\mu=2.0$ , peso specifico=2200 kg/mc;

- nel caso di paramenti murari in parte consolidati, si assumono caratteristiche meccaniche intermedie.

Per completare l'impostazione di progetto, pur disponendo di dati soltanto parziali sulle fondazioni, queste vengono schematizzate con dimensioni plausibili, e, nello Stato di Progetto, sottoposte a verifica.

## C.2. EDIFICI ESISTENTI: ESEMPI DI STUDIO E PROGETTAZIONE

Gli esempi di Studio e Progettazione sono descritti in maniera estesa nel capitolo A.8. del Volume “La Teoria”, allegato in edizione cartacea al pacchetto di PC.M.

Nei paragrafi seguenti, vengono forniti i nomi dei files corrispondenti agli esempi, tutti installati in

**C:\PCM2000\ES-PROGETTI**

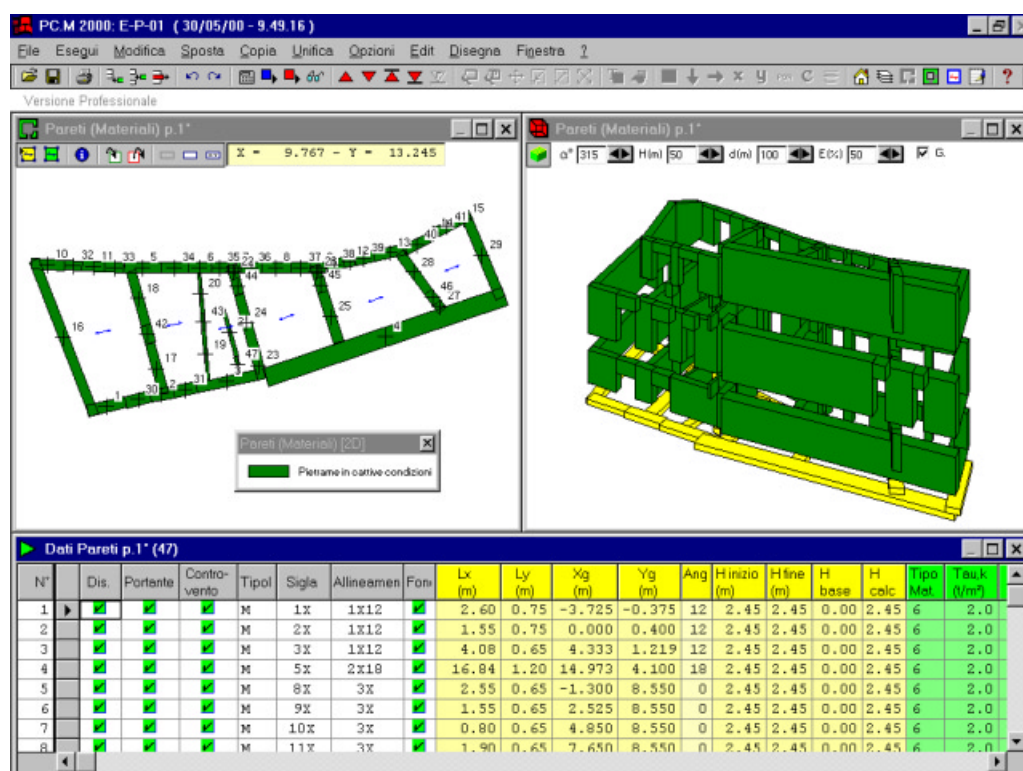
Consultando gli esempi all'interno di PC.M, è possibile rigenerare le schermate illustrate nel Volume, riuscendo così ad approfondire sia la conoscenza delle caratteristiche del particolare esempio, sia le funzionalità del software.

### C.2.1. E-P-01: STUDIO DI EDIFICIO LESIONATO DA SISMA: CANONICA A FIVIZZANO (MS)

L'edificio viene esaminato al paragrafo A.8.1.1., pagg. 179÷188, del Volume “La Teoria”.

I files corrispondenti sono:

**E-P-01.PCM:** prima schematizzazione, indicata con (a); si tratta dell'edificio completo;



**Fig. 33.** Ceserano, schematizzazione (a). Fabbricato Canonica completo.

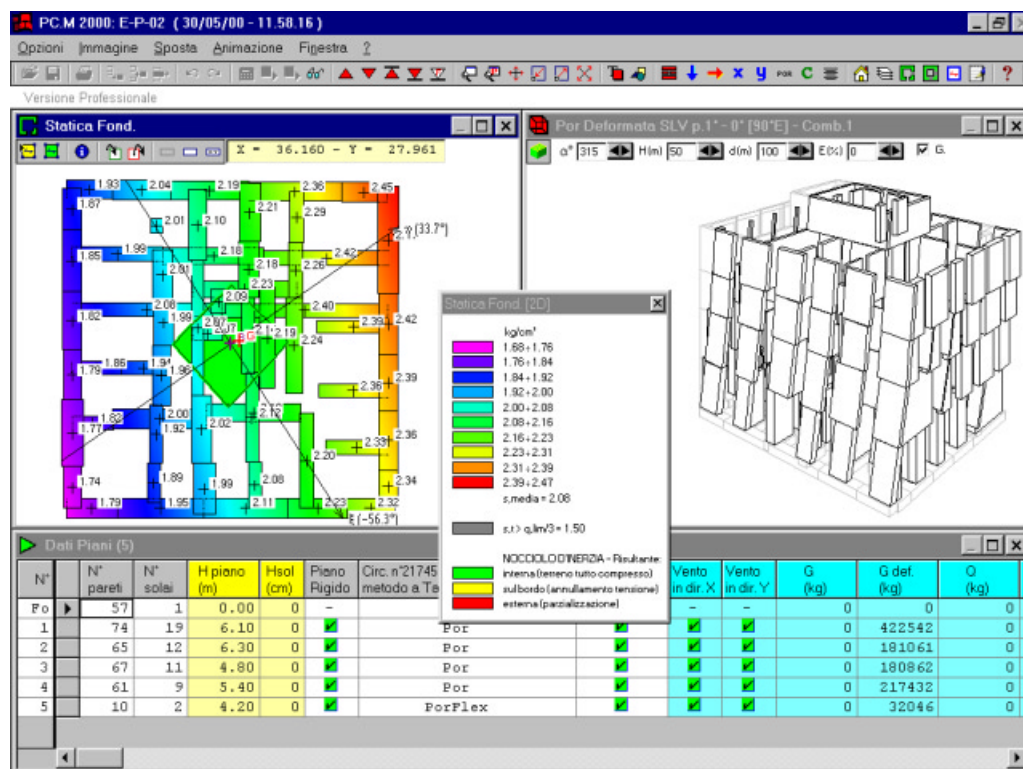
**E-P-01-B.PCM:** seconda schematizzazione, indicata con (b), dove è stata isolata la porzione di canonica più danneggiata.

## C.2.2. E-P-02: STUDIO DI EDIFICIO MONUMENTALE: IL “PALAZZO DEI GIUDICI” DI FIRENZE

L'edificio viene esaminato al paragrafo A.8.1.2., pagg. 189÷203, del Volume “La Teoria”.

Il file corrispondente è:

**E-P-02.PCM**



**Fig. 34.** Analisi Statica Fondazioni e Deformata Sismica secondo Metodo Por.

L'esempio viene successivamente ripreso al paragrafo A.9.1., pagg. 270÷273, per descrivere la **gestione dati in caso di pareti a sezione trasversale non rettangolare**. Con riferimento, per fissare le idee, alla pianta del solo piano terra dell'edificio risalente al 1770, si riportano i seguenti files:

**E-P-02-B.BMP**: bitmap contenente la pianta del 1770 importata via scanner;

**E-P-02-B.DWG**: file di AutoCAD 2000, dove è stata importata (usando Copia in Paint, e Incolla in AutoCAD) la bitmap della pianta, per essere poi 'ripassata' con polilinee, generando la pianta vettoriale in grado di descrivere compiutamente le murature resistenti attraverso le polilinee stesse (ogni polilinea è una porzione significativa di muratura reagente, coincidente sostanzialmente con un 'maschio murario');

**E-P-02-B.DXF**: file DXF generato da AutoCAD per la successiva importazione in PC.M;

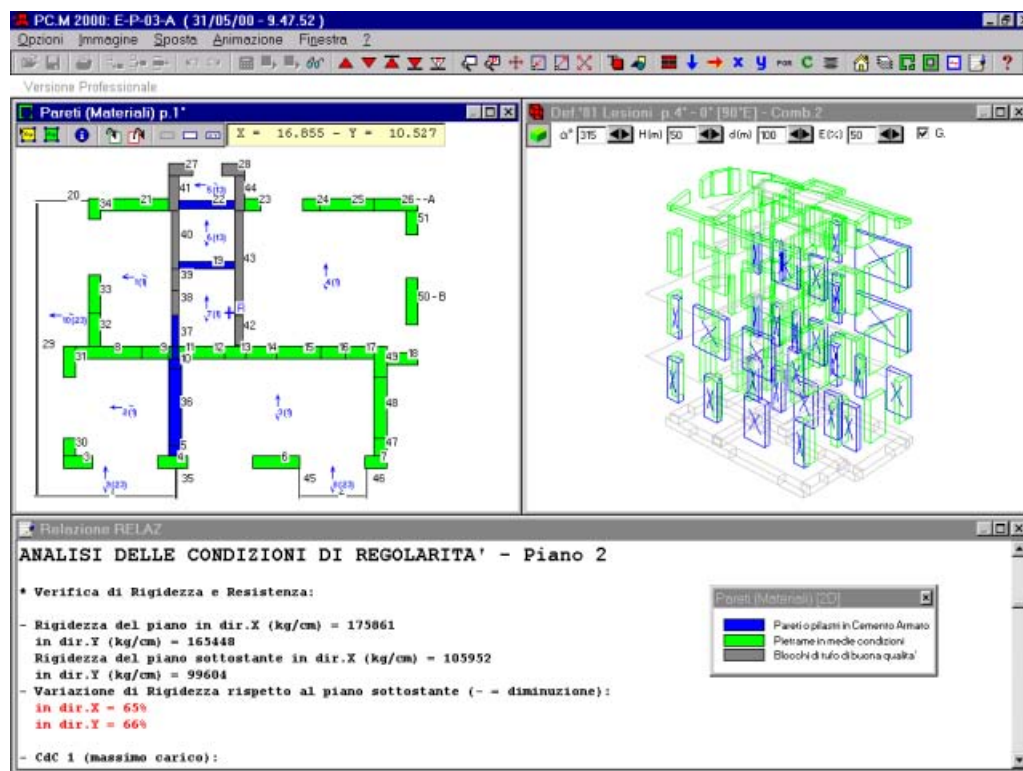
**E-P-02-B.PCM**: file risultante dall'importazione da DXF. La consultazione di questo file è molto importante per apprendere le modalità di gestione di pareti a sezione trasversale non rettangolare, attraverso il numero e le coordinate dei vertici.

Questa facoltà di PC.M, fondata su un innovativo algoritmo originale che utilizza la geometria delle masse delle **pareti irregolari** per equipararle a rettangoli (i cosiddetti 'rettangoli rappresentativi'), si rivela particolarmente utile per l'analisi di edifici esistenti con irregolarità geometriche (disallineamenti, pareti a spessore variabile, nicchie o cavità che diminuiscono la sezione resistente o interrompono la continuità).

### C.2.3. E-P-03: RIPARAZIONE E MIGLIORAMENTO ANTISISMICO

Il progetto dell'edificio è stato redatto nell'ambito della ristrutturazione e ricostruzione antisismica, a seguito del terremoto del 26 settembre 1997 (si ringrazia l'Ing. Fabio Teodori, Gualdo Tadino (PG)).

L'edificio viene esaminato al paragrafo A.8.1.3.1., pagg. 204÷226, del Volume "La Teoria".



**Fig. 35.** Stato Attuale. Pianta pareti piano terreno; Quadro fessurativo previsto dal metodo a Solai Deformabili per sisma agente lungo X; Analisi delle Condizioni di Regolarità con verifica di Rigidezza e di Resistenza.

I files corrispondenti sono:

**E-P-03-A.PCM** per lo Stato Attuale;

**E-P-03-P.PCM** per lo Stato di Progetto.

Per entrambi gli Stati Attuale e di Progetto, si riportano i disegni su CAD con gli esecutivi di progetto:

**E-P-03-A.DWG**

**E-P-03-P.DWG**



### C.2.4. E-P-04: RIPARAZIONE E ADEGUAMENTO ANTISISMICO

Il progetto dell'edificio è stato redatto nell'ambito della ristrutturazione e ricostruzione antisismica, a seguito del terremoto del 26 settembre 1997 (lo Studio Tecnico 2M, ed il progettista: Geom. Mario Mischianti, Gualdo Tadino (PG), che ha fornito, con la collaborazione di Geom. Flavio Coccia, la documentazione tecnica e grafica). L'edificio viene esaminato al paragrafo A.8.1.3.2., pagg. 227÷237, del Volume "La Teoria".

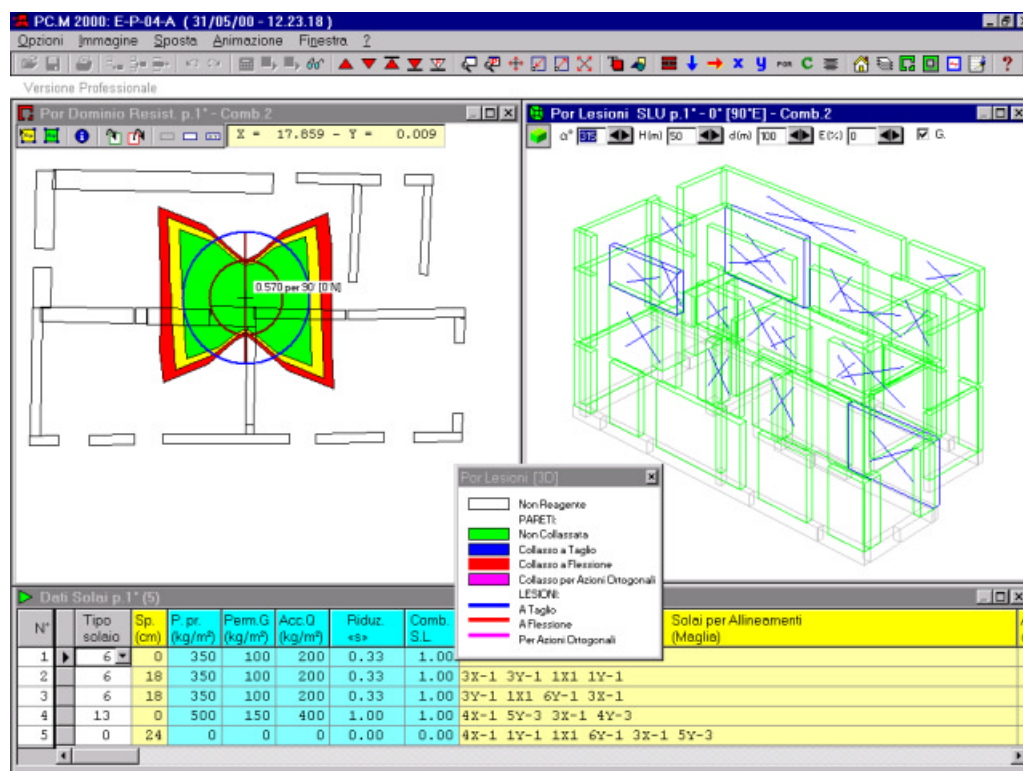


Fig. 36. Dominio di Resistenza; Lesioni per sisma in direzione longitudinale (X)

I files corrispondenti sono:

**E-P-04-A.PCM** per lo Stato Attuale;

**E-P-04-P.PCM** per lo Stato di Progetto.

I disegni esecutivi relativi ad entrambi gli Stati Attuale e di Progetto sono contenuti nel file di AutoCAD;

**E-P-04.DWG**

## C.2.5. E-P-05: INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO SU UNA CHIESA

Il progetto dell'edificio è stato redatto nell'ambito della ristrutturazione e ricostruzione antisismica, a seguito del terremoto del 26 settembre 1997 (si ringrazia l'Ing. Giorgio Bellesi, Macerata).

L'edificio viene esaminato al paragrafo A.8.1.3.3., pagg. 238÷244, del Volume "La Teoria".

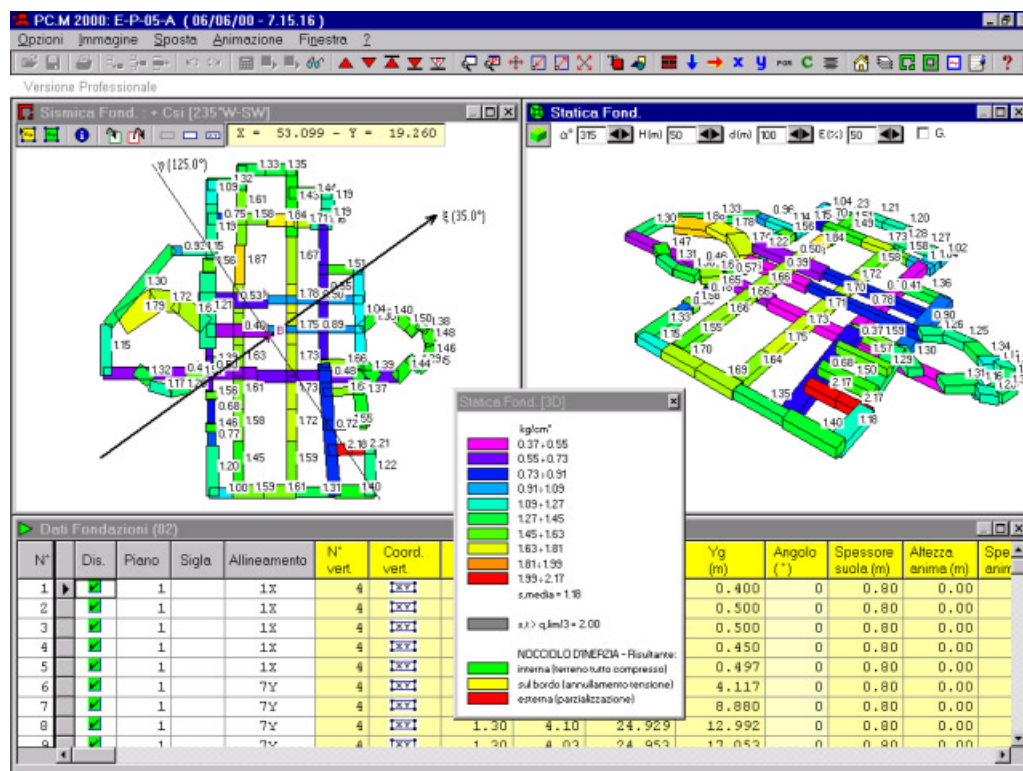


Fig. 37. Risultati analisi fondazioni per lo Stato Attuale: sismica (2D) e statica (3D).

I files corrispondenti sono:

**E-P-05-A.PCM** per lo Stato Attuale;

**E-P-05-P.PCM** per lo Stato di Progetto.

Sono inoltre forniti i seguenti disegni elaborati in AutoCAD:

**E-P-05.DWG**, contenente i disegni architettonici;

**E-P-05-A.DWG**, dove viene effettuata la schematizzazione delle pareti resistenti ai fini dell'importazione in PC.M.

## C.2.6. E-P-06: INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

Il progetto dell'edificio è stato redatto nell'ambito della ristrutturazione e ricostruzione antisismica, a seguito del terremoto del 26 settembre 1997 (si ringrazia l'Ing. Salvatore Castorina, Roma).

L'edificio (non riportato nel Volume "La Teoria") si presenta estremamente complesso, in quanto articolato su 6 piani, con fondazioni sfalsate che interessano i 4 livelli inferiori, e con un numero elevato di elementi strutturali (652 pareti e 128 fondazioni).

Il grande complesso murario non ha riportato danni molto rilevanti a seguito dell'evento sismico, tuttavia se ne doveva approfondire le capacità di resistenza considerandolo nel suo insieme. Alcune parti risalgono a tempi di edificazione diversi; tuttavia, dato il loro collegamento, è risultato interessante valutare il comportamento d'insieme.

Questo esempio si presenta particolarmente significativo per provare le due diverse modalità di calcolo del tagliante sismico per fondazioni sfalsate (si consulti il paragrafo A.9.5., pagg. 277-278 del Volume "La Teoria").

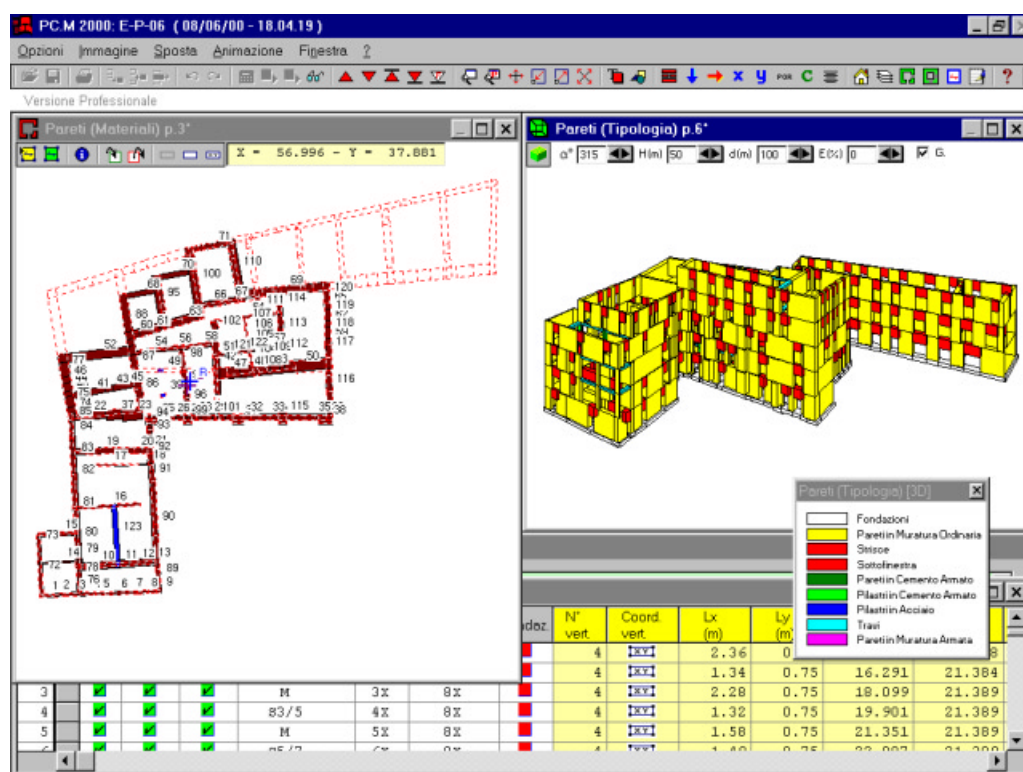


Fig. 38. Edificio complesso, con fondazioni su 4 livelli.

La modalità "per forze dei piani superiori" (schema (a)) conduce a un coefficiente di sicurezza basso, pari a 0.373 ( $C=0.015$ ) per il piano più basso (piano 1), costituito da una porzione significativamente più piccola rispetto all'impronta dei piani sovrastanti; il coefficiente di sicurezza del piano 1 è l'unico inferiore al limite richiesto dalla Normativa e decisamente più sfavorevole rispetto ai piani ad esso sovrastanti.

Con la modalità "per tagliante del piano superiore" (b), il piano 1 viene ad assumere il coefficiente minimo 1.387, superiore al valore richiesto dalla Normativa, ed 'allineato' ai valori dei piani sovrastanti; addirittura, il coefficiente più sfavorevole fra tutti i piani si sposta al piano 5 e diventa 1.302.

La schematizzazione (b) può quindi essere più convincente; si potrebbe comunque ipotizzare, anche in questo tipo di problematica, che la 'verità' stia nel mezzo, e quindi effettivamente il piano 1 potrebbe essere un po' più 'sollecitato' degli altri.

Nel file E-P-06.PCM è selezionato lo schema (b).

### C.3. EDIFICI NUOVI IN MURATURA ORDINARIA: ESEMPI DI APPRENDIMENTO

#### C.3.1. ESEMPIO GUIDATO: N-A-01

Si eseguirà l'input da DXF dell'edificio denominato N-A-01, in muratura nuova ordinaria.

L'esempio guidato è finalizzato al primo apprendimento delle funzionalità del software: si è scelto, a tal fine, di utilizzare la via del formato DXF prodotto da CAD, che risulta senz'altro la più rapida, particolarmente per edifici nuovi dei quali si dispone in genere di piante architettoniche su CAD.

Si consiglia di consultare preventivamente con CAD il file DWG: N-A-01.DWG (da cui viene ricavato N-A-01.DXF), installato in C:\PCM2000\ES-APPRENDI e costruito secondo le specifiche richieste da PC.M 2000 (per le quali si rimanda al paragrafo B.12.1. del Volume 2: Manuale d'uso della 'Documentazione per l'Utente': Input da file DXF).

*Si ricorda, in particolare, che la procedura di salvataggio su file DXF per la creazione del disegno-base da cui importare i dati in PC.M garantisce i migliori risultati utilizzando la modalità di generazione di file DXF per la versione 12 di AutoCAD. Ad esempio, con AutoCAD LT 2000, dal menu File: scegliere 'Salva con nome', e nella finestra di dialogo che si apre, il 'Tipo di file' deve essere selezionato come: 'DXF di AutoCAD R12/LT2 (\*.dxf)'.*

Se si desidera consultare la struttura che corrisponde a questo esempio di apprendimento, già correttamente schematizzata, si può aprire il file di archivio **N-A-01-B.PCM**.

Lanciato PC.M, si attiva la finestra Edificio.

Nel Menu File, selezionare l'opzione di apertura files: 'Esempi di Apprendimento': ciò predisporrà PC.M per il recupero degli archivi da C:\PCM2000\ES-APPRENDI, che è per default la cartella dove sono contenuti gli esempi di apprendimento (distinta da: C:\PCM2000\ES-PROGETTI, che contiene gli esempi di studio e progettazione, e da C:\PCM2000\EDIFICI, dove verranno archiviati tutti gli edifici dell'Utente).

Quindi, eseguire il comando:

**ALT+F,A (CTRL+F12)** (Menu File, Apri).

Si apre la finestra di dialogo 'Apri': dalla casella di riepilogo 'Tipo file' selezionare:

'File DXF di input per PCM':

l'elenco dei files di input viene aggiornato con i files aventi estensione DXF.

Fare doppio clic sul file: **N-A-01.DXF**


Compare la richiesta per la Scala del DXF in input: confermare il valore 1, poiché elaborando il disegno N-A-01 con CAD, è stato utilizzato come unità di misura il metro (1 unità di disegno = 1 metro).

Confermando con OK, inizia l'elaborazione del file DXF, evidenziata in una finestra con barra di avanzamento collegata alle fasi successive eseguite durante la lettura del DXF.


Al termine della lettura, l'edificio viene visualizzato nelle finestre grafiche: nella 2D è visualizzata la pianta del Piano 1, nella 3D la schematizzazione spaziale completa costruita nell'ipotesi di altezza 3.00 m. delle pareti (convenzionalmente assunta da PC.M, in quanto l'altezza non compare fra i dati importabili da DXF).

L'edificio viene automaticamente qualificato come 'Nuovo': se fosse 'Esistente' sarebbe sufficiente fare clic sul corrispondente pulsante di opzione contenuto nella finestra Edificio.

Si può subito provare a fare clic sui Controlli 3D (punto di vista, esplosione, vista globale) per apprenderne il comportamento.

Facendo clic su una finestra (una delle 3 visibili: Edificio, 2D, 3D) essa viene attivata. Si (ri)attivi la finestra Edificio. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

[Nota: la finestra Edificio è finestra principale, e durante la sessione di lavoro con PC.M permane come finestra di sfondo dell'applicazione (può essere nascosta da altre finestre, ad esempio la finestra Pareti). Al menu File della finestra Edificio appartiene l'unico comando che permette l'uscita da PC.M: CTRL+Q (Esci). Non è infatti possibile chiudere l'applicazione dalla barra del titolo principale, e non sono disponibili i pulsanti di ridimensionamento e chiusura della finestra Edificio.]


**ALT+N,N (CTRL+N):** attiva la finestra Piani. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

Nei Dati Piani:

- correggere le altezze (2.70 m, diverse da 3.00 m.);
- si precisa l'altezza di solaio 'Hsol', pari a 30 cm. (in alternativa, si potrebbe lasciarla nulla considerandola compresa in un'altezza di piano 'H piano' che dovrebbe quindi essere pari a 3.00 m.);
- la colonna 'Piano Rigido' vede [a parte le fondazioni (=piano 0)] tutti i piani attivati: lasciarli tali; se si optasse per uno o più piani deformabili, fare clic sulla casellina grafica, per farla apparire rossa (è sufficiente anche evidenziare la cella e premere un qualunque tasto per alternare l'attivazione / disattivazione della proprietà). Normalmente, per edifici nuovi i piani sono da considerarsi rigidi in virtù delle tipologie di impalcato previste;
- per l'applicazione della Circ.21745 è possibile scegliere fra i tre metodi: VeT, Por e PorFlex (nel calcolo saranno effettivamente attivati solo in caso di presenza di almeno un piano rigido). Se poi nella verifica si userà il D.M.20.11.1987, questa colonna è ininfluente;
- fare clic sulle caselline colorate della colonna 'PressoFless. Complanare' per **disattivare le Verifiche a PressoFlessione per Azioni Complanari**: tali verifiche sono disattivate quando l'icona è rossa; riattivarle (icona verde spuntata) se invece si decide di tenere in considerazione tali verifiche;
- l'attivazione del Vento in direzione X e Y può essere lasciata vera, pensando l'edificio isolato; se appartenesse ad un complesso a schiera, si potrebbe scegliere di trascurare l'azione del vento in una delle due direzioni ortogonali X e Y di riferimento;
- la colonna 'Numero pareti' si è riempita automaticamente con l'importazione da DXF;
- la colonna 'Numero solai' prevede al momento solo 1 solaio per ogni piano: la modifica di tale dato avverrà automaticamente operando nella finestra Dati Solai che apriremo in seguito: lasciarne quindi inalterato il contenuto;
- tutte le altre colonne possono essere lasciate inalterate.

Chiudere la finestra Piani, facendo clic sul pulsante di chiusura (l'operazione non è necessaria per passare ad altre finestre; tuttavia si ritiene inutile tenere aperte finestre completate che comunque possono essere in ogni momento chiamate di nuovo).

Riappare la finestra Edificio.

**ALT+N,P (CTRL+P):** attiva la finestra Pareti. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

I Dati Pareti descrivono in dettaglio gli elementi resistenti dell'edificio, e devono essere completati.

Provare a ingrandire e quindi ridimensionare la tabella: essa può essere sempre ridimensionata a piacere dall'utente. Un elevato numero di dati visualizzati può, in sistemi meno veloci, rallentare la gestione della tabella, fatto comunque ininfluente sul contenuto della tabella stessa.

Facendo clic sulla barra di scorrimento orizzontale in basso, scorrere i campi della tabella.

In successione: in bianco, il gruppo di dati Identificazione e , più a destra, Vincoli e Setti; in giallo, Geometria; in verde, Materiali; in celeste, Carichi.

**ALT+O,R** (Menu Opzioni, Tabella Ridotta) riduce i dati visualizzati a quelli di uso più frequente: avendo però inserito i dati da DXF, occorre visualizzare la tabella in modo completo per esaminare tutti i campi; quindi usare il comando **ALT+O,T** (Menu Opzioni, Tabella Completa) per tornare alla tabella completa.

Tutte le pareti sono sia portanti, sia di controvento (cioè reagiscono sia staticamente sia sismicamente). Sigle a Allineamenti sono stati creati automaticamente, così come la lettura da DXF ha determinato la compilazione di parte dei dati geometrici.

Tutte le pareti hanno sezione trasversale rettangolare, pertanto non è necessario editare il numero dei vertici (sempre pari a 4, in tal caso) e le coordinate dei vertici.





Tutte le pareti al piano 1 sono fondate, mentre ai piani superiori ovviamente non lo sono.

Spostare la cella sull'altezza iniziale 'Hinizio' della parete 1, e digitare 2.70. La conferma produce anche l'aggiornamento di 'Hfine' e di 'Hcalc' (=altezza effettivamente assunta per il calcolo per azioni complanari, quindi ad esempio per il Metodo Por; nelle verifiche ad azioni ortogonali viene invece assunta l'altezza geometrica media tra Hinizio e Hfine).

Con la cella su 'Hinizio' della parete 1, digitare **ALT+U,C (CTRL+U)** (Menu Unifica, Colonna) per unificare le altezze di tutte le pareti del piano corrente. 'H calc' deve in effetti essere pari a 2.70 m., in quanto nella



definizione delle altezze delle pareti si è già considerato l'interpiano netto. Se avessimo scelto un'altezza geometrica pari a 3.00 m (incluso anche lo spessore del solaio), per definire poi P 'Hcalc' pari a 2.70 m. si dovrebbe porre la cella su tale campo, per la parete 1, e digitare 2.70, quindi di nuovo **CTRL+U** per unificare la colonna 'Hcalc'.

Ripetere questi comandi anche ai piani superiori: per spostarsi tra i piani, usare i comandi del Menu Sposta, oppure i pulsanti grafici della barra degli strumenti (     ).

Tornando al piano 1, in corrispondenza della parete 1, definire ora il tipo di materiale: facendo clic sul campo corrispondente, si attiva la casella di riepilogo in cui si può scegliere il materiale, facendo doppio clic su quello che interessa (per predefinito, i tipi 1 e 2 sono Cemento Armato e Acciaio; se si tratta di elementi in muratura, scegliere quindi uno dei tipi da 3 in poi). Nel caso in esame, si sceglierà il tipo 7 (blocchi MACEVI B30/6P LECA da intonaco). Scegliendo il tipo, le caratteristiche fisiche e meccaniche vengono automaticamente inizializzate, in base ai dati presenti nella 'Tabella Materiali' (consultabile dal menu Finestra).

Ponendo la cella su 'Tipo mat.', in corrispondenza della prima riga (parete n°1) usare **CTRL+U** per unificare i tipi di materiale di tutte le pareti.

Nell'esempio in esame, tutte le pareti sono da considerarsi in muratura di blocchi MACEVI B30/6P LECA da intonaco, eccetto alcuni elementi in **cemento armato**. Per l'esattezza, con riferimento al piano 1, il pilastro 19 deve avere materiale di tipo 1 (c.a.), e tipologia che può essere scelta fra R e C: se R (=pilastro in c.a.), la rigidezza alla traslazione verrà calcolata con la sola componente flessionale; se C (=parete in c.a.) verrà considerata anche la componente a taglio. Si opta per la tipologia C.




Gli elementi 7 e 8 non sono in realtà pareti ma travi e quindi occorre: correggerne la tipologia, digitando: T6/19 per l'elemento 7 (che significa: trave impostata tra la parete 6 e la 19) e T19/20 per l'elemento 8 (trave tra pareti 19 e 20): le altezze iniziale e finale divengono così le quote di estradosso della trave (da porre pari a 2.94 m. = 2.70 + 0.24 spessore strutturale del solaio), mentre l'altezza di base è l'altezza della sua sezione: quest'ultima deve essere posta pari a 0.24 cm (trave in spessore di solaio).

Al piano superiore, la situazione è analoga: occorre quindi correggere gli elementi 7,8,19 con materiale in c.a. e opportuna tipologia.

Passando ora alle colonne sui Vincoli, lasciare 12.0 per il coefficiente di rigidezza flessionale complanare; 8.0 per il denominatore del momento in mezz'aria per Azioni Ortogonali esercitate sulla parete vincolata agli interpiani; passare quindi, più a destra, alla colonna 'Setti'.


Mentre le **Pareti** sono per definizione i maschi murari di interpiano, i **Setti** sono i paramenti esterni a tutt'altezza (dalla fondazione alla sommità) che saranno sottoposti alle verifiche a Ribaltamento e a PressoFlessione per Azioni Ortogonali. I Setti, sempre considerati nel calcolo come strisce di base 1.00 m., vengono definiti, in PC.M, adottando una sigla specifica per ogni paramento murario e attribuendola, piano per piano, alle pareti che compongono tale setto. Si consulti il volume edito dalla Provincia di Perugia e dal Servizio Sismico Nazionale (pag.83, TAV.05). Mentre per gli edifici esistenti i setti assumono importanza fondamentale, generalmente essi vengono trascurati negli edifici nuovi, grazie alla validità delle connessioni parete-parete e parete-solaio che saranno realizzate in fase costruttiva. Ciò rende praticamente sempre superflue le verifiche a ribaltamento e quindi si preferisce semplificare l'input evitando la definizione dei setti. Comunque, per approfondire l'argomento si rimanda, oltre che al volume citato, anche al 'Manuale d'uso' di PC.M (paragrafo B.5.2.11., consultabile anche dall'help in linea di PC.M).

Analogamente, altri campi in input direttamente inerenti le verifiche svolte da PC.M sui setti (Vincolamento efficaci, Tiro) possono qui essere trascurati.


Ogni tanto, salvare i dati (anche usando la barra degli strumenti:  ). Si osservi che con i comandi Annulla e Ripristina del menu Modifica (barra degli strumenti:   ) è possibile tornare alla configurazione precedente o ripristinare la successiva (comandi molto utili in caso di errori di inserimento dati o necessità di correzione).


Per quanto riguarda i carichi imposti (campi di input in colore celeste), questi sono carichi aggiuntivi rispetto a quelli che saranno automaticamente calcolati in base ai Dati Solai (che introdurremo tra poco). Nel caso in esame, non vi è alcun carico verticale, ed avendo inoltre trascurato la definizione dei setti, non è necessario

indicare alcuna spinta (campi: 'Fperm.distr.' e 'Facc.distr.') applicata sulla sommità del setto: i valori in input possono essere lasciati nulli.

Possiamo ora chiudere la finestra Pareti e passare ai dati Solai (**CTRL+S**), dove specificare le maglie ed i carichi. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

All'inizio, è visualizzato il piano 1, con una sola maglia nulla. Occorreranno in totale 3 maglie +1 per il perimetro di piano (il 'Perimetro di Piano' è una maglia fittizia che percorre il contorno del piano e che deve essere sempre definita per ogni piano [tranne che per i solai di fondazione], quindi si ha sempre una maglia in più rispetto alle effettive campate di solaio).

Ripetendo 3 volte il comando Aggiungi del menu Modifica (**CTRL+A**) (o equivalentemente usando il corrispondente pulsante della barra degli strumenti: ) , otteniamo 4 righe disponibili in tabella.

Facendo clic sulla finestra grafica 2D, scegliamo il comando 'Parametri di Disegno' del menu Opzioni (**F11**) (o usando la barra degli strumenti: ) : disattiviamo 'Numerazione' e attiviamo 'Allineamenti': si evidenzieranno gli allineamenti che costituiscono i 'filì fissi' di riferimento della struttura (e che, ricordiamo, sono stati generati automaticamente attraverso l'input da file DXF *(se i dati geometrici della struttura fossero stati inseriti numericamente, avremmo potuto creare automaticamente gli allineamenti utilizzando il comando Ottimizza del menu Modifica della finestra Dati Pareti)*). Verifichiamo anche che siano attivate l'Orditura e la Numerazione dei solai.

Usciti dalla finestra di dialogo, fare di nuovo clic sulla finestra Dati Solai per ridarle il fuoco. Spostiamo la cella nel campo 'Solai per Allineamenti (Maglia)' del primo solaio.

Digitiamo la stringa alfanumerica (solo il testo racchiuso tra le virgolette; ogni allineamento è separato dal successivo da uno spazio bianco):

"1X 4Y 3X 3Y"



Confermando, compare nel disegno il primo simbolo di orditura del solaio, inizialmente con angolo 0°. Per cambiarne l'orditura, digitare 90 nel campo 'Angolo orditura'.

Procedere analogamente per gli altri solai, definendo:

Solaio n.2: "3X 4Y 4X 1Y", angolo: 90;

Solaio n.3: "2X 3Y 3X 2Y", angolo: 90.

Il solaio fittizio n°4 (perimetro di piano) sarà la maglia "2Y 3X 1Y 4X 4Y 1X 3Y 2X", angolo ininfluente (si può lasciare 0). Spostando la cella a destra nella colonna 'Schema Statico', si vede che questo è automaticamente 'M' (=solaio monodirezionale). Date le modalità di realizzazione dei solai (in laterocemento), si ipotizza che il carico possa diffondersi almeno parzialmente anche sulle pareti parallele all'orditura, e pertanto si adotta lo schema 'D' (=solaio bidirezionale), specificando la percentuale del 20% (quota parte di carico che sarà appunto applicata sulle pareti parallele all'orditura): questo schema va bene per tutte le maglie, escluso l'ultima: il solaio fittizio del perimetro di piano deve infatti avere lo schema E.


Per definire le maglie di solaio risulterà, in seguito, probabilmente più comodo utilizzare la via grafica attraverso gli appositi comandi della barra degli strumenti della finestra grafica 2D: il pulsante  attiva l'inizio dell'inserimento della maglia, mentre  conferma e termina: facendo clic su almeno una parete per ogni lato della maglia (cui corrisponde un preciso allineamento), la stringa alfanumerica contenente (nella tabella dei Dati Solai) la sequenza degli allineamenti che definiscono la maglia, si comporrà automaticamente da sola. Mentre si fa clic su una parete, questa viene evidenziata.


Inseriamo ora i carichi: si considerano agenti:

permanente = 500 kg/mq (che si può scomporre, ad esempio, in 250 di peso proprio e 250 di sovraccarico permanente); accidentale = 200 kg/mq. Si utilizza poi un coefficiente di riduzione  $s = 0.33$ , e un coefficiente di combinazione di carico accidentale (per le verifiche agli Stati Limite) pari a 1.00: digitare tali valori nei campi corrispondenti. Unificare i carichi di tutti i solai usando il comando 'Carichi: tutti i seguenti' del menu Unifica; poi riazzerare i carichi del perimetro di piano (ultima riga), che fisicamente non hanno significato.

Spostando ora il fuoco al piano superiore, copiare il piano inferiore (comando 'Piano inferiore' del menu Copia): infatti, le maglie di solaio hanno la stessa definizione. Trattandosi del piano di copertura (poiché l'edificio è a due soli piani), occorre però correggere il carico accidentale (150, invece di 200 kg/mq), adottando un coefficiente di combinazione pari a 0.70 (carico neve).

Infine, per queste nuove maglie, si inserirà una 'Pendenza' pari a 30 (%): essa permetterà, nei calcoli, di considerare un carico verticale incrementato adeguatamente, e consentirebbe inoltre l'uso di un'utilità dedicata al calcolo delle spinte (per il caso in esame superfluo, non avendo definito i 'setti' per le verifiche a ribaltamento).

Facendo clic sulla finestra grafica 2D, scegliamo ora di nuovo il comando 'Parametri di Disegno' del menu Opzioni (**F11**) (o usando la barra degli strumenti: ): disattiviamo 'Allineamenti' e torniamo alla 'Numerazione'.

Chiudiamo la finestra Solai, tornando ai Dati Edificio. Chiamiamo ora la finestra Fondazioni, con **CTRL+F** o usando il comando del menu Finestra. E' anche possibile utilizzare il pulsante grafico della barra degli strumenti: .

Il comando più rapido per definire l'insieme delle fondazioni è: 'Crea Fondazioni da pareti' del menu Opzioni. Viene così creato un reticolo di fondazione, dove le fondazioni vengono riunificate con continuità lungo ogni allineamento (rispetto alle sezioni delle pareti sovrastanti).

Le fondazioni, però, sono più larghe delle pareti sovrastanti: usare allora il comando Allarga del menu Edit. Inserendo il valore 0.60, tutte le fondazioni saranno allargate da 30 a 90 cm.

Occorrono alcune correzioni, relativamente alle fondazioni 6 e 17.

La 17 è un 'plinto' sotto il pilastro in c.a. che avrà dimensione Lx maggiore di 0.90: esattamente, 2.00 m.

La fondazione 16 si è 'collegata' automaticamente al plinto perché le pareti sovrastanti (muro 16 e pilastro 17) appartengono allo stesso allineamento; ciò non è potuto invece avvenire per la fondazione 6, la quale in realtà sarà però collegata anch'essa al plinto. Occorre quindi stirare la fondazione 6: scegliere il comando Stira del menu Edit: Viene richiesto l'allungamento o accorciamento (numero positivo o negativo, rispettivamente) dei vertici iniziale e finale dell'elemento: digitare 0,4.50 che significa: invariata la posizione iniziale della fondazione, e allungata di 4.50 m. quella finale (in modo che si 'collega' al plinto).


Posizioniamo ora la cella sul campo 'Spessore suola', in corrispondenza della fondazione n°1 (prima riga della tabella) e digitiamo 0.50 (altezza della fondazione). Unificando la colonna (**CTRL+U**) si completa la definizione geometrica delle fondazioni.

[In generale, la via più efficiente di introduzione della geometria delle fondazioni che sarà seguita dall'Utente per i propri progetti è quella grafica attraverso l'input da file DXF anche delle fondazioni, oltre che delle pareti].

Resta infine il peso proprio: nella colonna 'Tipo Mat.' Scegliamo, dalla casella a discesa, 'Calcestruzzo'.

Così, la definizione delle fondazioni è stata rapidamente completata.

Ricordiamo che la definizione delle fondazioni è necessaria per tutti gli edifici. Mentre per gli edifici esistenti potrebbero non essere sempre note (e comunque in tal caso P.C.M. permette di definirne rapidamente le dimensioni più plausibili utilizzando il comando 'Crea Fondazioni da pareti'), per gli edifici nuovi esse saranno ovviamente progettate e quindi geometricamente ben definite. La procedura di creazione automatica di un primo reticolo a partire dalla pareti sovrastanti è comunque ugualmente utile, in quanto generalmente attraverso poche successive correzioni si riesce a descrivere rapidamente la reale configurazione fondale.

A questo punto, quasi tutti i dati sono inseriti: rimangono i '**Parametri di Calcolo**' che determineranno i tipi di verifiche che verranno eseguite. Dalla finestra Edificio, menu Esegui, comando 'Parametri di Calcolo' (**F11**) (o usando la barra degli strumenti: ): scorrere le sei schede (Analisi Statica, Analisi Sismica, Parametri Vari (1), Parametri Vari (2), Muratura Armata, Avanzate).

Poniamo l'attenzione su alcuni dei parametri più significativi.

#### 1. Analisi Statica.

Si scelgono: Fondazioni su Piano Rigido; Azione del Vento: 50 kg/mq in pressione e 25 kg/mq in depressione; eseguire le verifiche statiche secondo D.M.20.11.1987 (in genere trascurabili per gli edifici esistenti): quindi, non deve essere spuntata la corrispondente opzione.

#### 2. Analisi Sismica.

Nel Riferimento Normativo viene scelto il percorso di verifica. In questo esempio, facciamo riferimento alla Circ.21745 (alla quale, anche per gli edifici nuovi, riconduce la vigente normativa sismica. In pratica, con queste impostazioni: le verifiche statiche in base al D.M. 20.11.1987 verranno comunque eseguite, mentre le sismiche faranno capo ai metodi previsti per gli edifici esistenti dalla Circ.21745 del 30.7.1981, essendo ciò consentito dal punto C.5.2. del D.M. 16.1.1996 attraverso il 'raccordo' con le norme degli edifici esistenti per quegli edifici



nuovi che non soddisfano le regole del 'dimensionamento sismico semplificato' elencate al medesimo punto C.5.2.)

Azioni Sismiche: specificare 1.00 per il Coefficiente di Sicurezza nei confronti dell'Adeguamento Sismico. Per quanto riguarda i valori dei coefficienti (beta), trattandosi di edificio nuovo, questi sono da assumersi pari a:  $\beta_{1=2}$  e  $\beta_{2=1}$ .

Masse sismiche: piani completi.

Sezione per Verifiche a Taglio: a metà altezza (consigliato, perché è la sede più probabile della comparsa della fessurazione diagonale a taglio).

Verifiche a Taglio secondo Circ.21745: non scegliere né il moltiplicatore 0.9 per la forza ultima, né lo Stato Limite Ultimo al collasso della prima parete.

#### 3. Parametri Vari (1).

Scegliere lo Stato di Progetto. Non essendovi alcun confronto con un preesistente Stato Attuale (come invece avviene per gli edifici esistenti), non è necessario specificare alcun nome per la struttura di confronto.

Per Azioni Orizzontali: schema di mensola accoppiate per il calcolo a vento (vd. osservazioni al paragrafo F.3.2., punto f.).


Verifiche a Taglio secondo D.M.20.11.1987: prescindere dalla parzializzazione sulle pareti scariche.

Per Azioni Ortogonali: eseguire le verifiche sismiche a pressoflessione solo sulle pareti (i Setti non sono stati definiti).

#### 4. Parametri Vari (2).

Capacità portante del terreno:  $q_{lim} = 4.50 \text{ kg/cmq}$ .

Confermando con Ok, si è completato l'inserimento dati.

Per l'esecuzione del calcolo, dalla finestra Edificio: menu Esegui, Analisi Sismica (o usare il pulsante grafico della barra degli strumenti: ). Ignorare i messaggi intermedi, che rilevano l'assenza della definizione dei Setti e di uno Stato Attuale di riferimento (aspetti generalmente ininfluenti per l'edificio nuovo).

Al termine dell'elaborazione, una finestra mostra il 'Rapporto di Elaborazione', suddiviso in Analisi Statica e in Analisi Sismica. Caselle rosse o verdi in corrispondenza delle verifiche attivate evidenziano la soddisfazione o meno delle corrispondenti verifiche (in giallo può apparire la Verifica a Ribaltamento, non essendo stato possibile eseguirla per la mancanza di definizione dei Setti). Nell'Analisi Statica, il colore è l'unica informazione immediata necessaria; nella Sismica, alcune verifiche presentano il valore del coefficiente sismico C sopra al quale la verifica non è più soddisfatta: quindi, se il risultato è favorevole (casella verde), il C corrispondente avrà valore superiore a quello richiesto dalla Normativa (ad es. 0.07 per un edificio posto in zona sismica di IIa categoria).

In questo edificio, i dimensionamenti semplificati (lo statico secondo il D.M. 20.11.1987 e il sismico secondo il D.M. 16.1.1996) non sono soddisfatti: questo significa semplicemente che occorre spostare l'attenzione sulla verifica estesa, che si articola in più verifiche ognuna delle quali dovrà ovviamente essere soddisfatta (qualora invece il dimensionamento semplificato fosse positivo, sarebbero superflue le verifiche estese).

Consultando quindi i risultati delle verifiche estese, questo edificio presenta qualche problema nelle Verifiche Statiche a Compressione e PressoFlessione e nelle Sismiche a PressoFlessione complanare.

Riesaminando le scelte effettuate sui 'Parametri di Calcolo', è ovviamente possibile 'correggere' il tiro qualora alcune scelte siano state, ad esempio, troppo cautelative.

Per le verifiche ad azioni ortogonali (cui appartiene anche la Verifica Statica a Compressione) è ad esempio possibile scegliere un momento in mezz'aria della parete pari a  $qh^2/12$  anziché  $qh^2/8$  (si ritiene idoneo assimilare a semincastri anziché cerniere la base e la sommità della parete): correggere 8.0 in 12.0 nella colonna 'Az.Ortog.  $qh^2/x$ ' nei 'Dati Pareti', per tutte le pareti sia del piano 1 sia del piano 2.

Per le verifiche ad azioni complanari (cui appartiene anche la Verifica Statica a PressoFlessione), è possibile optare per la limitazione dell'esecuzione della verifica alle sole pareti più snelle (aventi snellezza  $\geq 2.0$ ; vedi Parametri Vari (1)).

Corretti questi 'Parametri di Calcolo', si rimanda in esecuzione l'analisi.

Staticamente l'edificio è ora soddisfatto; resta invece ancora non verificata la 'PressoFlessione Sismica Complanare'. Se volessimo escludere questa verifica (si rimanda ad altre parti della documentazione di PC.M per

la descrizione delle caratteristiche della verifica a pressoflessione complanare), scelta in generale accettabile per edifici nuovi, dove tale meccanismo di collasso potrebbe essere reso ininfluenza da validi collegamenti fra le membrature strutturali e da fasce di interpiano rigide nei sopra- e sotto-finestra, potremmo disattivarla nella finestra Piani (selezionando l'icona rossa nella colonna 'PressoFless. Complanare'). In tal caso, la verifica sismica sarebbe pienamente soddisfatta.

Spostando il fuoco sulle finestre grafiche 2D e 3D si può dare inizio alle consultazioni sulle post-elaborazioni grafiche dei risultati. Per quanto riguarda la consultazione di tutte le opzioni grafiche di PC.M, la fase di stampa ed ogni altra proprietà del software, si rimanda alla 'Documentazione per l'utente', ed in particolare al Volume 2, Manuale d'uso.

#### C.3.2. N-A-02: TEST

Files di riferimento:

**N-A-02.DWG:** preparazione del file per l'input, eseguita con AutoCAD LT®

**N-A-02.DXF:** file generato dal comando DXFOUT per la successiva importazione in PC.M

**N-A-02.PCM:** file di archivio di PC.M 2000

L'edificio in **muratura ordinaria**, utilizzato anche come test di confronto, si riferisce all'esempio riportato nel volume "L'Edificio in Muratura", Ed. B.I.N., Verona, Ila ed. Giugno 1999, autori: G.Righetti e L.Bari, par. 4.4 (pagg. da 4.28 a 4.49).

In questo paragrafo, l'attenzione sarà focalizzata specificatamente sull'Analisi Statica condotta secondo il D.M. 20.11.1987 e quindi sulle verifiche in esso previste: Dimensionamento Semplificato, Verifiche a Compressione, PressoFlessione e Taglio.

Si tratta di un edificio cosiddetto "semplice" (ossia per il quale vengono rispettate le prescrizioni a,b,c,d,e del punto 2.1 del D.M. 20.11.1987).

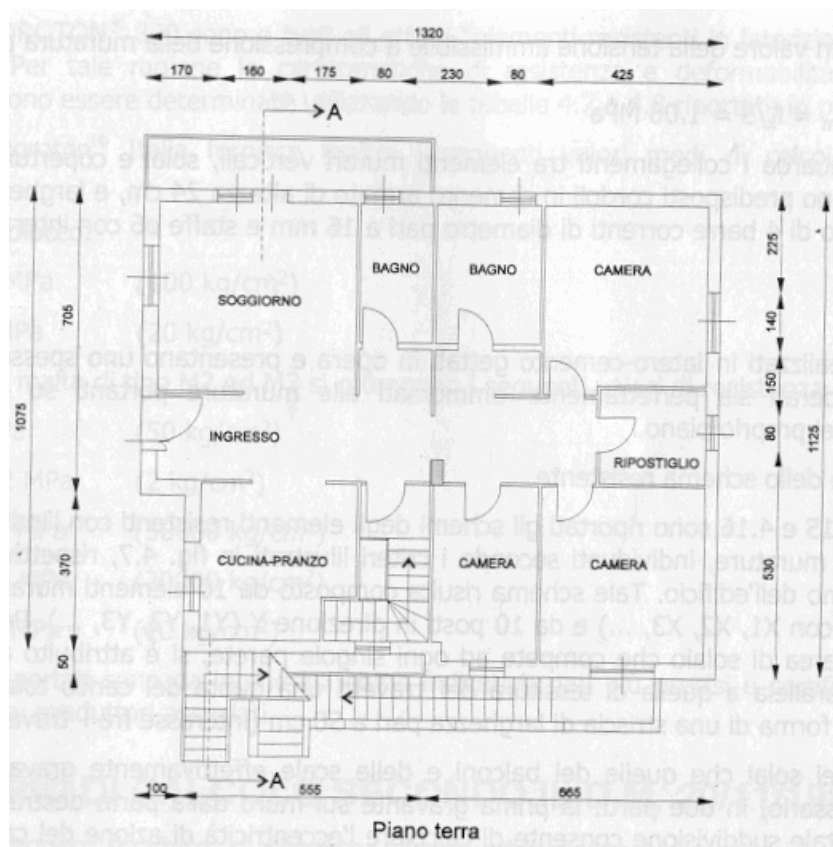
Il fabbricato, destinato a civile abitazione, è costituito da un piano seminterrato in c.a. (omesso nella modellazione) e da due piani (terreno e primo) in muratura portante POROTON 800 e malta tipo M2.

L'altezza degli interpiani è pari a cm. 300; lo spessore dei solai - in laterocemento, gettati in opera - è di 20+4 cm. La copertura è prevista a capanna con stesa di marsigliesi.

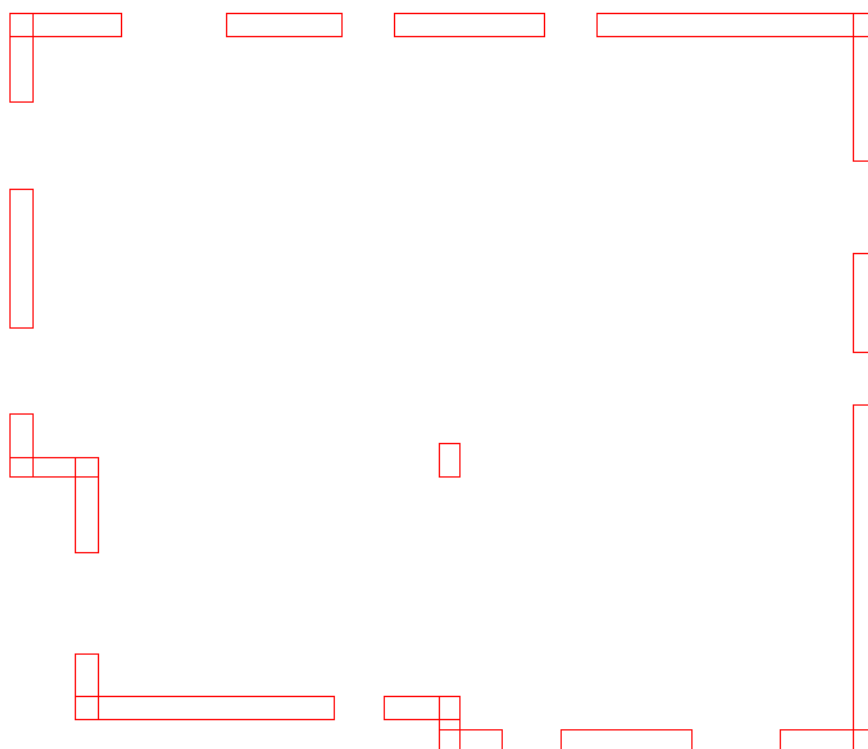
#### Caratteristiche della modellazione.

La modellazione della struttura è stata eseguita con input da file DXF. Utilizzando quindi le piante architettoniche dei piani terreno e primo, si è proceduto a realizzare con AutoCAD LT® un file di disegno (N-A-02.DWG) nel quale i layers denominati: PARETI01, PARETI02 contengono le polilinee atte a rappresentare le pareti resistenti della struttura. Essendo presente anche un pilastro ed una trave in cemento armato, si è provveduto a riportare anche questi.

Per procedere più rapidamente, si sono disegnate solo le sezioni resistenti, rimandando la definizione delle maglie di solaio ai comandi interni a PC.M.



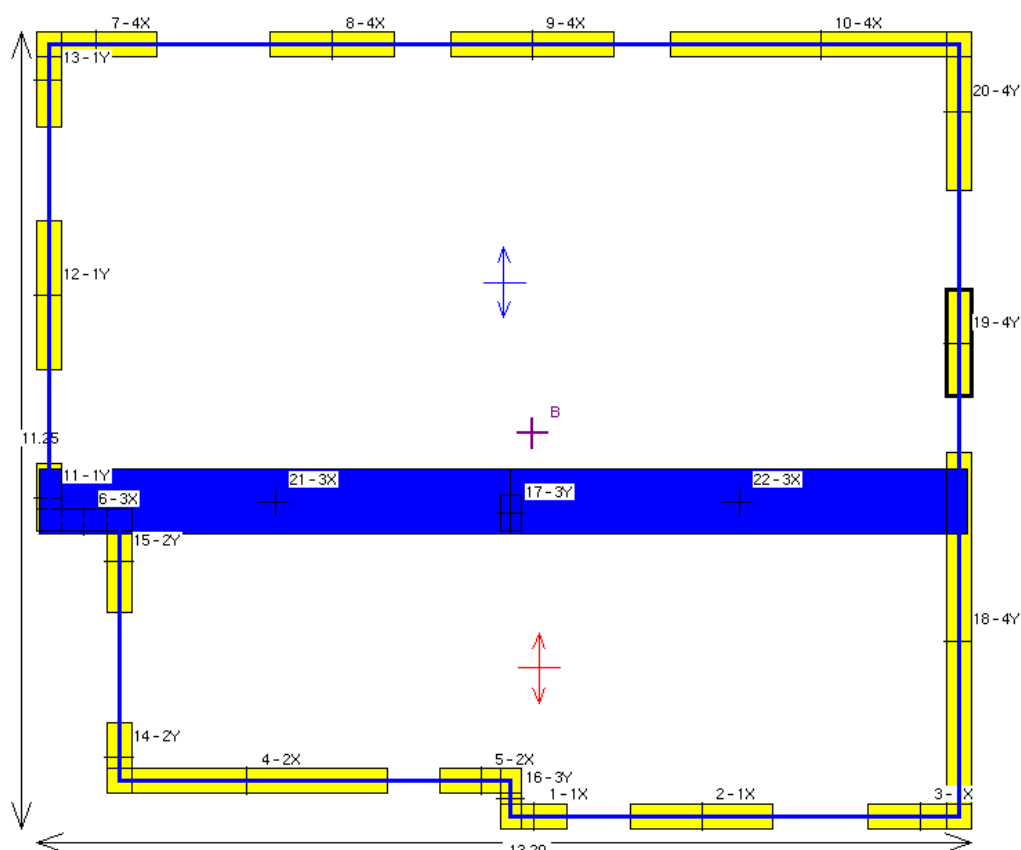
**Fig. 39.** Pianta architettonica del piano terreno tratta da “L’Edificio in Muratura”, Ed. B.I.N., Verona, IIa ed. Giugno 1999, autori: G.Righetti e L.Bari, cap.4, pag.30.



**Fig. 40.** File *N-A-02.DWG*, layer “*PARETI01*”: polilinee per le pareti.

Si è quindi esportato il disegno su file DXF utilizzando il comando DXFOUT. Il file DXF per l’input dei dati strutturali viene successivamente richiamato da PC.M 2000 (comando ‘Apri’ del menu File della finestra Edificio, scegliendo i files DXF preparati per l’input da PC.M).

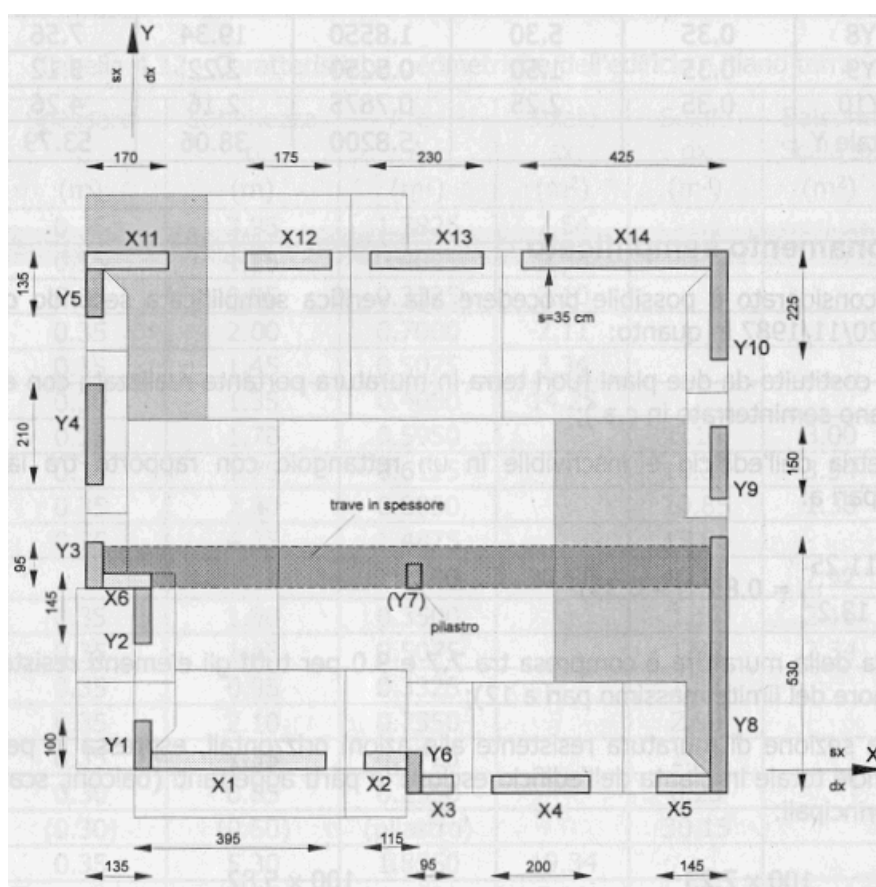
Eseguita l’importazione della geometria, si è proceduto col definire le maglie di solaio; come si vede dalla figura seguente, la trave in c.a. di spina è necessaria per la corretta descrizione delle aree di carico (la figura è stata creata come esportazione su file BMP del contenuto della finestra grafica 2D di PC.M 2000).



**Fig. 41.** Pianta piano terreno: pareti, trave, pilastro e orditure solai.

Ad ognuno dei due piani sono state definite tre maglie di solaio, di cui due rappresentano le aree di carico vere e proprie ed una il “perimetro di piano” atto a definire il contorno murario dell’edificio, allo scopo sia di individuare le pareti ‘esterne’ soggette a vento normale, sia di determinare l’area d’impalcato.

La determinazione dei carichi assume un ruolo fondamentale nell’analisi della struttura. Nell’esempio del volume “L’Edificio in Muratura” ad ogni parete viene affidata un’area di influenza competente ai vari solai (o balconi, scale, gronde), secondo la loro posizione definita a destra o sinistra della parete stessa al fine di determinare con buona approssimazione l’eccentricità di azione dei carichi sulle stesse.



**Fig. 42.** Ripartizione dei carichi per aree di influenza al piano terreno secondo lo schema riportato nel volume “L’Edificio in Muratura” [Cap.4 pag.34]

Con PC.M 2000 si procede invece affidando alle pareti esterne gravate da scale o balconi o gronde, carichi distribuiti lineari aggiuntivi con la corrispondente eccentricità.

Ad esempio per la parete n° 7 (X11 nell’esempio del volume), interessata dal balcone, è stato considerato nei Dati Pareti un carico lineare distributivo aggiuntivo:

G.distr. = 600 kg/m, Q.distr. = 480 kg/m

determinati dai corrispondenti valori dei carichi superficiali (500 e 400 kg/mq per uno sbalzo di 1.20 metri di larghezza) con una eccentricità distribuita

Ecc.distr.= 5.8 cm (pari a  $t/6 = 35/6$  cm con  $t$ =spessore della parete. Relativamente alla convenzione del segno +/- , questa corrisponde alla posizione del carico: “+” a destra, e “-” a sinistra della parete secondo il verso di percorrenza - verso che ricordiamo essere parallelo all’asse principale di riferimento (cfr. fig.14, par.B.5.1., Vol. 2: “Manuale d’Uso”).

Per tener conto di una ripartizione conforme al metodo delle aree di influenza utilizzato dagli Autori dell’esempio, il solaio è stato qualificato come biDirezionale, affidando alle pareti parallele al senso di orditura un’aliquota di carico pari al 20%.

La ripartizione delle azioni sulle pareti comporterà alcune diversità rispetto all’esempio del volume “L’Edificio in Muratura” a causa della differente modellazione delle aree di carico; tali divergenze dovrebbero comunque essere contenute in scarti minimi.

L’altezza di calcolo di ogni parete è stata assunta pari a 2.70 m.

Non sono stati modellate le tramezzature interne (considerate come carico nei solai), mentre si è creato una parte fondale omettendo di fatto la presenza del piano seminterrato realizzato in c.a.

Analogamente non sono state considerate le strisce ed i sottofinestra.

### Analisi dei carichi.

Per quanto riguarda i carichi di superficie, sono stati assunti gli stessi valori dell'esempio citato ovvero:

- peso proprio muratura 1000 kg/mc (10000 N/mc)
- solaio (peso proprio + sovraccarico permanente + accidentale): 700 kg/mq (7000 N/mq)
- copertura (peso proprio + sovraccarico permanente + accidentale): 650 kg/mq (6500 N/mq)
- balconi e scale (peso proprio + sovraccarico permanente + accidentale): 900 kg/mq (9000 N/mq)
- vento in pressione: 50 kg/mq (500 N/mq); in depressione: 25 kg/mq (250 N/mq)

### Caratteristiche delle murature.

Come accennato, è stato utilizzato un blocco in laterizio alleggerito POROTON 800 che congiunto ad una malta di tipo M2 conduce ai seguenti valori:

- resistenza caratteristica a compressione: 53.0 kg/cm<sup>2</sup> (5.3 Mpa)
- resistenza caratteristica a taglio senza carichi verticali 2.0 kg/cm<sup>2</sup> (0.2 Mpa)
- modulo di elasticità normale  $E = 1000 \times 5.3 = 53000$  kg/cm<sup>2</sup> (5300 Mpa)
- modulo di elasticità tangenziale  $G = 0.4 \times 53000 = 21200$  kg/cm<sup>2</sup> (2120 Mpa)

### Risultati dell'Analisi Statica eseguita con PC.M 2000.

(in **grassetto blu** sono evidenziati i valori calcolati nel testo "L'Edificio in Muratura")

#### 1) Dimensionamento Semplificato.

L'edificio di nuova realizzazione risulta rispettare le prescrizioni del D.M. 20.11.1987 ovvero:

- a) E' costituito da due piani fuori terra
- b) Il rapporto tra lato minore e maggiore dell'edificio è pari a 0.85 ( > 0.33 )
- c) La snellezza massima delle pareti resistenti è pari a 9.0 ( < 12.0 )
- d) Le percentuali di area resistente rispetto la superficie totale in pianta dell'edificio secondo le due direzioni principali sono maggiori del 4% richiesto ovvero:

$A_x = 5.11\%$  (**5.11 %**)

$A_y = 4.11\%$  (**4.11 %**)

- e) La tensione di calcolo alla base del fabbricato depurata di un coefficiente 0.65 vale:

$\Sigma = 3.89$  kg/cm<sup>2</sup> (**3.79 kg/cm<sup>2</sup>**)

Il test di confronto sul Dimensionamento Semplificato si considera soddisfatto (scarto di PC.M rispetto all'esempio di riferimento: +2.6% sulla tensione di calcolo).

#### 2) Verifica Estesa.

L'edificio risulta essere verificato secondo tutti i metodi previsti dal Decreto Ministeriale 20.11.1987 (Verifiche a Compressione, Taglio, PressoFlessione).

A proposito dell'azione del Vento, si evidenzia come nella finestra "Parametri di Calcolo" e più in dettaglio nella Scheda "Parametri Vari (1)", "Per Azioni Orizzontali", sia stata attivata l'opzione di "Schema a Mensole Accoppiate", attraverso la quale alle pareti viene attribuita una componente flessionale di rigidezza pari a  $3EJ/h^3$ .

Si focalizzi l'attenzione sui risultati relativi alla parete n°7 del piano terreno di PC.M 2000, ubicata lungo la direzione principale X al vertice sinistro della pianta strutturale in alto, equivalente alla parete con sigla X11 dell'esempio di riferimento (vedi "L'Edificio in Muratura").

Le verifiche che riportiamo sono inerenti alla condizione di carico (permanenti + accidentale + vento) definita come n°1 in PC.M 2000.

**- Verifica a Compressione :**

Metodo	Ns kg	Nm kg	Mm kgm						
PC.M	14879	15682	114						
TESTO	15013	15817	77.5						
Scarto	-0.9%	-0.8%	+47%						

Metodo	e, acc cm	e, strutt cm	e, ventoel cm	e2 cm	fi, s -	fi, m -	s, s kg/cmq	s, m kg/cmq	s, amm
PC.M	1.35	0.66	0.73	2.01	1.73	0.73	0.76	3.40	3.47
TESTO	1.35	0.62	0.49	1.97	1.48	0.73	0.78	3.42	3.40
Scarto		+6%	+48%	+2%	+17%		-0.6%	+2%	

I valori degli sforzi normali agenti sulle pareti hanno lo stesso ordine di grandezza di quelli riportati nel testo oggetto di confronto; gli scarti, contenuti entro limiti accettabili, sono legati alla diversa modalità di ripartizione dei carichi. L'eccentricità strutturale può risentire di questo fatto, ed invero i valori sono leggermente diversi. Per quanto riguarda il momento in mezzeria Mm, il valore di 114 kgm viene giustificato in considerazione del fatto che si riferisce non alla lunghezza netta della parete (170 cm), bensì ad una lunghezza computata come somma della lunghezza della parete + metà della luce relativa all'apertura ad essa adiacente (in questo caso  $170 + 80 = 250$  cm). Nell'esempio del testo invece si fa riferimento ad un valore valutato come  $Mm = [(q_{\text{vento}} \times \text{base parete}) \times \text{altezza}^2] / 8 = [(50 \text{ kg/mq} \times 1.70 \text{ m}) \times 2.70^2] / 8 = 77.5 \text{ kgm}$ . Conseguentemente, anche il valore dell'eccentricità del vento "e,vento" risente di questa differenza.

Pur con le diversità di schematizzazione evidenziate, gli scarti tensionali sono minimi (massimo: +2%): questi risultati possono quindi far ritenere soddisfatto il test di confronto.

**- Verifica a PressoFlessione:**

Metodo	N kg	M kgm	e, tra cm	e, b cm	fi, tra -	fi, b -	s kg/cmq	s, amm kg/cmq
PC.M	16485	771	1.35	4.68	0.79	0.91	3.82	10.60
TESTO	16620	680	1.35	4.10	0.78	0.92	3.85	10.60
Scarto	-0.8%	+13%		+14%			-0.7%	

Il momento M e conseguentemente l'eccentricità e,b denotano scarti di un certo rilievo, da attribuirsi alla diversa procedura di calcolo seguita da PC.M 2000 per l'analisi strutturale globale sotto l'azione del vento.

Infatti, per la valutazione della forza orizzontale complanare, PC.M 2000 fa riferimento alla direzione di provenienza del vento cui corrisponde la massima azione sulla parete (non necessariamente coincidente con 0°), attraverso un procedimento di scansione angolare dell'azione vento a 180°.

In questo metodo, per una data direzione di provenienza del vento si considera la risultante determinata dall'azione della pressione e della depressione sulla proiezione dell'edificio nella direzione ortogonale.

La risultante viene poi scomposta fra le pareti resistenti in base alle rigidezze (vedi par. A.4.2.2., Vol.1, "La Teoria") e quindi, per ogni parete, il vento complanare è dato dalla componente complanare della forza su di essa agente.

I risultati tensionali evidenziano incrementi modesti legati appunto alla massimizzazione dell'azione del vento, che conducono la progettazione eseguita da PC.M 2000 a favore di sicurezza.

**- Verifica a Taglio:**

Dalla tabella riscontriamo uno scarto (si tratta anche in questo caso di un incremento) delle tensioni tangenziali dovute all'azione del vento sulla parete :

Metodo	N kg	T kg	Beta -	t kg/cmq	t, amm kg/cmq
PC.M	15682	193	1.00	0.03	0.61
TESTO	15814	170	1.00	0.028	0.62
Scarto	-0.83%	+14%		+7%	



Il diverso valore del taglio corrisponde alla massimizzazione dell'azione del vento sull'edificio, della quale si è già trattato. Anche in questo caso la verifica di test si considera soddisfatta.

L'ordine di grandezza dei risultati (tenute presenti le osservazioni fatte sulla ripartizione delle azioni statiche), in termini di sollecitazioni e di tensioni, è confrontabile anche per la parete n°18 di PC.M 2000 equivalente alla Y8 dell'esempio descritto in "L'Edificio in Muratura" posta lungo la direzione Y e oggetto anch'essa di verifica estesa: si mette in risalto che i valori della verifica a compressione denotano un valore dell'eccentricità strutturale sensibilmente inferiore in quanto in PC.M 2000 si suddivide il carico in una quota parte distribuita proveniente dal solaio e in una quota parte concentrata proveniente da elementi quali le travi.

L'eccentricità generata dalla distribuzione triangolare della reazione di appoggio, distribuita su tutto lo sviluppo della parete, viene considerata corrispondente solo al carico effettivamente distribuito lungo la parete; nel testo di riferimento, invece, l'eccentricità di appoggio del solaio è stata valutata considerando tutta l'area di carico comprendente anche la zona di influenza della trave.

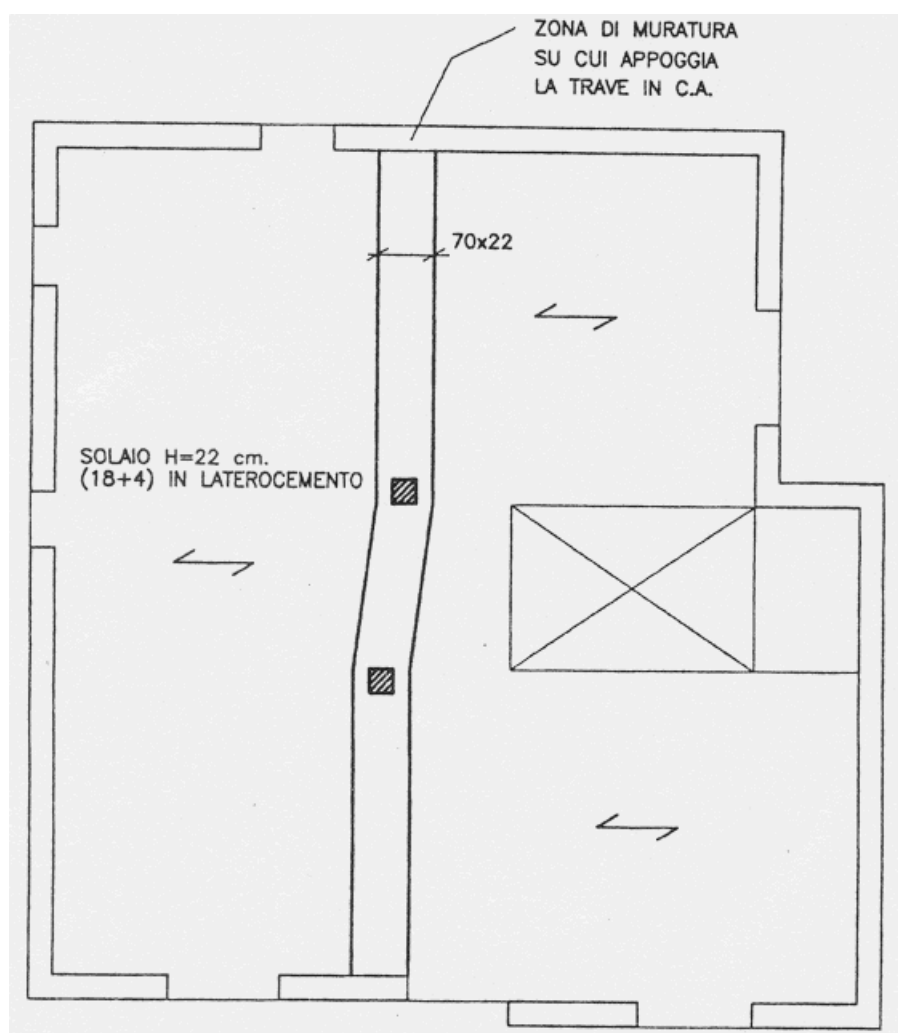
#### C.3.3. N-A-03: ESEMPIO DI STRUTTURA MISTA

Si tratta di un edificio realizzato in muratura Poroton, tratto da [3] (vd. Bibliografia nel Volume "La Teoria"), contenente all'interno dello schema statico due pilastri in c.a. La struttura portante è quindi mista in muratura e cemento armato.

Nel testo citato, l'edificio non è analizzato per la zona sismica: viene verificato, per zona non sismica, ai carichi verticali e all'azione del vento, nel rispetto del D.M. 20.11.1987.

In questa sede interessano, invece, entrambi i comportamenti statico e sismico.

L'edificio si sviluppa su due piani fuori terra (Piano Terreno = Piano 1 di calcolo; Piano Primo = Piano 2 di calcolo), con piante architettoniche molto simili fra loro. In fig. 43 si riporta la pianta architettonica del Piano Terreno.

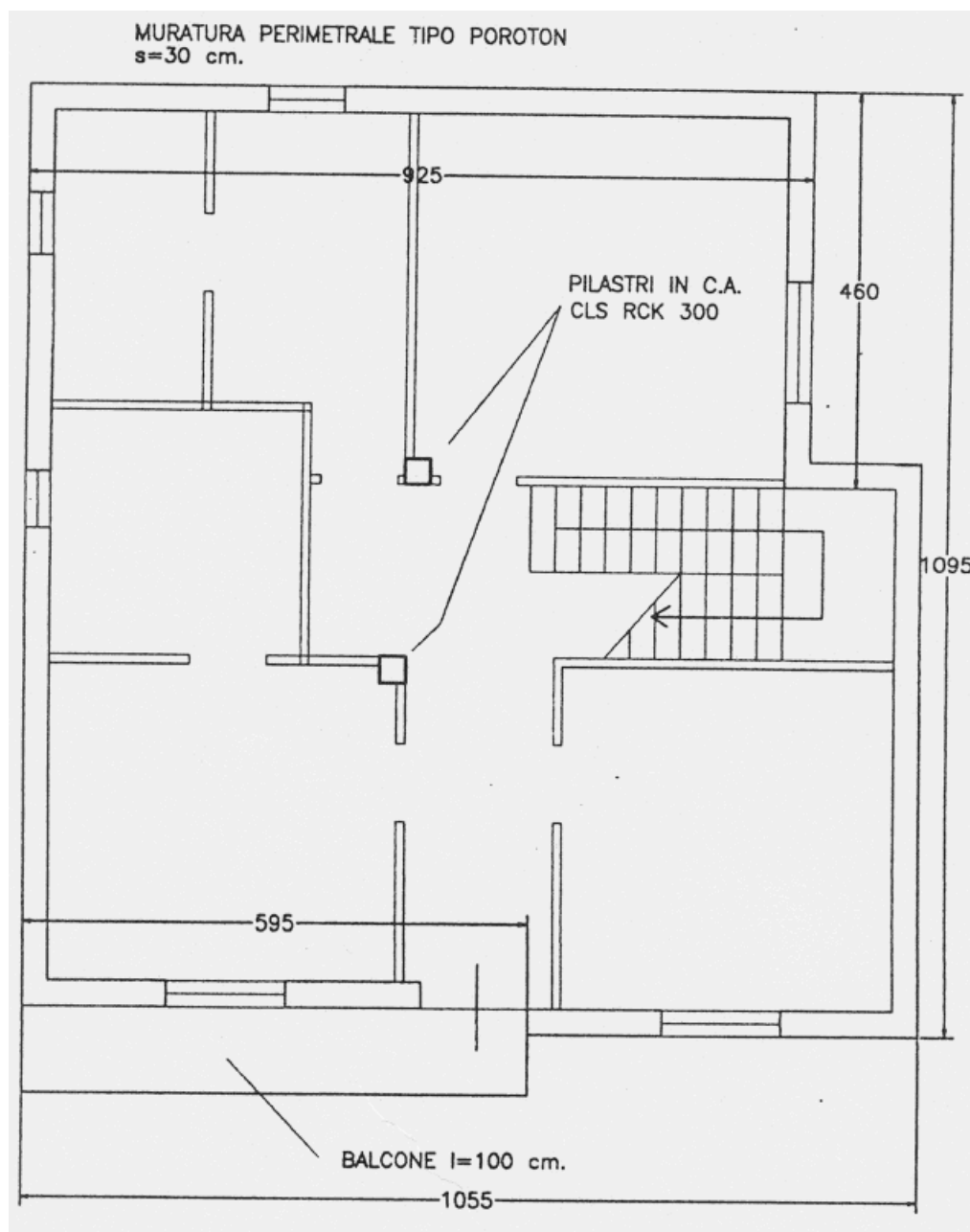


**Fig. 43.** *Pianta architettonica.*

Si nota la presenza del vano scale, e di un balcone che, a livello del solaio che copre il piano terreno, si imposta su due maschi murari (per una lunghezza di 595 cm.)

L'altezza di ognuno dei due piani è 3.00 m., e lo spessore del solaio è di 30 cm. Il solaio di sottotetto non è praticabile. Sulle strutture verticali (pareti in muratura e pilastri in c.a.) del Piano 2 (Piano Primo) si considerano agenti il carico del solaio di sottotetto e di quello della copertura.

Nella figura 44 è rappresentata la pianta strutturale, estratta dalla architettonica togliendo gli elementi di arredo ed evidenziando le effettive sole strutture portanti.



**Fig. 44.** *Pianta Strutturale.*

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche della muratura, si fa riferimento alla tabella standard dei materiali per edifici nuovi, dove il tipo di muratura: 4 rappresenta la muratura portante in Poroton Blok 30 antisismico.

\* Analisi dei carichi.

\* Solaio di piano ( $H=22\text{ cm}=18+4$ ) in laterocemento.

Peso proprio  $250\text{ kg/mq}$

Sovraccarico Permanente  $100\text{ kg/mq}$

Totale Carico Permanente 350 kg/mq

Carico Accidentale 200 kg/mq

I solaio di sottotetto e di copertura si presentano analoghi per quanto riguarda il carico permanente (250+100), mentre il carico accidentale viene assunto: nullo per il sottotetto, pari a 90 kg/mq per la copertura (neve).

Ne segue che sulle pareti del Piano Primo (Piano 2) agisce in pratica un carico permanente di 700 kg/mq, ed un accidentale di 90 kg/mq.

Balconi e rampe scale sono caratterizzati da carico permanente pari a 400 kg/mq, ed accidentale anch'esso pari a 400 kg/mq.

In P.C.M., per semplicità, prescindiamo dal carico delle scale, avendone comunque rappresentato l'area, nell'impalcato, col carico andante di solaio.

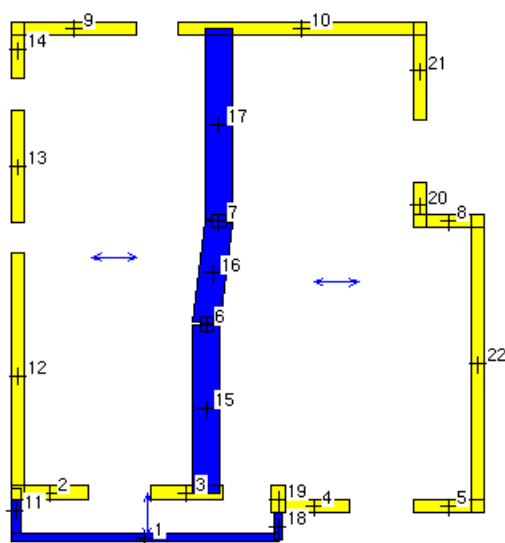
Alla gronda perimetrale a sbalzo si applica il carico andante in copertura.

\* Considerazioni varie.

a) Introduzione corretta dei pilastri in c.a.

Dalla tabella Dati Pareti, visualizzare graficamente il Piano 1.

Si può fare riferimento anche al disegno riportato in fig. 45.



**Fig. 45.** Pianta Piano 1 in P.C.M.

I pilastri in c.a. (elementi 6 e 7), a sezione quadrata, hanno allineamento X e sostengono travi disposte invece secondo Y: le maglie di solaio scaricano sulle travi, le quali a loro volta applicano il carico ai pilastri.

Si deve osservare che la sezione quadrata rende impossibile comprendere l'orientamento preferenziale del pilastro, ma in realtà che ai pilastri sia attribuito un verso X o Y non fa praticamente differenza: sono gli allineamenti di appartenenza delle travi (che su quei pilastri si impostano) a definire correttamente la maglia di solaio ed a garantire la corretta ripartizione dei carichi. Per questo è fondamentale, in caso di presenza di pilastri isolati in c.a., inserire anche le travi che delimitano le aree di carico.

b) Schematizzazione delle zone di appoggio delle travi in c.a. su sottostanti pareti in muratura (sedi di carichi concentrati dovuti alle reazioni vincolari).

Le porzioni di muratura su cui appoggia, ai vincoli estremi, la trave impostata sui pilastri in c.a. potrebbero essere in qualche modo evidenziate per interpretare la corretta ripartizione automatica dei carichi.

A tal fine, le pareti 11 e 14 potrebbero essere ‘spezzate’ (per esempio, utilizzando il comando Dividi del menu Edit della finestra Pareti) per delimitare le zone a tensione più elevata. In casi di tale tipo è anche opportuno, ai fini delle analisi ad azioni orizzontale, ripristinare la ‘continuità’ ri assemblando la rigidezza alla traslazione della parete spezzata in due o più parti (ed a tal fine è disponibile un apposito parametro di calcolo).

Il quadro statico delle Tensioni medie di Compressione (analisi a soli carichi verticali) è riportato in fig. 46. Oltre alle tensioni verticali (sulle pareti in muratura), sono rappresentati i carichi agenti N (su tutti gli elementi, pareti in muratura e pilastri in c.a.).

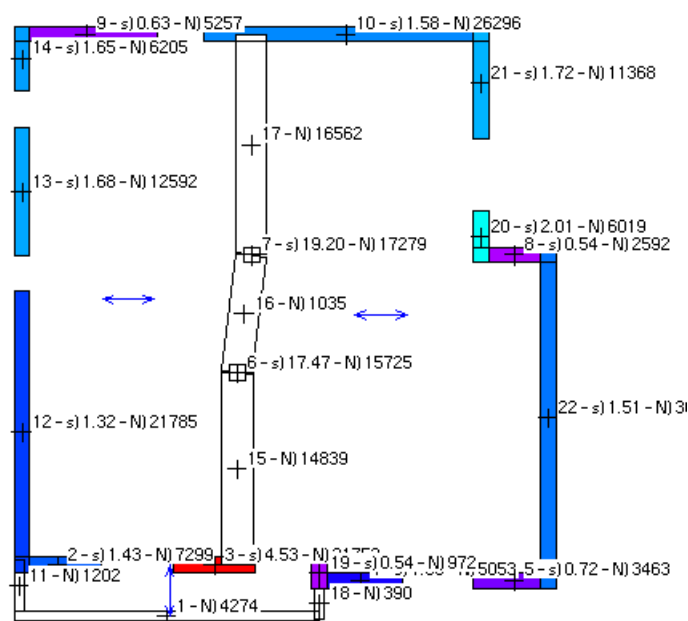
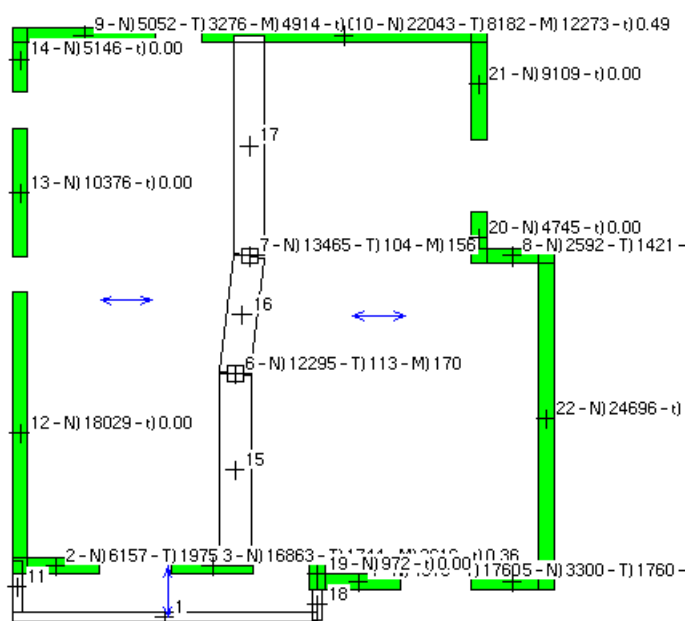


Fig. 46. Tensioni medie di Compressione al Piano 1.

c) Verifica dei pilastri in c.a. sotto l'azione sismica.

Il progetto risulta soddisfare le richieste di Normativa: l'analisi globale a Taglio, condotta secondo il D.M. 20.11.1987 presenta il coefficiente sismico  $C=0.120$  (equivalente al coefficiente di sicurezza  $1.72 > 1.00$ ). Per conoscere le sollecitazioni agenti sui pilastri in c.a., è sufficiente visualizzare nella finestra 2D il disegno dell'analisi globale sismica a taglio secondo il D.M. 20.11.1987.

Nella fig. 47 si riporta, in particolare, la verifica a taglio globale valutata in direzione X, al piano 1, per la Combinazione di Carico 2. Vi sono rappresentati i valori del momento generato dalla forza orizzontale e del carico verticale: utilizzando tali valori è possibile verificare i pilastri a pressoflessione, con i metodi propri delle sezioni in cemento armato.



**Fig. 47.** Analisi Sismica Globale a Taglio (D.M. 20.11.1987), direz. X, Comb.Carico 2, piano 1.

La forza orizzontale per le murature è ‘a rottura’. Per i pilastri, può essere lecito richiedere che rimangano comunque in campo elastico, e in tal senso possono essere verificati - con queste forze - alle tensioni ammissibili. Così operando, si determina l’armatura necessaria per il pilastro in cemento armato.

Ovviamente è stato preso in considerazione il contributo sismico degli elementi in c.a. Però, è opportuno - in accordo con la Normativa vigente - verificare le murature anche senza tale contributo, ed anche prescindendo dalla Rigidezza Trasversale delle pareti (entrambi i parametri sono attivabili o meno nei ‘Parametri Vari (1)’ della finestra ‘Parametri di Calcolo’). Rieseguendo allora il calcolo, si ottiene:  $C=0.113$ , leggermente in diminuzione (come era logico ipotizzare).

Le verifiche statiche a PressoFlessione e Taglio secondo il D.M. 20.11.1987 non sono, in ogni caso, soddisfatte: può accadere, infatti, che ciò si manifesti contemporaneamente, invece, a un’analisi sismica favorevole. Questa particolare situazione è segnalata anche nei suggerimenti dati sull’uso di PC.M nei capitoli conclusivi della parte “Manuale d’uso”.

Il comportamento statico dell’edificio in esame non può considerarsi soddisfacente: sarebbe opportuno reimpostare il progetto, almeno parzialmente, rafforzando in qualche modo l’organismo strutturale resistente, ad esempio attraverso la riduzione delle aperture in direzione X.

#### C.3.4. N-A-04: MURATURA IN LATERIZIO ALVEOLARE

Edificio Nuovo. Esempio rielaborato tratto dalla rivista “Murature Oggi”, n.54, Marzo 1997, schematizzato come (A).

**N-A-04-A-87** contiene la verifica sismica condotta secondo il D.M. 20.11.1987: la verifica a taglio non appare soddisfatta ( $C_{max}$  a taglio = 0.067, rispetto allo 0.070 richiesto).

**N-A-04-A-81** contiene la verifica secondo la Circ.21745 del 30.7.1981: la verifica sismica è soddisfatta ( $C_{max}$  a taglio - applicando il metodo Por: 0.111).

Qualche elemento non verificato risulta anche nelle Verifiche statiche a PressoFlessione secondo il D.M. 20.11.1987: modificando alcuni parametri (p.es.: spessore pareti, oppure inserire altre pareti murarie, ecc.), anche questa verifica dovrebbe giungere ad essere soddisfatta.

Inoltre, sono allegati l’esempio **N-A-04-B**, ottenuto considerando lo stesso edificio come nuovo ma con piano interrato in c.a.; **N-A-04-C**, ottenuto considerando l’edificio come esistente con l’ultimo piano ottenuto per

sopraelevazione in c.a.; infine, **N-A-04-D**, pensando l'edificio come esistente ma con una sopraelevazione in acciaio.

**C.3.5. N-A-05: MURATURA IN BLOCCHI DI CLS ALLEGGERITO**

Edificio nuovo in blocchi Leca di calcestruzzo alleggerito. Inserito in un complesso a schiera. Esempio rielaborato da [10] (vd. Bibliografia nel Volume “La Teoria”). Notare l'uso delle travi fittizie per schematizzare porzioni di solaio, corrispondenti alle strutture adiacenti lungo il complesso a schiera, che agiscono sull'unità resistente considerata.

Dal calcolo, si evidenziano alcune verifiche statiche secondo il D.M. 20.11.1987 non soddisfatte; si dovrebbero quindi apportare alcune variazioni progettuali.

**C.3.6. N-A-06: MURATURA IN BLOCCHI DI CLS ALLEGGERITO**

Edificio nuovo in blocchi Leca di calcestruzzo alleggerito, di 4 piani, isolato. Esempio rielaborato da [10] (vd. Bibliografia nel Volume “La Teoria”). Anche per questo edificio, notare l'uso delle ‘travi’ per la schematizzazione dei balconi e del vano scale.

Alla luce delle Verifiche Statiche del D.M. 20.11.1987, anche questo progetto dovrebbe essere parzialmente rivisto, ad esempio aumentando alcuni spessori.

## C.4. EDIFICI NUOVI IN MURATURA ORDINARIA: ESEMPI DI STUDIO E PROGETTAZIONE

## C.4.1. N-P-01

Si ringrazia l'Ing. Elisabetta Giugnoli, Colle di Val d'Elsa (SI).

L'edificio viene esaminato al paragrafo A.8.2., pagg. 245÷258, del Volume "La Teoria".

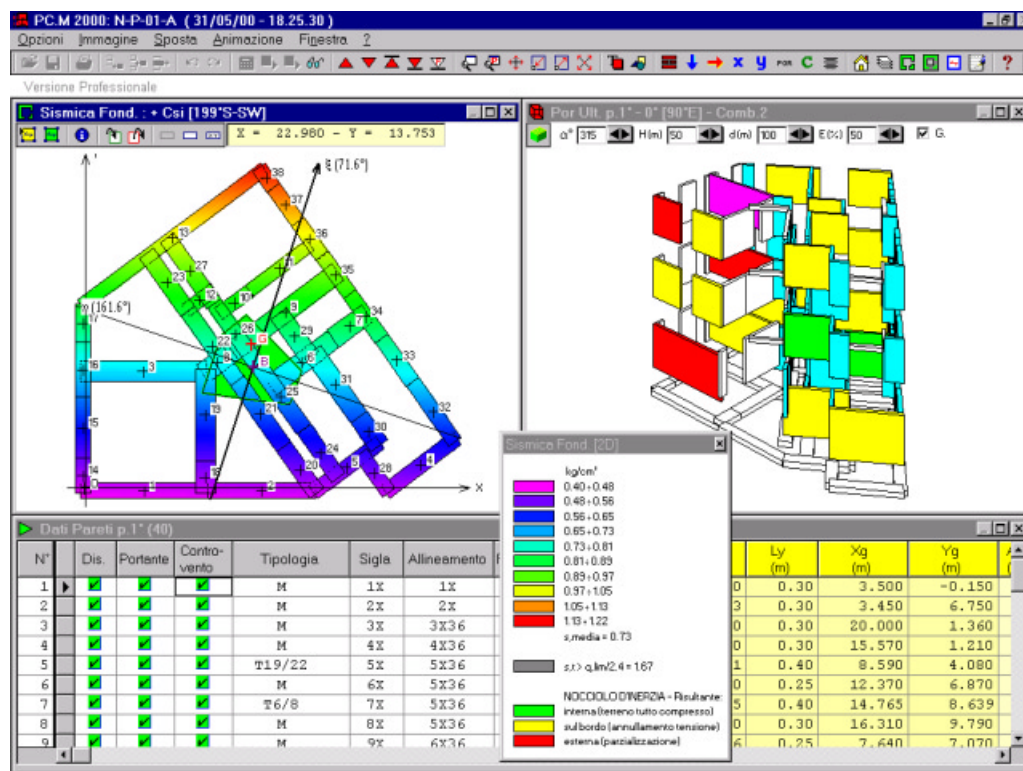


Fig. 48. Risultati sismici per le fondazioni, e per le pareti in elevazione col metodo Por.

I files corrispondenti sono:

**N-P-01-A.PCM** dove l'edificio è riferito ad un sistema globale XY inizialmente parallelo a una parte;

**N-P-01-B.PCM** dove l'edificio è riferito ad un altro sistema globale XY, parallelo ad un'altra parte, ruotato di 36° rispetto al precedente.

Il file di AutoCAD: **N-P-01.DWG** contiene i disegni esecutivi di progetto.

## C.4.2. N-P-02

Si ringrazia l'Ing. Pierfrancesco Zanchetta, Piasan di Prato (UD). L'edificio (non riportato nel Volume "La Teoria") è in muratura Poroton e si presenta piuttosto articolato, con alcuni telai (travi e pilastri) in cemento armato.

Mandando in esecuzione il file fornito, **N-P-02.PCM**, si rileva un buon risultato; per quanto riguarda il Metodo Por, questo appare di poco superiore al minimo richiesto dalla Normativa ( $C=0.076$ , ossia coefficiente di sicurezza 1.09).



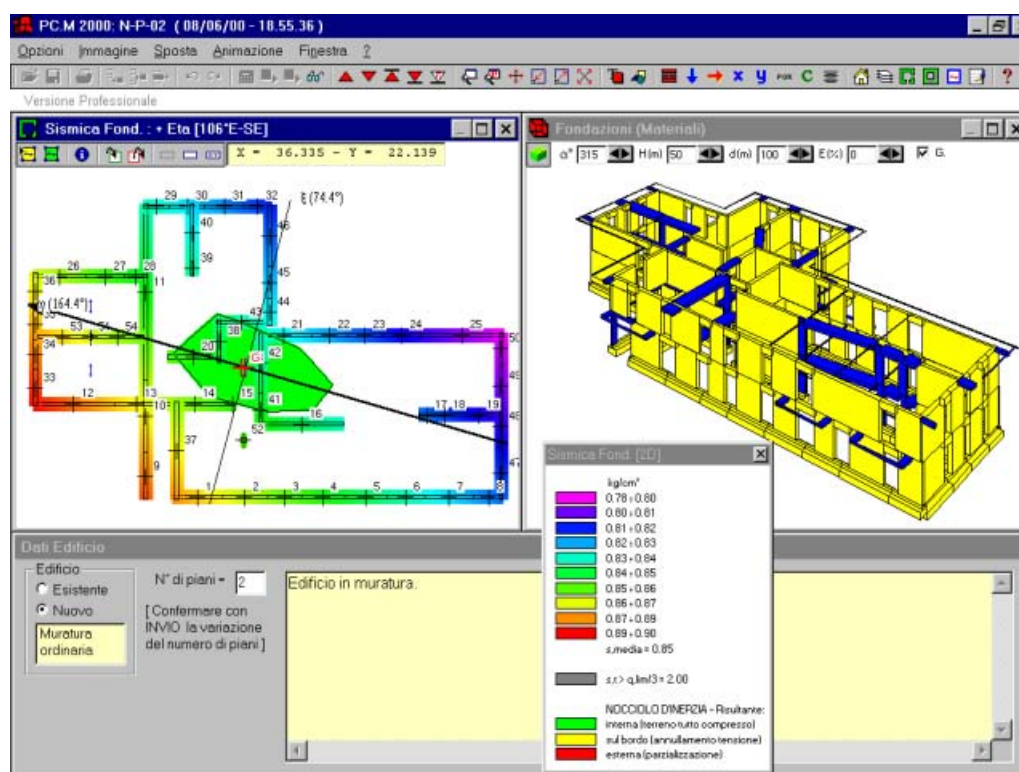


Fig. 49. Risultati sismici per le fondazioni, e modellazione 3D.

Consultando lo Stato Limite di Verifica del metodo Por in direzione Y, si scoprono alcuni coefficienti superiori ad 1.00, mentre per definizione di tale Stato Limite dovrebbero coincidere esattamente con 1.00.

Questo fatto evidenzia un comportamento numerico legato alla particolare configurazione della struttura. Il gioco delle eccentricità del baricentro rispetto al centro delle rigidezze (notevole per sisma Y: oltre 3.00 m) e della geometria in generale, porta a una forte sensibilità della risposta in termini di forze reattive per ogni piccolo incremento di spostamento del centro delle rigidezze (operazione iterativa nel corso del metodo Por).

PC.M adotta per default uno spostamento progressivo di 0.005 cm (5/100 di mm.), molto piccolo, ma talvolta - come in questo caso, in direzione Y - evidentemente insufficiente a determinare una 'crescita' più continua (e quindi 'a scalini' più piccoli) della forza reattiva.

Per cogliere l'effettivo Stato Limite di Verifica, occorre un incremento di spostamento pari a 1/100 di quello previsto (0.0005 mm). E' possibile effettuare questa prova selezionando il corrispondente parametro nella finestra delle proprietà 'Avanzate' dei 'Parametri di Calcolo'.

Adottando la scelta del passo più piccolo (5/1000 di mm), il risultato Por segnala il valore finale di  $C=0.069$ , cioè un coefficiente di sicurezza pari a 0.98: in pratica, questo valore può comunque essere considerato soddisfacente, a meno di errori di arrotondamento. Evidentemente, adottando un passo molto raffinato, si arriva a cogliere con una precisione eccezionale anche il momento del collasso.

E' bene osservare che l'utilizzo generalizzato di un passo molto piccolo porterebbe sia a un rallentamento del calcolo, e ad instabilità nel metodo PorFlex; per tale motivo, il PorFlex viene comunque eseguito per default con passo di 0.005 cm.

## C.5. EDIFICI NUOVI IN MURATURA ARMATA: ESEMPI DI APPRENDIMENTO

### C.5.1. A-A-01: VERIFICA SEMPLIFICATA

Files di riferimento:

**A-A-01.DWG:** preparazione del file per l'input, eseguita con AutoCAD LT®

**A-A-01.PCM:** file di archivio di PC.M 2000

Questo edificio in muratura armata si riferisce all'esempio riportato nel volume "Commentario al D.M. 16.1.1996 del Ministero LL.PP.", Ed. LAMISCO, Potenza, redatto dal Servizio Sismico Nazionale e dall'Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica (A.N.I.D.I.S.), coordinatore: Prof. Ing. Franco Braga, Cap. 6: "Edifici in muratura armata", autori: A.Borri e E.Speranzini, par. 6.4.

Viene condotta l'analisi sismica col metodo semplificato previsto dal D.M. 16.1.1996 ai punti C.5.1., C.5.2. e C.5.3.5.

Il fabbricato in oggetto, destinato a civile abitazione ed ubicato a Perugia, è costituito da due piani con copertura a padiglione; lo spessore dei muri è costante (25 cm.). Per le fondazioni, si ha uno spessore di 50 cm. e l'altezza dell'edificio dalla quota d'imposta fino alla falda è pari a 6.00 m.

Il materiale è muratura con una percentuale di foratura del 45% aventi le seguenti resistenze caratteristiche:

$f_{bk} = 100 \text{ kg/cmq}$ ,  $f'_{bk} = 20 \text{ kg/cmq}$ ,  $f_{tk} = 53 \text{ kg/cmq}$  avendo utilizzato malta M2

$f_{vko} = 2 \text{ kg/cmq}$

$E = 53000 \text{ kg/cmq}$ ,  $G = 21200 \text{ kg/cmq}$

Le tensioni ammissibili sono pari a:

$\sigma_{m} = f_{tk} / 5$ ,  $\tau_{m} = f_{vko} / 5$

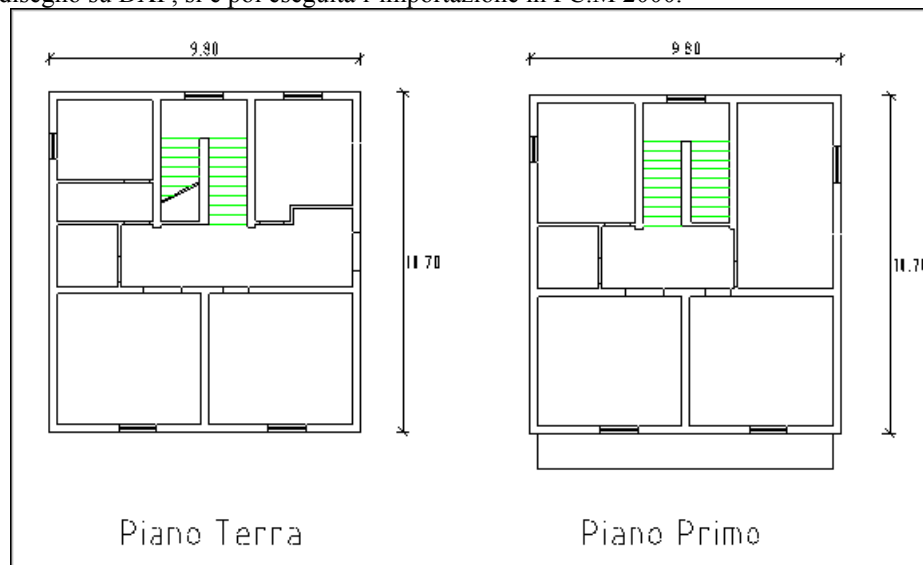
Le armature sono in acciaio FeB44k controllato ( $\sigma_{amm} = 2600 \text{ kg/cmq}$ ).

I solai sono in laterocemento ed hanno altezza 30 cm.

#### Caratteristiche della modellazione.

La modellazione della struttura è stata eseguita con input da file DXF. Utilizzando quindi le piante architettoniche dei piani terreno e primo, si è proceduto a realizzare con AutoCAD LT® un file di disegno (A-A-01.DWG) nel quale i layers denominati: PARETI01, PARETI02 contengono le polilinee atte a rappresentare le pareti resistenti della struttura.

Esportato il disegno su DXF, si è poi eseguita l'importazione in PC.M 2000.



**Fig. 50.** Piante architettoniche dei piani [tratta dal "Commentario", cap.6, pag.6.14]

All'interno di PC.M si è proceduto con la definizione delle maglie di solaio; allo scopo, si è fatto uso di travi in c.a. appositamente schematizzate come nel caso del balcone.

Ad ogni piano sono state definite maglie di solaio per la cui ripartizione dei carichi si è adottato lo schema biDirezionale, attribuendo una percentuale di carico del 20% alle pareti parallele all'orditura.

Le zone in aggetto della copertura ed il cordolo perimetrale in c.a. sono stati inseriti come carichi aggiuntivi distribuiti sulle pareti ed inseriti nel gruppo dei carichi direttamente in input nella tabella dei Dati Pareti.

Non stati invece schematizzati i tramezzi, comunque considerato nei carichi dei solai, e gli elementi di soprafinestra (strisce) e sottofinestra, assenti anche nel modello di riferimento.

Per gli incroci delle pareti, è stata tenuta in conto la presenza delle pareti ortogonali.

L'altezza di calcolo di ogni parete è assunta in 2.70 metri.

Per quanto riguarda l'analisi dei carichi sono stati assunti gli stessi valori dell'esempio al quale rimandiamo.

### Risultati dell'elaborazione di calcolo eseguita con PC.M 2000.

(In **grassetto blu** sono evidenziati i valori calcolati nel testo "Commentario")

#### - Dimensionamento Semplificato.

I risultati di PC.M 2000 sono ripresi dalla Relazione di Calcolo elaborata selezionando, nella finestra di dialogo 'Parametri di Stampa', le opzioni:

- Piani: Carichi Verticali e Orizzontali (Vento), nella scheda: 'Analisi Statica';

- Dimensionamento Semplificato (D.M. 16.1.1996), nella scheda: 'Analisi Sismica'.

L'edificio di nuova realizzazione risulta rispettare le prescrizioni del D.M. 16.1.1996 ed inoltre conduce a :

Metodo	A1x mq	A1y mq	A2x mq	A2y mq	N1tot kg	N2tot kg	A1tot mq	A2tot mq	sigma1 kg/cmq	sigma2 kg/cmq
PC.M	8.13	5.65	7.82	5.65	264038	128426	13.78	13.47	3.19	1.59
<b>TESTO</b>	<b>7.62</b>	<b>5.52</b>	<b>7.32</b>	<b>5.52</b>	<b>251010</b>	<b>126104</b>	<b>13.15</b>	<b>12.85</b>	<b>3.18</b>	<b>1.64</b>
Scarto	+6.6%	+2.3%	+6.8%	+2.3%	+5.2%	+1.8%	+4.7%	+4.8%	+0.3%	-3%

Il calcolo evidenzia scarti minimi, praticamente trascurabili, sulle tensioni medie.

Scarti un poco più evidenti si hanno invece per le aree resistenti e per i carichi totali di piano.

Per quanto riguarda le aree, l'aver considerato la partecipazione delle pareti ortogonali agli incroci d'angolo incrementa di fatto la quota parte resistente nelle due direzioni di verifica; tale incremento non è comunque significativo ed in ogni caso PC.M 2000 può condurre a risultati più affinati, avendo cura di schematizzare gli incroci d'angolo in modo da non creare zone 'sovrapposte' (vd. fig. 19, schema (d), par. B.5.2.1., Vol.2: "Manuale d'uso").

Riguardo ai carichi di piano, le discordanze dipendono da una diversa schematizzazione delle aree di carico, ad esempio per le maglie di solaio (che in PC.M 2000 vengono estese sino al piano medio delle pareti su cui si impostano). Gli scarti, in aumento, operano a favore di sicurezza.

### C.5.2. A-A-02: VERIFICA ESTESA (TEST)

Files di riferimento:

**A-A-02.DWG:** preparazione del file per l'input, eseguita con AutoCAD LT®

**A-A-02.PCM:** file di archivio di PC.M 2000

Questo edificio in muratura armata si riferisce ad un esempio riportato nel "Commentario al D.M. 16.1.1996 del Ministero LL.PP.", al par. 6.4.2., sviluppato ai fini dell'esecuzione della Verifica sismica Estesa.

In pratica, l'edificio 'semplice' dell'esempio precedente NEW002 è stato modificato in modo tale da non rispettare più tutte le regole semplificate, e quindi si rende necessaria un'analisi dettagliata del comportamento sismico delle strutture.

Il fabbricato in oggetto, destinato a civile abitazione ed ubicato a Perugia, è costituito da due piani con copertura a padiglione; lo spessore dei muri è costante (30 cm.). Per le fondazioni, si ha uno spessore di 50 cm. e l'altezza dell'edificio dalla quota d'imposta fino alla falda è pari a 6.00 m.

Il materiale è muratura con una percentuale di foratura del 45% aventi le seguenti resistenze caratteristiche:

$f_{bk} = 100 \text{ kg/cmq}$ ,  $f'_{bk} = 20 \text{ kg/cmq}$ ,  $f_{k} = 53 \text{ kg/cmq}$  avendo utilizzato malta M2

$f_{vko} = 2 \text{ kg/cmq}$

$E = 53000 \text{ kg/cmq}$ ,  $G = 21200 \text{ kg/cmq}$

Le tensioni ammissibili sono pari a:

$\sigma_{m} = f_{k} / 5$ ,  $\tau_{m} = f_{vk} / 5$

Le armature sono in acciaio FeB44k controllato ( $\sigma_{amm} = 2600 \text{ kg/cmq}$ ).

I solai sono in laterocemento ed hanno altezza 30 cm.

La muratura armata prevede la messa in opera dei minimi quantitativi di armatura  $2\phi 16$  alle estremità di ogni pannello murario con copriferro di 12.5 cm.

### Caratteristiche della modellazione.

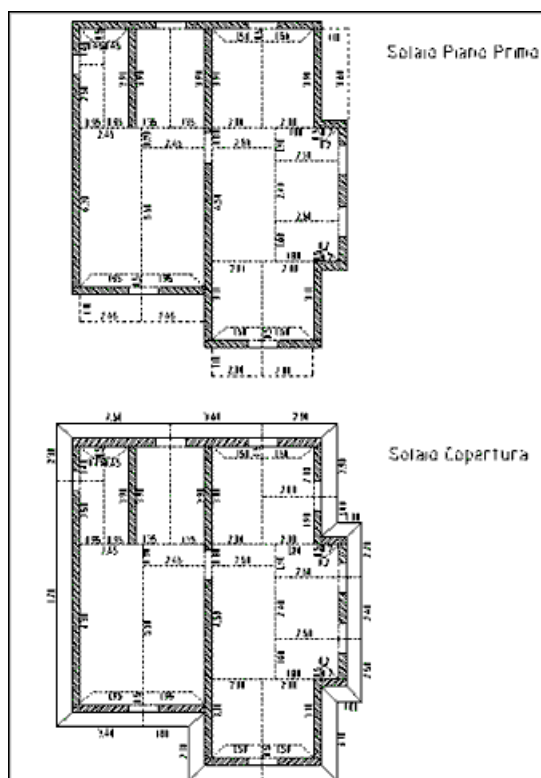
La modellazione della struttura è stata eseguita con input da file DXF. Utilizzando quindi le piante architettoniche dei piani terreno e primo, si è proceduto a realizzare con AutoCAD LT® un file di disegno (A-A-02.DWG) nel quale i layers denominati: PARETI01, PARETI02 contengono le polilinee atte a rappresentare le pareti resistenti della struttura.

Utilizzando travi in cemento armato (di piccolo spessore) si sono modellati i balconi, in modo da considerare tali aree di carico come maglie di solaio.

Esportato il disegno su DXF, si è poi eseguita l'importazione in PC.M 2000.

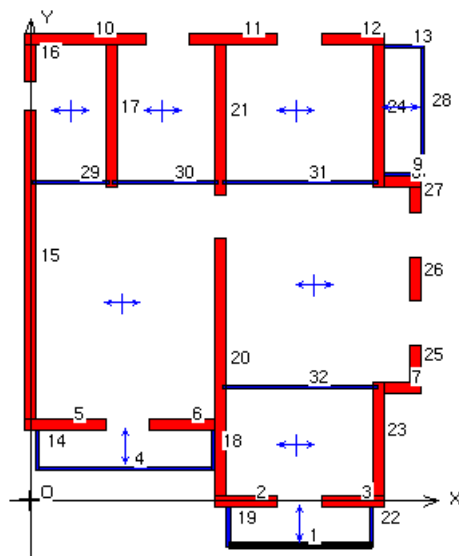


Fig. 51. Piante architettoniche dei piani, tratte da "Commentario [Cap.6 pag. 22]



**Fig. 52.** Ripartizione dei carichi per aree di influenza al piano terreno, tratta da “Commentario [Cap.6 pag. 25]

Ad ognuno dei due piani sono state definite tre maglie di solaio, di cui due rappresentano le aree di carico vere e proprie ed una il “perimetro di piano” atto a definire il contorno murario dell’edificio, allo scopo sia di individuare le pareti ‘esterne’ soggette a vento normale, sia di determinare l’area d’impalcato.



**Fig. 53.** Modellazione in PC.M 2000: pianta piano terreno.

La determinazione dei carichi assume un ruolo fondamentale nell'analisi della struttura. Nell'esempio del volume "Commentario" ad ogni parete viene affidata un'area di influenza competente ai vari solai (o balconi, scale, gronde).

In PC.M 2000, mentre per i balconi si è scelto di schematizzare aree di solaio, in modo da automatizzarne l'attribuzione del carico sulle pareti, per quanto riguarda le gronde sono stati inseriti dei carichi permanenti distribuiti aggiuntivi definiti dal loro peso proprio ( $0.30 \times 0.30 \times 2500 = 225 \text{ kg/ml}$ ); ai carichi distribuiti inseriti direttamente nei Dati Pareti è stata attribuita l'eccentricità corrispondente al diagramma triangolare di appoggio del carico dei solai ( $1/6$  dello spessore = 5 cm.).

Per tener conto di una ripartizione conforme al metodo delle aree di influenza utilizzato dagli Autori dell'esempio, il solaio è stato qualificato come biDirezionale, affidando alle pareti parallele al senso di orditura un'aliquota di carico pari al 20%.

La ripartizione delle azioni sulle pareti comporterà alcune diversità rispetto all'esempio del volume "Commentario" a causa della differente modellazione delle aree di carico; tali divergenze dovrebbero comunque essere contenute in scarti minimi.

L'altezza di calcolo di ogni parete è stata assunta pari a 2.70 m.

Non sono stati modellate le tramezzature interne (considerate come carico nei solai).

Analogamente non sono state considerate le strisce ed i sottofinestra.

### **Risultati dell'elaborazione di calcolo eseguita con PC.M 2000.**

(In **grassetto blu** sono evidenziati i valori calcolati nel testo "Commentario")

#### **1) Dimensionamento Semplificato.**

L'analisi condotta con PC.M 2000 evidenzierà un Dimensionamento Semplificato soddisfatto: ciò non è in contraddizione con l'esempio di riferimento, perché le condizioni controllate automaticamente da PC.M sono le seguenti: A, E, E', L, L' (dal punto C.5.2. del D.M. 16.1.1996, modificate secondo il punto C.5.3.5. per la Muratura Armata):

**A)** la pianta dell'edificio sia inscritta in un rettangolo con rapporti fra lato minore e lato maggiore non inferiore a  $1/3$ ; ciò è verificato, ma si potrebbe obiettare che la forma non è rettangolare e quindi non è il più possibile compatta e simmetrica rispetto ai due assi ortogonali di riferimento;

**E)** la distanza massima fra lo spicco delle fondazioni e l'intradosso del primo solaio o fra due solai successivi non superi m.7;

**E')** la snellezza dei setti murari sia inferiore a 14;

**L)** l'area della sezione di muratura resistente alle azioni orizzontali, espressa in percentuale rispetto alla superficie totale in pianta dei piani dell'edificio, sia non inferiore ad una percentuale di riferimento ottenuta dalla Tabella 4a o 4b, p. C.5.2., dipendente dalla natura della muratura (artificiale, in blocchi pieni o semipieni, o naturale squadrata) e dalla zona sismica; detta percentuale è compresa fra il 3.5% e il 5.5% (nel caso in esame: S=9, edificio a due piani, percentuale di riferimento: 3.5% a ognuno dei due piani);

**L')**  $\sigma_{\text{mur}} = N / (0.60 A) \leq \sigma_{\text{amm}}$

in cui:

N = carico verticale relativo al piano in esame;

A = area totale dei muri portanti allo stesso piano;

$\sigma_{\text{amm}}$ : tensione base ammissibile della muratura, come definita al punto 2.4.1. del D.M. 20.11.1987.

Oltre a queste condizioni, ve ne sono altre che devono necessariamente essere soddisfatte per qualificare l'edificio come 'verificato sismicamente secondo le regole semplificate': tra queste, in particolare, non è rispettata la condizione B) inerente l'interasse tra i muri maestri, in alcune parti superiore a 7 m.

PC.M 2000 evidenzia in Relazione di Calcolo (avendo selezionato l'opzione 'Descrizione Metodi' nella scheda 'Introduzioni') che affinché il Dimensionamento Semplificato possa essere considerato definitivo per l'analisi sismica dell'edificio occorre che tutte le condizioni del punto C.5.2. siano soddisfatte, invitando quindi l'Utente ad eseguire un controllo accurato.

## 2) Verifica estesa.

Per quanto riguarda il comportamento strutturale delle pareti murarie armate, si evidenzia come nella finestra "Parametri di Calcolo" e più in dettaglio nella Scheda "Parametri Vari (1)", "Per Azioni Orizzontali", sia stata attivata l'opzione di "Schema a Mensole Accoppiate", attraverso la quale alle pareti viene attribuita una componente flessionale di rigidezza pari a  $3EJ/h^3$ .

Si focalizzi l'attenzione sui risultati relativi alle pareti n°26 e 12 del piano terreno di PC.M 2000, equivalenti rispettivamente alle pareti X9 e Y3 dell'esempio di riferimento (vedi "Commentario").

Le verifiche che riportiamo sono inerenti alla condizione di carico (permanenti + accidentale) definita come n°1 in PC.M 2000.

### - Carichi e Forze Sismiche:

Metodo	W1 kg	W2 kg	Fs1 kg	Fs2 kg
PC.M	137042	102123	10084	15029
TESTO	125520	101798	9103.2	14766
Scarto	+9.1%	+0.3%	+10.7%	+1.8%

### - Verifiche a PressoFlessione e a Taglio:

#### Parete n° 12 (Y3):

Metodo	N kg	M kgm	T kg	e cm	y cm	s kg/cmq	s, amm kg/cmq	t kg/cmq	t, amm kg/cmq
PC.M	6714	8424	1757	125	57.0	9.8	21.2	0.34/0.91	0.98/1.27
TESTO	6336	7890	1630	124.5	76.5	6.4	21.2	-/0.71	-/1.22
Scarto	-6%	+7%	+8%	-	-25%	+53%	-	+28%	+4%

La tensione tangenziale viene riportata nelle due ipotesi di Sezione interamente reagente a taglio e di Sezione parzializzata. Nel caso di parzializzazione, la tensione verticale media con la quale si valuta la resistenza a taglio e la tensione tangenziale sono calcolate sulla sola zona reagente a compressione della sezione muraria trasversale. PC.M 2000 consente in tal senso di operare la scelta desiderata, attraverso i 'Parametri di Calcolo', scheda 'Parametri Vari (1)', 'Per Verifiche a Taglio: D.M. 20.11.1987 / Muratura Armata'.

Nell'esempio di riferimento, i valori sono calcolati su sezioni parzializzate.

Ovviamente, alcune pareti possono non parzializzarsi: ad esempio, l'edificio in oggetto ha nella direzione Y una resistenza maggiore rispetto ad X, e tale che la parzializzazione delle sezioni dovuta a sisma Y è praticamente nulla (osservare graficamente i risultati, in PC.M 2000, scegliendo - dopo il calcolo - dalla finestra di dialogo 'Tipo di disegno' le 'Verifiche a PressoFlessione per Muratura Armata'). La parete 26 si trova in una situazione di questo tipo, risulta cioè interamente compressa.

#### Parete n° 26 (X9):

Metodo	N kg	M kgm	T kg	e cm	y cm	s kg/cmq	s, amm kg/cmq	t kg/cmq	t, amm kg/cmq
PC.M	10449	1178	246	11.2	120	4.1	21.2	0.07	1.23
TESTO	9376	1436	283	153	120	4.6	21.2	0.08	1.24
Scarto	+11%	-18%	-13%	-27%	-	-12%	-	-12.5%	-0.8%

Le divergenze tra il calcolo condotto con PC.M 2000 e l'esempio di riferimento possono apparire di un certo rilievo; tuttavia, nell'ottica delle diverse modalità di attribuzione e ripartizione dei carichi, i risultati tensionali si possono considerare sostanzialmente in accordo.

E' infine importante osservare che l'utilizzo di un programma di calcolo come PC.M 2000 consente di esaminare agevolmente i risultati di tutte le pareti, per più configurazioni di carico e parametrizzazioni di calcolo. Si può così rilevare, ad esempio, che eseguendo l'analisi prescindendo dalla parzializzazione, tutte le verifiche sono soddisfatte; invece, adottando l'ipotesi di condurre la Verifica a Taglio solo sulla zona reagente a compressione, alcune pareti superano i limiti ammissibili, mentre le Verifiche a PressoFlessione sono comunque soddisfatte.

In un caso del genere, come consigliato anche nel “Commentario”, occorre procedere migliorando la struttura, ad esempio aumentando l’area dell’armatura (tale che aumenti l’area della sezione reagente) oppure cambiando le caratteristiche geometriche delle pareti murarie (tale che aumenti l’area delle pareti), e quindi rieseguendo il calcolo per accertare se la verifica sismica estesa sia soddisfatta o meno.

L’edificio A-A-02, verificato tenendo completamente conto della parzializzazione delle sezioni, evidenzia problemi a taglio nelle pareti 5,10,11 a piano terra e 7 a piano primo.

Facendo alcune prove, la parete 7 al piano 2 viene verificata utilizzando ad esempio 4 $\phi$ 20 anziché 2 $\phi$ 16; per le pareti a piano terra la verifica è più difficile da soddisfare e probabilmente risulterebbe più opportuno variare qualche parametro geometrico (si potrebbe, fra l’altro, aumentare un po’ la muratura resistente in direzione X, agendo magari su altre pareti o inserendone di nuove).

In alternativa, è possibile disporre armature trasversali a taglio; si consulti il paragrafo A.8.3., pag.. 259, del Volume “La Teoria”.

### **C.5.3. A-A-03**

Il file A-A-03 è tratto dall’esempio A-A-02, avendo apportato le opportune variazioni riguardanti il tipo di materiale utilizzato.

In particolare, viene fatto riferimento al “Lecablocco B30 Sismico”, le cui caratteristiche fondamentali meccaniche e fisiche sono assunte pari a:

$f_{bk} = 50 \text{ kg/cm}^2$

$f'_{bk} = 30 \text{ kg/cm}^2$

peso specifico = 1150 kg/mc

I risultati, similmente all’esempio A-A-02, indicano una completa soddisfazione della verifica estesa qualora si prescindano dalla parzializzazione delle sezioni trasversali per la verifica a taglio. Per convalidare l’adozione di tale ipotesi, particolare cura deve essere rivolta al posizionamento dell’armatura orizzontale, in grado, come noto, di migliorare la resistenza a taglio delle pareti.

Nella Tabella Materiali predisposta da PC.M per gli edifici nuovi, sono riportate le diverse tipologie consentite dall’uso dei blocchi MA.CE.VI. I valori dei parametri adottati possono comunque essere variati, qualora vengano forniti valori aggiornati dalla Ditta produttrice; è inoltre sempre possibile aggiungere un qualunque nuovo tipo di materiale, e quindi ampliare la Tabella Materiali con nuove tipologie di blocchi.



## C.6. EDIFICI NUOVI IN MURATURA ARMATA: ESEMPI DI STUDIO E PROGETTAZIONE

## C.6.1. A-P-01

Si ringrazia la Ditta MA.CE.VI., Arezzo.

L'edificio viene esaminato al paragrafo A.8.3., pagg. 259÷269, del Volume "La Teoria".

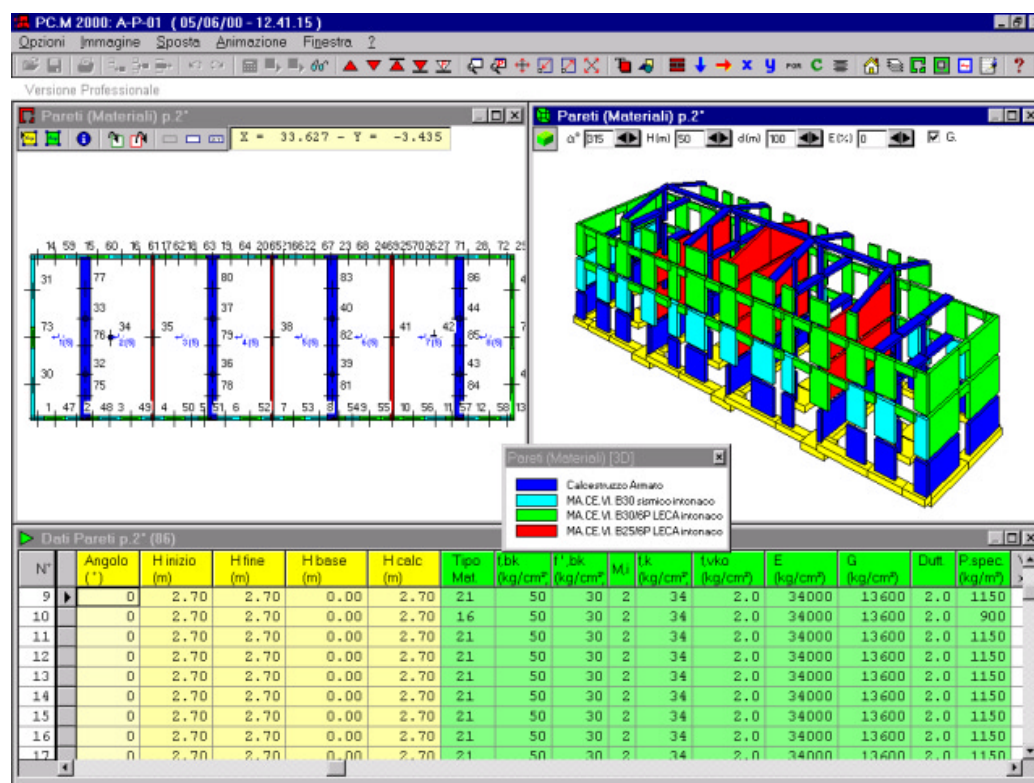


Fig. 54. Dati delle pareti. Sono utilizzati il c.a. e tre tipi di blocchi per muratura armata.

Il file corrispondente è: **A-P-01.PCM**.

Il file di AutoCAD: **A-P-01.DWG** contiene i disegni esecutivi di progetto.

## C.6.2. A-P-02

Si ringrazia la MA.CE.VI., Arezzo. L'edificio (non riportato nel Volume "La Teoria") è in muratura MA.CE.VI. (blocchi in calcestruzzo alleggerito) e si presenta semplice, e pur tuttavia interessante in quanto tipologicamente idoneo per una realizzazione con muratura armata (villetta singola).

Eseguendo il calcolo con il file fornito, **A-P-02.PCM**, si rileva un ottimo risultato, che, a dir la verità, definisce ben verificata la struttura anche se realizzata in muratura ordinaria.

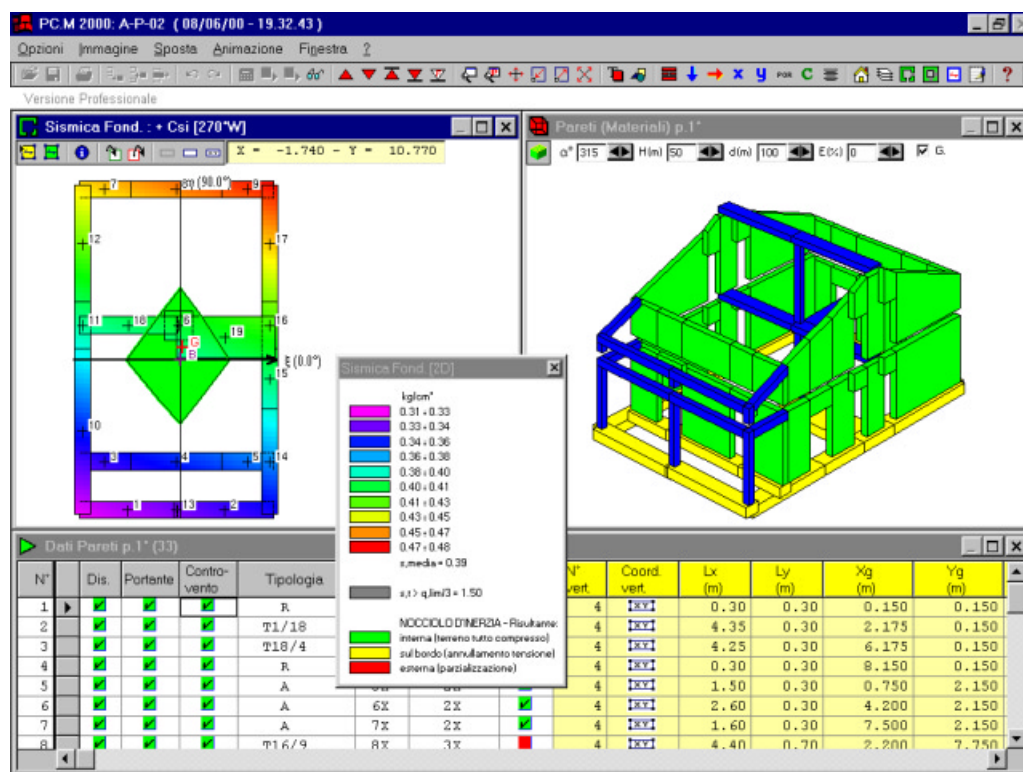


Fig. 55. Risultati sismici per le fondazioni, e modellazione 3D.

La muratura armata, peraltro, è una tecnica costruttiva relativamente recente, che ha le sue ragioni di essere non solo nel miglioramento del comportamento sismico del fabbricato, ma anche in generale nella migliore prestazione statica della struttura (ad esempio, nei confronti di cedimenti del terreno, di deformazioni differenziate o di forti sollecitazioni localizzate).

## D. APPENDICE

### D.1. STRUTTURA DELLE DIRECTORY DI PC.M

PC.M 2000 viene obbligatoriamente installato nella directory **C:\PCM2000**

Le sottodirectory sono le seguenti:

**\EDIFICI** = contiene gli archivi Utente di PC.M, ossia i files dei progetti personali. Ogni edificio viene archiviato con estensione .PCM (dati), e qualora siano stati eseguiti calcoli coerenti con tali dati presenta anche i files di elaborazione .AST (analisi statica), .ASM (analisi sismica).

**\ES-APPRENDI** = contiene gli esempi di apprendimento forniti in dotazione a PC.M.

**\ES-PROGETTI** = contiene gli esempi di studio e progettazione forniti in dotazione a PC.M.

**\OUTPUT** = contiene files di output, grafici (BMP, RTF) e di testo (TXT, RTF). Per ogni edificio, tali files - se generati - risiedono nella sottodirectory: **\NomeEdificio**.

**\SERVIZIO** = sottodirectory di servizio dove sono archiviati files temporanei ad uso interno di PC.M. Questa sottodirectory si presenta vuota, fuori dalle sessioni di lavoro con PC.M.

**\MANUALI** = sottodirectory contenente i files dei Manuali in formato PDF per Adobe Acrobat Reader®.

**\FILES** = sottodirectory contenente numerosi files di riferimento per PC.M, fra cui:

**DEFAULT.PCM** = edificio anonimo di default, automaticamente predisposto da PC.M;

**\*.RTF, \*.TXT** = files ad uso degli output su disegni e relazioni di calcolo;

**\*.ICO, \*.BMP** = icone ed immagini utilizzate da PC.M;

**\*.TAB, \*.STD** = tabelle materiali e tipo solai;


**ACCIAIO.DAT** = contiene le caratteristiche dei profili HE e L in acciaio, per pilastri eventualmente definiti nei Dati Pareti;

**SIMBOLZIP** = contiene files grafici in formato DWG relativi ai simboli per gli interventi di ristrutturazione e consolidamento, raggruppati in 6 schede in formato A4.


### D.2. TASTI DI SCELTA RAPIDA


Tutti i comandi dei menu possono essere scelti utilizzando la tastiera: premere ALT + la lettera sottolineata nel nome del menu, quindi premere la lettera sottolineata nel nome del comando. A lato del tasto di scelta rapida, si riporta la corrispondente icona della barra degli strumenti (ove disponibile).

#### *Help:*


**F1** = Guida di PC.M 


#### *Spostamenti fra piani:*

**F5** = Piano Inferiore 

**F6** = Piano Superiore 


**F4** = Fondazioni 


**MAIUSC + F5** = Piano 1 

**MAIUSC + F6** = Ultimo Piano 





#### *Analisi:*

**F7** = Esegui Analisi Statica 



**F8** = Esegui Analisi Sismica 

**F11** = Parametri di Calcolo (finestra Edificio) 






**Grafica:**

**F9** = Alterna le direzioni X Y (oppure: +Csi, -Csi)   
**CTRL + F9** = Alterna il verso in una data direzione  
**F11** = Parametri di Disegno (finestre Grafiche 2D e 3D)   
**F12** = Tipo di Disegno   
**CTRL + L** = Legenda   
**CTRL + C** = Copia negli Appunti (immagine 2D o 3D)





**Gestione Edifici:**

**CTRL + F12** = Apri   
**MAIUSC + F12** = Salva   
**CTRL + Q** = Esci

**Finestre Dati:**

**CTRL + E** = Finestra Edificio (principale)   
**CTRL + N** = Finestra Piani   
**CTRL + P** = Finestra Pareti   
**CTRL + F** = Finestra Fondazioni   
**CTRL + S** = Finestra Solai 


**Per l'input nelle tabelle:**

**CTRL + Z** = Annulla   
**CTRL + A** = Aggiungi   
**CTRL + I** = Inserisci   
**CTRL + X** = Taglia  
**CTRL + C** = Copia  
**CTRL + V** = Incolla  
**CTRL + Y** = Elimina   
**CTRL + U** = Unifica Colonna

**nelle griglie dati:**

**F2** = Attiva l'editazione nella cella

**Altre finestre:**

**CTRL + T** = Tabella Materiali  
**CTRL + O** = Tabella Solai  
**CTRL + F2** = Grafica 2D  
**CTRL + F3** = Grafica 3D  
**CTRL + R** = Relazione 

### D.3. CARATTERISTICHE OPERATIVE DI PC.M

PC.M è un ambiente operativo completo per la progettazione degli edifici in muratura nuovi ed esistenti.

E' possibile utilizzare il software per un'ampia casistica di tipologie di edifici.

Nell'uso, si devono tenere presenti alcune limitazioni, che potranno essere superate nelle versioni di aggiornamento, insieme all'implementazione di nuove funzionalità:

- le sezioni trasversali delle travi inserite nello schema statico dell'edificio non sono verificate; le travi svolgono unicamente la funzione di elementi ripartitori del carico di solaio. PC.M fornisce comunque il carico risultante dall'analisi dei carichi sulla trave, che può essere a parte utilizzato per una verifica della trave stessa;
- le volte a crociera devono essere ricondotte a volte a padiglione;
- non vengono eseguite verifiche particolari per elementi in cemento armato o acciaio, travi di fondazione incluse, dei quali il programma si limita a fornire le sollecitazioni agenti;
- per quanto riguarda gli elementi strutturali secondari, vengono eseguite solo alcune verifiche (ancoraggio dei tiranti) e non altre (archi, solai, carichi concentrati per appoggio travi, architravature, cerchiature); per le verifiche locali è possibile utilizzare altri programmi di calcolo, fra cui i seguenti software della AEDES:  
**AC.M** per l'analisi delle aperture e cerchiature in murature portanti,  
**SLC** per il calcolo dei solai misti in legno e calcestruzzo,  
**SAV** per l'analisi della stabilità di archi e volte in muratura;
- per la muratura armata, l'armatura viene considerata simmetrica; non è possibile utilizzare più di un tipo di diametro dei tondini per ogni parete; l'acciaio è assunto per default del tipo FeB44K controllato (tensione ammissibile pari a 2600 kg/cmq).

### D.4. UNITA' DI MISURA

Le unità di misura adottate da PC.M sono: metri per le lunghezze, e kg (Sistema Tecnico) per le forze.

Le unità del Sistema Tecnico sono progressivamente sostituite da quelle del Sistema Internazionale, come da direttive del Consiglio delle Comunità europee n.76/770/CEE del 17 luglio 1976.

Nella relazione tra i due sistemi:

1 kg (chilogrammo-forza) = 9.81 N (Newton)

per le grandezze relative ai calcoli elaborati in PC.M, conformemente alla Normativa vigente (vd. D.M. 20.11.1987), il coefficiente 9.81 viene arrotondato a 10 per ragioni di carattere pratico.

In tal modo, risultano le seguenti equivalenze:

**Forze:** 1 kg = 1 daN (decaNewton); 1 t = 10 kN; 1 N = 0.1 kg

**Momenti:** 1 kg\*cm = 1 daN\*cm; 1 kg\*m = 1 daN\*m; 1 t\*m = 10 kN\*m

**Tensioni e Pressioni:** 1 kg/cmq = 0.1 MPa (1 MPa = 1N/mmq ; 1 Pa = 1 N/mq) =  
 = 1 daN/cm<sup>2</sup> = 10 N/cm<sup>2</sup> ;  
 10 t/mq = 1 kg/cmq = 10 N/cm<sup>2</sup>.

Ad esempio:

5 N/mm<sup>2</sup> = 5 MPa = 50 kg/cmq

Nel caso che l'utente voglia adeguare la Relazione di Calcolo prodotta da PC.M al Sistema Internazionale, è sufficiente sostituire (**kg**) con (**daN**).

---

PC.M 2000 (c) 1997-2001 AEDES Software per Ingegneria Civile s.a.s.

## **PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI IN MURATURA**

### **E. SISTEMA ESPERTO 315**

#### **E.1. LA TEORIA 315**

- E.1.1. ANALISI E OTTIMIZZAZIONE DEI PROGETTI 315
- E.1.2. DETERMINAZIONE DELLA MIGLIORE STRATEGIA DI INTERVENTO 316
- E.1.3. IL CRITERIO DI SCELTA DEL MIGLIOR INTERVENTO 319
- E.1.4. STRATEGIA DI INTERVENTO E CALCOLO COMBINATORIO 321
- E.1.5. GENERALIZZAZIONE DEL METODO 323

#### **E.2. MANUALE D'USO 325**

- E.2.1. GENERALITÀ 325
- E.2.2. PROPOSTE DI INTERVENTO 327
  - E.2.2.1. PARAMETRI GLOBALI 327
    - E.2.2.1.1. MASSE DI PIANO: FASCE MEDIE 328
    - E.2.2.1.2. SEZIONE DI CALCOLO PER VERIFICHE A TAGLIO: A METÀ ALTEZZA 329
    - E.2.2.1.3. MOLTIPLICATORE 1.0 PER TAGLIO ULTIMO (anziché 0.9) 329
    - E.2.2.1.4. STATO LIMITE ULTIMO OLTRE IL COLLASSO DELLA PRIMA PARETE 329
    - E.2.2.1.5. CONTRIBUTO RIGIDEZZA TRASVERSALE 329
    - E.2.2.1.6. CONTRIBUTO ELEMENTI IN C.A.-ACCIAIO 330
    - E.2.2.1.7. PRESSOFLESSIONE COMPLANARE: PARZIALMENTE REAGENTE A TRAZIONE 330
    - E.2.2.1.8. PRESSOFLESSIONE COMPLANARE: LIMITAZIONE ALLE PARETI SNELLE 330
    - E.2.2.1.9. PIANI RIGIDI 331
    - E.2.2.1.10. TRASCURABILITÀ DELLA PRESSOFLESSIONE COMPLANARE 331
    - E.2.2.1.11. SOLAI BIDIREZIONALI (20%) 331
  - E.2.2.2. INTERVENTI SU PARETI 331
    - E.2.2.2.1. INCREMENTO DI SPESSORE 334
    - E.2.2.2.2. INCREMENTO DI  $\tau_k$  (RESISTENZA CARATTERISTICA A TAGLIO) 334
    - E.2.2.2.3. INIEZIONI 334
    - E.2.2.2.4. INTONACO ARMATO 335
    - E.2.2.2.5. INCREMENTO DI DUTTILITÀ 335
    - E.2.2.2.6. PRECOMPRESSIONE ORIZZONTALE 335
    - E.2.2.2.7. PRECOMPRESSIONE VERTICALE 335
    - E.2.2.2.8. INCREMENTO DI "x" (denominatore di  $qh^2/x$ , momento per az. ortogonali) 336
    - E.2.2.2.9. VARIAZIONE DELL'ALTEZZA DI CALCOLO  $H_{calc}$  336
- E.2.3. ESECUZIONE DELL'ANALISI 336
- E.2.4. RISULTATI DELL'ANALISI 339
- E.2.5. SUGGERIMENTI OPERATIVI 342

#### **E.3. ESEMPI APPLICATIVI 343**

- E.3.1. CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI ESISTENTI 343
  - E.3.1.1. **X-E-01**: ESEMPIO DI APPRENDIMENTO 343
  - E.3.1.2. **X-E-02** 349
  - E.3.1.3. **X-E-03** 352
- E.3.2. PROGETTAZIONE OTTIMIZZATA DI NUOVI EDIFICI 355
  - E.3.2.1. **X-N-01** 355

## E. SISTEMA ESPERTO

### E.1. LA TEORIA

#### E.1.1. ANALISI E OTTIMIZZAZIONE DEI PROGETTI

L'analisi strutturale dell'edificio in muratura consiste in pratica nel definirne i coefficienti di sicurezza, in termini di rapporto fra capacità resistente e forze esterne agenti.

Per quanto riguarda l'analisi sismica, è noto che devono essere presi in considerazione i tre possibili meccanismi di collasso: azioni ortogonali (verifiche a pressoflessione); azioni complanari (verifiche a taglio e a pressoflessione); crisi dei collegamenti (verifica a ribaltamento), oltre ovviamente ad assicurare che la verifica delle fondazioni ed eventuali altre verifiche di elementi secondari siano soddisfatte.

Per ognuno dei tre meccanismi, si definiscono i coefficienti sismici "C" intesi come soglia oltre la quale la verifica, secondo quel meccanismo, non è più soddisfatta sotto l'azione sismica competente al "C".

Più in dettaglio, si definiscono:

C,1 = coefficiente sismico per azioni complanari;

C,2 = coefficiente sismico per azioni ortogonali;

C,3 = coefficiente sismico a ribaltamento.

Distinguiamo i due casi di edifici nuovi (a), ed edifici esistenti (b).

(a) Per gli edifici nuovi, la crisi dei collegamenti è automaticamente impedita dalle modalità costruttive dell'edificio stesso, che dovrà ovviamente rispettare integralmente la Normativa vigente sulle nuove costruzioni in muratura; C,3 può quindi essere in tal caso ignorato. La configurazione strutturale dell'edificio dovrà assicurare che C,1 e C,2 siano non inferiori al valore di C richiesto dalla Normativa (ad esempio,  $C=0.070$  per le zone sismiche di seconda categoria). Se il progetto non presenta questi requisiti, occorre modificarlo fino alla completa soddisfazione delle verifiche richieste.

(b) Per gli edifici esistenti, anzitutto viene analizzato lo Stato Attuale (o Stato di Fatto), in modo da fissare il punto di partenza rispetto al quale sarà conseguito il miglioramento o l'adeguamento attraverso lo Stato di Progetto (o Stato Modificato). In generale, analizzando lo Stato Attuale potrà aversi che uno o più dei tre coefficienti suddetti sia inferiore al limite richiesto.

Il caso in cui C,3 sia inferiore al C richiesto può essere affrontato inserendo forze stabilizzanti (tiri) a livello degli impalcati, in corrispondenza delle murature sottoposte alla verifica a ribaltamento (in PC.M, in corrispondenza dei cosiddetti "Setti"). Anche con valori bassi dei "tiri", si riesce facilmente ad aumentare il valore di C,3. Questo tipo di intervento, quindi, è di comprensione rapida e non richiede studi approfonditi per il suo dimensionamento. Più complessi sono i casi dei coefficienti C,1 e C,2, poiché essi dipendono dalla configurazione strutturale dell'edificio nel suo insieme (ciò vale soprattutto per le verifiche globali del C,1, ma sotto alcuni aspetti anche per quelle locali del C,2). Pertanto, non appare immediata l'individuazione degli interventi da eseguire per raggiungere la resistenza richiesta.

Il metodo di Analisi e Ottimizzazione dei Progetti che sarà descritto ai paragrafi seguenti può essere applicato sia al caso (a), al fine di una migliore impostazione della nuova struttura, sia al caso (b), con lo scopo di definire le linee d'intervento. In particolare, l'applicazione del metodo al consolidamento degli edifici esistenti può fornire indicazioni molto utili per la redazione dello Stato di Progetto.

Secondo il metodo che verrà esposto, all'inizio l'utente propone una serie di possibili interventi strutturali per il rafforzamento delle murature; successivamente, un procedimento automatico basato su un criterio oggettivo provvede a definire la successione più conveniente secondo cui organizzare l'esecuzione degli interventi proposti, al fine di ottenere il massimo miglioramento col minimo numero di interventi.

Si tratta in pratica di un tentativo di sfruttare la potenza di calcolo del computer per confrontare tra loro tutte le possibili soluzioni proposte dall'utente scegliendo la via ottimale.

Lo scopo dell'analisi della strategia di intervento non è di definire compiutamente tutti gli aspetti dello Stato di Progetto, bensì quello di indicare le linee organizzative secondo cui impostarlo. Ne segue che il passo successivo consiste nel redigere effettivamente lo Stato di Progetto in base alle indicazioni ricavate, per poi sottoporlo a tutti i tipi di verifiche possibili. Il Sistema Esperto di PC.M provvede, al termine dell'analisi, all'archiviazione e al calcolo della struttura contenente tutti gli interventi previsti.

I tipi di intervento che il Sistema Esperto può considerare nello studio dell'ottimizzazione del progetto sono divisi in due tipi: globali e sulle pareti. Ogni tipo di intervento comporta una variazione nella schematizzazione strutturale (ad esempio, in un parametro di calcolo o in un dato riguardante una certa parete); il Sistema Esperto, attraverso l'analisi contemporanea delle conseguenze sul risultato di tutti gli interventi proposti, potrà organizzare gli interventi stessi secondo una linea ottimale.

Nella parte applicativa (Manuale d'Uso, paragrafo E.2.2.) saranno descritti in dettaglio tutti i tipi di intervento previsti.

Qui di seguito viene descritta l'impostazione teorica.

### **E.1.2. DETERMINAZIONE DELLA MIGLIORE STRATEGIA DI INTERVENTO**

Lo studio di un intervento di adeguamento sismico di un edificio parte dalla constatazione che i coefficienti di sicurezza, ottenuti in sede di verifica dello Stato Attuale, non raggiungono i minimi valori ammissibili secondo Normativa; in altre parole, i coefficienti sismici sostenibili dall'edificio sono inferiori ai valori richiesti. E' necessario il rafforzamento strutturale delle pareti murarie, operazione che può condursi mediante varie tecniche, al fine di giungere ad uno Stato di Progetto in regola con le disposizioni legislative vigenti.

Per fissare le idee, l'esposizione sarà riferita al caso dei piani rigidi, dove le pareti sviluppano la resistenza alle azioni sismiche interagendo tra loro in base alle proprie caratteristiche e alla posizione reciproca; inoltre, si farà riferimento ad interventi specifici sulle pareti. Successivamente, la procedura sarà estesa al caso dei piani deformabili e a tipologie di intervento globali, che riguardano cioè la schematizzazione dell'edificio nel suo complesso.

La procedura che appare più naturale ed immediata è quella dei **tentativi successivi**.

Vengono scelte dall'operatore alcune pareti, secondo un certo criterio.

Ad esempio, nel caso del Metodo Por possono essere quelle che allo Stato Limite Ultimo si trovano al collasso, oppure le pareti che hanno minore rigidezza, o anche le pareti il cui irrobustimento dovrebbe condurre - secondo semplici valutazioni geometriche - ad un avvicinamento del centro delle rigidezze al baricentro in modo da limitare gli effetti torsionali.

Comunque siano scelte, su ognuna di queste pareti si pensa di eseguire un preciso tipo di intervento, incrementandone corrispondentemente i parametri di resistenza e di duttilità; dopodiché si manda in esecuzione il programma (elaborazione statica e sismica) per accertare se la nuova configurazione soddisfa le verifiche di sicurezza.

Un tale modo di procedere risulta però insoddisfacente.

Anzitutto, niente assicura a priori che intervenendo su un numero 'k' di pareti secondo i criteri suddetti si ottenga il miglioramento sperato, o comunque il massimo miglioramento conseguibile con quel numero 'k' di interventi; applicazioni pratiche confermano questo fatto.

Inoltre, alcuni casi possono essere talmente complessi da rendere davvero difficile una scelta a priori delle zone ove intervenire.



Così, i tentativi di irrobustimento delle pareti si susseguono, applicando più volte le elaborazioni di calcolo su configurazioni sempre più rafforzate, fino a centrare in qualche modo l'obiettivo, cioè fino a raggiungere il desiderato margine di sicurezza.

Il numero di tentativi può diventare alto ed i tentativi stessi possono apparire tra loro sordinati, con conseguenti incertezze sulle effettive decisioni da prendere e perdita di tempo.

Si impone quindi un'analisi più approfondita della questione, al fine di determinare una **procedura oggettivamente valida**.

Si può affermare che il problema fondamentale consiste nell'**ottimizzazione degli interventi**, ovvero nell'ottenere il massimo miglioramento statico con il minimo numero di interventi.

Si presenta dunque uno di quei problemi che richiedono di decidere, fra molte strategie possibili per raggiungere un determinato scopo, quella più conveniente, tenendo conto di eventuali condizioni al contorno limitative (vincoli).

Il modello matematico del piano di un edificio in muratura è composto, com'è noto, da 'n' pareti, ognuna delle quali è caratterizzata da alcuni parametri fondamentali relativi alla geometria, ai materiali ed ai carichi. I risultati dell'elaborazione di calcolo, in termini di coefficienti sismici  $C_1$  e  $C_2$ , sono funzione di tutte queste variabili indipendenti:

$$(1) \quad (C_1, C_2) = f(\text{geometria, materiali, carichi} - \text{delle 'n' pareti})$$

Un intervento di consolidamento viene matematicamente equiparato ad una corrispondente variazione sui parametri rappresentativi della parete; ad esempio, l'iniezione cementizia di una parete si traduce in un incremento del valore di alcuni parametri descrittivi del materiale: resistenza a taglio, a compressione e a trazione, duttilità.

Ogni intervento, quindi, rivisto come variazione su una o più variabili descrittive di una o più pareti, comporta una variazione sui risultati.

Il problema di ottimizzazione consiste nel determinare la 'migliore' soluzione, ossia il gruppo ottimale di variazioni (una o più) riguardanti una o più pareti: i corrispondenti interventi saranno in grado di assicurare il raggiungimento del limite di sicurezza richiesto.

Supponiamo ad esempio di voler fare un unico intervento di iniezioni oppure di intonaco armato: il problema consiste nel determinare quale tipologia di intervento tra le due e su quale parete esso debba essere condotto in modo che il risultato sia il migliore possibile in termini di raggiungimento della sicurezza. Ciò non significa necessariamente scegliere l'intervento più 'pesante': infatti, può essere più conveniente un intervento più leggero se esso comunque garantisce il conseguimento dei valori desiderati.

A causa di vari motivi, è impossibile inquadrare questo problema negli schemi algoritmici dell'ottimizzazione vincolata:

- la funzione  $f$  è definita su un insieme di punti isolati (per esempio, la resistenza a taglio del materiale non può 'variare con continuità', ma potrà assumere solo precisi valori corrispondenti a specifici interventi);
- $f$  non ha una forma analitica, ma dipende da procedimenti di calcolo non lineari e/o iterativi;
- i coefficienti  $C_1$  e  $C_2$  risultano dai minimi valori dei coefficienti competenti a più elaborazioni, dovute a:
  - diverse combinazioni di carico,
  - diverse direzioni di input sismico (si fa in genere riferimento alle due direzioni tra loro ortogonali X e Y),
  - diverse schematizzazioni sul comportamento strutturale ( $C_1$  deriva dal Taglio e dalla PressoFlessione considerate separatamente, seppur facenti capo alla stessa ripartizione del tagliante sismico).

Per risolvere questo problema di ottimizzazione occorre quindi ricercare un altro metodo capace di fornire al

tecnico una guida agli interventi che sia efficace e, al tempo stesso, concettualmente ed operativamente semplice.

E' stata così messa a punto una generazione automatica della migliore strategia d'intervento che può essere riassunta nel seguente algoritmo.

1. Dato l'edificio da consolidare, si esegue l'analisi sismica. I coefficienti  $C_{1,1}$  e  $C_{2,2}$  risultano maggiori o uguali rispetto ai valori minimi imposti dalla Normativa?
2. Se Sì, la verifica è soddisfatta: STOP. Se No, proseguire con lo studio degli interventi di consolidamento.
3. Viene indicato il numero totale 'm' di pareti su cui si ritiene possibile un intervento; viene specificato quali sono queste pareti e per ognuna di esse viene descritto il tipo di intervento previsto. Per una data parete è possibile indicare uno o più tipi di intervento.
4. Viene rieseguita l'elaborazione sismica sulla configurazione variata a causa di questi interventi, considerati effettuati ad uno ad uno.
5. Per ognuna di queste configurazioni vengono determinati i risultati in termini di coefficienti sismici  $C_{1,1}$  e  $C_{2,2}$ .
6. Mediante un opportuno **criterio di scelta del miglior intervento** si pone l'intervento così determinato come effettuato. Il numero degli interventi effettuati è pari al numero totale di interventi possibili?
7. Se Sì, il procedimento è terminato: STOP. Risulta così determinata la successione secondo cui ordinare gli interventi proposti, e sono noti i corrispondenti valori, via via in aumento, dei coefficienti sismici  $C_{1,1}$  e  $C_{2,2}$ . Se No, si diminuisce di uno il numero degli interventi ancora in gioco per effettuare la scelta del migliore, e si riprende dal punto 4.

L'elaborazione sismica viene eseguita al massimo un numero di volte pari a:

$$(2) \quad m + (m-1) + (m-2) + \dots + 1 = \sum_{i=1}^m i = m(m+1) / 2$$

Evidentemente la fase più importante di questa procedura è quella descritta al punto 4. dell'algoritmo. Si tratta quindi di precisare il criterio di scelta del miglior intervento, e di questo ci occuperemo nel seguito.

Prima di procedere oltre, riteniamo utile esemplificare la metodologia illustrata.

Si faccia riferimento ad un edificio posto in zona sismica di IIa categoria, per l'adeguamento del quale è necessario conseguire il valore 0.070 per i coefficienti sismici  $C_{1,1}$  e  $C_{2,2}$ ; si faccia in particolare riferimento al coefficiente  $C_{1,1}$ . Allo Stato Attuale (configurazione iniziale di riferimento), si abbia  $C_{1,1x} = 0.061$  e  $C_{1,1y} = 0.064$ , essendo  $C_{1,1x}$  il minimo valore di  $C_{1,1}$  in direzione X e  $C_{1,1y}$  il minimo in direzione Y ('minimo' fra tutti i piani dell'edificio, considerando - per le verifiche a taglio e a pressoflessione complanare - tutte le combinazioni di carico previste dalla Normativa vigente). Per semplicità, si consideri un piano soltanto, formato da 25 pareti.

$$C_{1,1x} = 0.061 - C_{1,1y} = 0.064$$

Si rende necessario l'adeguamento dell'edificio. A questo punto, l'operatore indica un numero totale di pareti su cui è possibile intervenire ed associa, ad ogni parete, individuata con il proprio numero, il tipo d'intervento previsto. Per esempio, può decidere di procedere sulle seguenti 7 pareti, prevedendo per tutte un intervento di 'intonaco armato' (il cui significato, in termini di miglioramento di resistenza e duttilità è noto):

---

N° intervento	N° parete
1	3
2	5
3	7
4	9
5	14
6	16
7	18

L'operatore è attivo perché esclude interventi su alcune pareti (ad esempio le 1,2,4,6,8,10,...) in quanto per diversi motivi li ritiene inutili o non praticabili.

La metodologia di scelta degli interventi permette di stabilire su quali pareti conviene successivamente operare, fornendo una sequenza ordinata sulla base del criterio di scelta adottato.

A priori, infatti, non è possibile sapere se, volendo fare un intervento, convenga operare sulla parete 5 piuttosto che sulla 14, e così via.

Supponiamo, dall'applicazione del metodo, che risulti conveniente condurre il primo intervento sulla parete 9: resteranno poi le altre 6 pareti, fra le quali sarà scelta quella su cui converrà praticare un secondo intervento, e così via. Verranno quindi via via fissati gli interventi scelti. I due coefficienti  $C_{1x}$  e  $C_{1y}$  risultano, intervento dopo intervento, in aumento; quando avranno raggiunto entrambi il valore 0.070 si saranno ottenute le indicazioni sul numero e sul tipo di interventi strettamente necessari per adeguare sismicamente la struttura muraria, e ad essi potrà essere limitato l'intervento globale di consolidamento.

Ad esempio, nel caso considerato, può darsi che dopo essere stati posizionati 4 dei possibili interventi previsti, i coefficienti non siano più inferiori a 0.070: lo studio può ritenersi allora concluso; eventuali altri interventi avrebbero l'effetto di aumentare ulteriormente il margine di sicurezza.

A questo punto risulta ben evidente come tutta la procedura si basi sul criterio di scelta adottato.

### E.1.3. IL CRITERIO DI SCELTA DEL MIGLIOR INTERVENTO

Per fissare le idee, riprendiamo l'esempio fatto e supponiamo di dover scegliere il primo intervento.

Per ognuno dei 7 possibili interventi, si manda in esecuzione l'elaborazione sismica ottenendo un valore per  $C_{1x}$  ed un valore per  $C_{1y}$ .

Basandosi su tali coefficienti, deve essere scelto il migliore intervento.

Incolonniamo i valori dei  $C$  corrispondenti ai vari interventi:

1	$C_{1x_1}$	$C_{1y_1}$
2	$C_{1x_2}$	$C_{1y_2}$
...	...	...
i	$C_{1x_i}$	$C_{1y_i}$
...	...	...
6	$C_{1x_6}$	$C_{1y_6}$
7	$C_{1x_7}$	$C_{1y_7}$

Il criterio che appare più naturale per la scelta è quello di massimizzare la somma dei due  $C_{1y}$  ottenuta riga per riga.

Definendo cioè:

$$(3) \quad \Sigma_i = C_{1x_i} + C_{1y_i}$$

viene scelto l'intervento cui corrisponde  $(\Sigma_i)_{\max}$ .

Questo criterio può essere giustificato dall'opportunità di ottenere il massimo aumento possibile dei coefficienti sismici, valutati "assieme" tramite la somma.

In realtà, esso si dimostra insoddisfacente perché può dar luogo ad uno squilibrio di resistenza dell'edificio secondo le due diverse direzioni di riferimento, cioè ad una eccessiva differenza tra  $C,1x$  e  $C,1y$ .

Per chiarire questo fatto, supponiamo di ottenere i seguenti valori dei coefficienti corrispondenti ai 7 interventi proposti nell'esempio considerato:

	$C,1x$	$C,1y$	$\Sigma$
1	0.044	0.064	0.108
2	0.041	0.049	0.090
3	0.029	0.067	0.096
4	0.044	0.048	0.092
5	0.049	0.061	0.110
6	0.043	0.049	0.092
7	0.042	0.069	0.111

Si osservi che questi valori dei coefficienti  $C$  sono del tutto casuali; essi hanno il solo scopo di illustrare i ragionamenti svolti.

Il criterio della somma massima conduce a privilegiare l'intervento n° 7.

Tuttavia, si può constatare che questo intervento è caratterizzato da valori di  $C,1x$  e  $C,1y$  assai diversi tra loro, ed appare migliore l'intervento n° 5 che ad un valore comunque alto della somma  $\Sigma$  associa una minore disuniformità di comportamento tra le due direzioni  $X$  e  $Y$ .

Posto quindi che, in generale, una buona strategia d'intervento deve anche tra l'altro provvedere a rendere il più possibile uniforme la resistenza dell'edificio, si tratta di trovare un criterio che rispetti anche questa esigenza.

Se definiamo per il generico intervento "i" il coefficiente:

$$(4) \quad \gamma_i = | \Sigma_i - (\Sigma_i)_{\max} | + | C,1x_i - C,1y_i |$$

minimizzando tale coefficiente si ottiene contemporaneamente che ad un notevole aumento dei coefficienti di sicurezza (cioè ad una alta somma  $\Sigma$ ) si associa una buona uniformità di resistenza.

A riprova di ciò, costruiamo per l'esempio considerato la colonna dei  $\gamma_i$ :

	$C,1x$	$C,1y$	$\Sigma$	$\gamma_i * 1000$
1	0.044	0.064	0.108	23
2	0.041	0.049	0.090	29
3	0.029	0.067	0.096	53
4	0.044	0.048	0.092	23
5	0.049	0.061	0.110	13
6	0.043	0.049	0.092	25
7	0.042	0.069	0.111	27

Il criterio del coefficiente  $\gamma$  minimo conduce a considerare ottimale, come in effetti si voleva, l'intervento n°5.

L'espressione (4) può essere considerata come un caso particolare del coefficiente da minimizzare.

In generale, infatti, individuati i due parametri dai quali dipende il criterio di scelta:

$$(5) \quad | \Sigma_i - (\Sigma_i)_{\max} | ; | C,1x_i - C,1y_i |$$

che possono essere rispettivamente definiti: "Termine di Somma" e "Termine di Uniformità", il coefficiente da minimizzare sarà una funzione di essi:

$$(6) \quad \gamma_i = f(|\Sigma_i - (\Sigma_i)_{\max}|; |C,1x_i - C,1y_i|)$$

Per semplicità, si può considerare il coefficiente  $\gamma_i$  espresso da una combinazione lineare dei parametri detti (anche se niente vieta e priori che  $f$  sia una funzione non lineare):

$$(7) \quad \gamma_i = \alpha |\Sigma_i - (\Sigma_i)_{\max}| + \beta |C,1x_i - C,1y_i|$$

Possiamo riconoscere in questa generica espressione il criterio della somma massima espresso dalla (3) (ponendo:  $\alpha = 1, \beta = 0$ ) ed il criterio basato sul coefficiente  $\gamma_i$  definito dalla (4) (ponendo:  $\alpha = \beta = 1$ ). Ovviamente queste non sono le uniche scelte che si possono fare.

Infatti, pur considerando un contributo non nullo di entrambi i termini, può risultare più efficace, ai fini della scelta del miglior intervento, attribuire “peso maggiore” ad uno rispetto all’altro.

Ad esempio si può considerare il caso:  $\alpha = 2$  e  $\beta = 1$ , per cui il coefficiente da minimizzare diventa:

$$(8) \quad \gamma_i = 2 * |\Sigma_i - (\Sigma_i)_{\max}| + |C,1x_i - C,1y_i|$$

Il criterio basato sulla (8) sorge nel constatare che, in caso di parità del minimo valore del coefficiente  $\gamma_i$  definito dalla (4) per due diversi interventi, ci si orienta verso la scelta dell’intervento che presenta globalmente un maggior aumento dei coefficienti C, cioè una somma  $\Sigma$  maggiore. Si osservi che nel caso che anche  $\Sigma_i$  sia uguale per i due interventi, essi potranno essere considerati perfettamente equivalenti tra loro.

Orientarsi verso la somma maggiore significa essenzialmente attribuire maggior peso al Termine di Somma rispetto al Termine di Uniformità; ciò si traduce appunto nella posizione:  $\alpha = 2, \beta = 1$ .

Sembrerebbe dunque che il criterio basato sulla minimizzazione di  $\gamma_i$  definito dalla (8) fosse il più opportuno. In realtà, si è potuto osservare che qualora tale criterio per la determinazione della migliore strategia d’intervento venga innescato su valori iniziali (cioè relativi allo Stato Attuale) dei coefficienti di sicurezza  $C,1x, C,1y$  abbastanza diversi tra loro, tale differenza non tende ad essere colmata, anche se gli aumenti di  $C,1$  nelle due direzioni X ed Y procedono di pari passo. Questo fatto, inoltre, si manifesta indipendentemente dai tipi d’intervento previsti per le varie pareti.

L’applicazione del metodo ha dimostrato che risultati più validi si possono ottenere attribuendo maggior peso al Termine di Uniformità scegliendo:  $\alpha = 1, \beta = 2$ ; il criterio corrispondente si baserà pertanto sulla minimizzazione del coefficiente:

$$(9) \quad \gamma_i = |\Sigma_i - (\Sigma_i)_{\max}| + 2 * |C,1x_i - C,1y_i|$$

e questo è il criterio di scelta del miglior intervento che viene adottato nel Sistema Esperto di PC.M.

Un’osservazione importante riguarda il caso in cui l’edificio, in una delle due direzioni X o Y, sia già verificato allo Stato Attuale, oppure abbia raggiunto la verifica nel corso del procedimento di scelta degli interventi. In tal caso, il criterio di scelta non potrà che fondarsi sul massimo aumento del coefficiente sismico nella direzione ancora non verificata; il metodo procederà con questo semplice criterio finché, se possibile, raggiungerà il limite richiesto.

#### E.1.4. STRATEGIA DI INTERVENTO E CALCOLO COMBINATORIO

La metodologia esposta per l’organizzazione degli interventi proposti è fondata sul ‘Criterio di scelta del miglior intervento’.

Si osservi che la successione degli interventi da realizzare consecutivamente, uno dopo l'altro, determinata dall'elaborazione ha senso al fine di individuare la soglia alla quale viene conseguito lo scopo prefissato (il superamento del coefficiente minimo di sicurezza).

Dopo aver individuato tale soglia, si può dire che tutti gli interventi che contribuiscono al suo conseguimento vengono ad appartenere ad un 'gruppo' di interventi la cui realizzazione ovviamente non è legata a quale si debba realizzare per primo o per secondo, dal momento che tutti quelli di questo gruppo devono essere realizzati.

Il problema che si è risolto è dunque stata la determinazione del 'gruppo' di interventi necessari per l'adeguamento.

L'uso del 'Criterio di scelta del miglior intervento' costituisce una semplificazione teorica del problema.

Se potessimo infatti analizzare tutte le combinazioni possibili degli interventi inizialmente proposti, esaminandone i risultati saremmo in grado di individuare con certezza assoluta l'unico 'gruppo' in grado di risolvere il problema.

In altre parole, dati 'm' interventi, per determinare la soluzione esatta del problema posto (cioè l'individuazione del numero e tipo di interventi strettamente necessari per conseguire la sicurezza) dovremmo provare tutte le combinazioni possibili per poterle confrontare tra loro. Ognuna di esse infatti avrebbe una 'storia' diversa dall'altra, in quanto - posizionato un intervento - lo schema di calcolo cambia progressivamente.

Ipotizziamo ad esempio 5 possibili interventi ( $m=5$ ).

Noi vogliamo limitarne il numero il più possibile; e poiché l'adeguamento verrà in genere raggiunto ad una fase intermedia, siamo costretti a studiare tutte le combinazioni possibili, ognuna con la sua 'storia'.

Infatti, per esempio, nella successione 13452 l'adeguamento si raggiunge magari al secondo passo (scegliendo il 3° intervento tra quelli proposti; in questo caso il 'gruppo' risolutivo sarebbe dato da 1 e 3); nella 21543 magari si raggiunge al terzo passo, scegliendo il 5° intervento (gruppo risolutivo: 2, 1 e 5).

In generale, dovremmo studiare tutte le disposizioni di 'm' elementi presi ad m ad m (permutazioni semplici), che in base alla teoria del calcolo combinatorio, sappiamo essere date da:

$$(9) \quad P_m = m!$$

e per ogni combinazione occorrerebbe applicare 'm' volte l'elaborazione sismica, per cui complessivamente si dovrebbe applicarla un numero di volte pari a:

$$(10) \quad m! * m$$

Si può dimostrare che questo numero è in realtà un po' minore, a causa delle sottocombinazioni ripetute, ma comunque l'ordine di grandezza è questo.

Utilizzando invece il 'Criterio di scelta del miglior intervento' già sappiamo che il numero di elaborazioni sismiche è pari a:

$$(11) \quad m * (m+1) / 2$$

Per confrontare la (11) con la (10), si sviluppano le due espressioni per un numero di interventi proposti fino a 10.

Già a partire da 4 in poi, si vede che la strada di provare direttamente tutte le possibili combinazioni non è praticabile.

N° di interventi proposti	m!m	m (m+1) / 2
2	4	3
3	18	6
4	96	10
5	600	15
6	4.320	21
7	35.280	28
8	322.560	36
9	3.265.920	45
10	36.288.000	55

Peraltro, tutte le tecniche di ottimizzazione consistono nella ricerca di un metodo che consenta di individuare la 'migliore' soluzione evitando l'obbligo di dover esaminare direttamente tutte le combinazioni possibili.

### E.1.5. GENERALIZZAZIONE DEL METODO

Il metodo di analisi degli interventi è stato finora illustrato con riferimento al coefficiente C,1 (azioni complanari globali) e al caso dei piani rigidi, dove tutte le pareti interagiscono tra loro in base alle proprie caratteristiche meccaniche e alla posizione reciproca. In altre parole, l'ipotesi di piani rigidi determina l'effettiva incertezza sugli interventi da eseguire in quanto alterando le caratteristiche di una parete si ottengono effetti su tutte le altre. Da qui, l'esigenza di definire la strategia descritta ai paragrafi precedenti.

Più semplici sono i casi in cui gli interventi abbiano carattere 'locale', nel senso che il rafforzamento di una parete non ha in pratica conseguenze sulla risposta delle altre. Fisicamente, ciò avviene - per le Azioni Complanari - nel caso di ripartizione del tagliante sismico su piani deformabili. Sotto tale ipotesi, infatti, ogni parete reagisce proporzionalmente al carico che direttamente vi grava, senza ridistribuzione in base alle rigidità.

Anche le Azioni Ortogonali, dalle quali dipende il coefficiente sismico C,2, hanno sostanzialmente carattere locale: la singola parete viene verificata sotto l'azione sismica del peso proprio ed i carichi verticali direttamente applicati.

Nei casi di verifiche locali, il coefficiente sismico rappresentativo è coincidente con la parete in condizioni più sfavorevoli. La procedura di scelta degli interventi appare quindi più diretta e immediata: è sufficiente considerare ad uno ad uno tutti gli interventi proposti, e scegliere quelli corrispondenti alle pareti non verificate, in modo che il coefficiente sismico salga al valore richiesto.

In realtà, l'alterazione di alcuni parametri di una parete influisce, seppur in piccola misura, sulle verifiche delle altre pareti. Per esempio, aumentando lo spessore ad una parete aumenta la massa complessiva e quindi i valori dei taglianti sismici. Pertanto, nel procedimento di calcolo del Sistema Esperto, dopo aver posizionato un certo intervento, è necessario riesaminare anche quelli già presi in considerazione e non scelti perché non necessari, in quanto le modifiche sopraggiunte potrebbero riportare alcune pareti sotto il livello di resistenza richiesto.

Un'altra generalizzazione del metodo riguarda gli interventi sull'edificio che non si traducono in parametri direttamente riguardanti le singole pareti, ma in parametri di calcolo globali: ad esempio, i collegamenti tra impalcati e pareti che autorizzano il passaggio allo schema di 'Fasce medie' (anziché 'Masse complete') per il calcolo delle forze sismiche, oppure la bidirezionalità di solai consolidati che vengono così a scaricare in maniera più uniforme sulle pareti murarie, evitando la presenza contemporanea di elementi sovraccaricati e di altri quasi scarichi.

Inserendo nell'algoritmo del Sistema Esperto la possibilità di considerare anche interventi 'globali', il procedimento resta sostanzialmente invariato.

In sintesi, l'analisi degli interventi condotta dal Sistema Esperto procede nel modo seguente:

1. Considerando il **coefficiente C,1** per Azioni Complanari (Taglio ed eventuale PressoFlessione Complanare): si passano in rassegna, ad uno ad uno, tutti gli interventi proposti che siano: globali, e su singole pareti appartenenti a **piani rigidi**. Mediante il criterio di scelta del miglior intervento illustrato al paragrafo E.1.3., si scelgono progressivamente gli interventi da effettuare.

2. Sempre ai fini del **coefficiente C,1**, si analizzano tutti gli interventi proposti per singole pareti appartenenti a **piani deformabili**. Si esaminano uno dopo l'altro gli interventi, e si scelgono quelli che migliorano le pareti non verificate. Scelto un intervento, si riesaminano anche quelli precedentemente non scelti per evitare che le variazioni su una parete interferiscano con la soddisfazione della verifica da parte di altre.

3. Passando alle Azioni Ortogonali, considerando cioè il **coefficiente C,2**, si analizzano fra tutti gli interventi proposti quelli che riguardano sia le singole pareti, sia - globalmente - la schematizzazione di solai bidirezionali (perché la ridistribuzione del carico modifica i risultati delle verifiche per azioni ortogonali). Questi interventi vengono esaminati uno dopo l'altro, e si scelgono quelli che migliorano le pareti non verificate. Scelto un intervento, si riesaminano anche quelli precedentemente non scelti per evitare che le variazioni su una parete interferiscano con la soddisfazione della verifica da parte di altre.

4. Al **termine** del procedimento, fra tutti gli interventi possibili (quelli proposti dall'utente) rimane selezionato un gruppo che migliora il più possibile la risposta sismica dell'edificio, conducendo al raggiungimento della sicurezza richiesta se, ovviamente, il numero e il tipo di interventi lo consentono, e comunque viene individuata la configurazione 'ottimale' in grado di garantire il miglior risultato.

Le seguenti osservazioni completano la formulazione dell'algoritmo di calcolo:

- Secondo l'impostazione del metodo, se a qualunque passo dell'algoritmo un intervento viene scelto, esso viene dato per acquisito in tutte le fasi successive. Pertanto, al termine del procedimento si avrà non solo il gruppo di interventi da eseguire, ma anche la loro migliore successione cronologica.

- Se per una stessa parete vengono proposti interventi alternativi (ad esempio: iniezioni o intonaco armato), la scelta di uno deve ovviamente mettere fuori gioco l'altro. Per 'interventi alternativi' si intendono interventi la cui contemporanea realizzazione è per definizione non praticabile o impossibile; nel Sistema Esperto di PC.M sono considerati tali gli interventi che influiscono sulla resistenza a taglio (aumento generico di  $\tau_k$ , o iniezioni, o intonaco armato).

Nel corso di definizione degli interventi locali (azioni complanari nell'ipotesi di solai deformabili, o azioni ortogonali), è tuttavia possibile che per una stessa parete vengano scelti più interventi su  $\tau_k$  destinati, in ordine cronologico, ad aumentarne il valore. Ad esempio, il Sistema Esperto potrebbe prevedere teoricamente prima le iniezioni, poi l'intonaco armato su una stessa parete (per la quale ovviamente erano stati proposti sia le iniezioni, sia l'intonaco armato), per cercare di soddisfare una verifica insufficiente: in tal caso, dal punto di vista operativo dovrà essere realizzato l'intervento più 'influyente', e quindi in questo caso l'intonaco armato (i cui valori conseguiti per  $\tau_k$  includono il miglioramento di per sé realizzato dalle iniezioni).

- Durante la procedura di analisi, verranno scartati quegli interventi che comportino diminuzione del coefficiente di sicurezza. Ad esempio, alcuni interventi possono comportarsi in questo modo quando producono, nell'organismo resistente, un'azione di disturbo superiore a quella di rafforzamento strutturale (si pensi ad esempio ad elementi nuovi molto resistenti in posizione troppo eccentrica, non bilanciati da altre rigidità).








- Qualora ad un certo stadio del calcolo venga superato il limite di sicurezza richiesto, il procedimento ha termine con individuazione della configurazione finale risolutiva del problema del consolidamento; diversamente, verranno scelti tra quelli proposti tutti gli interventi tali da garantire il miglior risultato possibile.



## E.2. MANUALE D'USO

### E.2.1. GENERALITA'

Il Sistema Esperto di PC.M opera all'interno della finestra principale del programma, cioè la finestra Edificio. Il **menu Esperto** della **finestra Edificio** contiene infatti tutti i comandi necessari per l'uso del Sistema Esperto; i corrispondenti pulsanti nelle barre degli strumenti Standard sono i seguenti:



-  Proposte di Intervento: Parametri Globali
-  Proposte di Intervento: Pareti
-  Esegui Analisi Sistema Esperto
-  Risultati Analisi Sistema Esperto
-  Grafico Risultati Analisi Sistema Esperto
-  Disegno Risultati Analisi Sistema Esperto
-  Guida al Sistema Esperto

Dal punto di vista operativo, l'applicazione del Sistema Esperto si può articolare nei seguenti punti.

#### 1) Perché si applica il Sistema Esperto?


Perché si desidera studiare l'organizzazione ottimale di un gruppo di possibili interventi di miglioramento da eseguirsi sulle strutture dell'edificio corrente, per la cui configurazione attuale le verifiche ad azioni complanari e/o ortogonali non sono pienamente soddisfatte. Per la completa comprensione delle procedure adottate, si consulti il capitolo E.1. (Teoria del Sistema Esperto).

#### 2) Come si propongono i possibili interventi di miglioramento, che l'analisi del Sistema Esperto provvederà ad ottimizzare?

Gli interventi proponibili si dividono in due gruppi: interventi globali e interventi sulle singole pareti. Per entrambi i gruppi, un'apposita finestra (aperta dal corrispondente comando: per  i Parametri Globali, e  per le Pareti) consente la specifica delle proposte. E' possibile proporre solo interventi globali, o solo interventi su pareti, o situazioni miste con entrambe le tipologie d'intervento.

Le proposte di intervento sono ampiamente trattate al paragrafo E.2.2.

#### 3) Come si fa ad eseguire l'analisi degli interventi?

E' sufficiente lanciare il calcolo con l'apposito comando : l'analisi avrà inizio. Verranno inizialmente specificati: il numero di interventi proposti, il massimo numero di elaborazioni che verranno eseguite, e - ove possibile - la stima del massimo tempo che verrà impiegato dal calcolo. Accettando la prosecuzione dei calcoli, l'analisi procederà fino al raggiungimento della soddisfazione delle verifiche oppure fino alla scelta di tutti i possibili interventi migliorativi.

L'esecuzione dell'analisi degli interventi è trattata al paragrafo E.2.3.

#### 4) Come si consultano i risultati?

Il Sistema Esperto di PC.M provvede ad archiviare, al termine dell'elaborazione, la struttura finale contenente tutti gli interventi scelti.


Se NomeEdificio è il nome di file identificativo dell'edificio corrente, per predefinitone il nome del file contenente gli interventi - anch'esso posto in C:\PCM2000\EDIFICI - sarà:


NomeEdificio\_ESPERTO.PCM


Questa struttura ('consolidata automaticamente', cioè generata dall'applicazione del Sistema Esperto) può essere aperta e consultata come ogni altro edificio.

Inoltre, la 'storia' dell'ottimizzazione, cioè la successione cronologica secondo cui gli interventi sono stati scelti, viene archiviata in un'apposita relazione:

### Risultati\_Esperto.RTF

posta in C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio. In tale relazione sono anche riportati gli andamenti successivi dei coefficienti sismici C,1 e C,2, generalmente in aumento via via che vengono posizionati uno dopo l'altro gli interventi scelti. Per consultare la relazione, è possibile utilizzare il comando .

L'andamento di C,1 e C,2 è anche rappresentato graficamente: allo scopo, si utilizza il comando .



Un disegno apposito, infine, colora in pianta le pareti secondo la successione degli interventi: il comando  produce questa rappresentazione nella finestra grafica correntemente attiva (la 2D o la 3D).

Alla consultazione dei risultati del Sistema Esperto è dedicato il paragrafo E.2.4.

Il Sistema Esperto è disponibile in PC.M, Versione completa (Professionale o Didattica). Le sue funzionalità sono regolarmente attive se la finestra 'Informazioni su PC.M...' del menu ? (Guida) contiene un'immagine ove specificato: "Include il Sistema Esperto per l'Ottimizzazione del Progetto". Qualora il Sistema Esperto non sia disponibile, per la sua attivazione è necessario l'upgrade alla versione completa di PC.M; contattare a tal fine la AEDES Software.

Nei paragrafi seguenti verranno illustrate in dettaglio le funzionalità del Sistema Esperto.

### E.2.2. PROPOSTE DI INTERVENTO

Gli interventi proponibili si dividono in due gruppi: interventi globali e interventi sulle singole pareti. Per entrambi i gruppi, un'apposita finestra (aperta dal corrispondente comando: per  i Parametri Globali, e  per le Pareti) consente la specifica delle proposte. E' possibile proporre solo interventi globali, o solo interventi su pareti, o situazioni miste con entrambe le tipologie d'intervento.

#### E.2.2.1. PARAMETRI GLOBALI

Nella finestra di dialogo 'Parametri Globali' vengono proposti gli interventi che si riferiscono alla globalità del comportamento strutturale dell'edificio.

Dopo eventuali modifiche, per confermare la situazione corrente delle proposte d'intervento globali, selezionare il pulsante di comando 'OK'. Con il pulsante di comando 'Annulla' vengono invece annullate le eventuali modifiche apportate, ritornando all'impostazione delle proposte d'intervento globali precedenti l'apertura della finestra di dialogo.

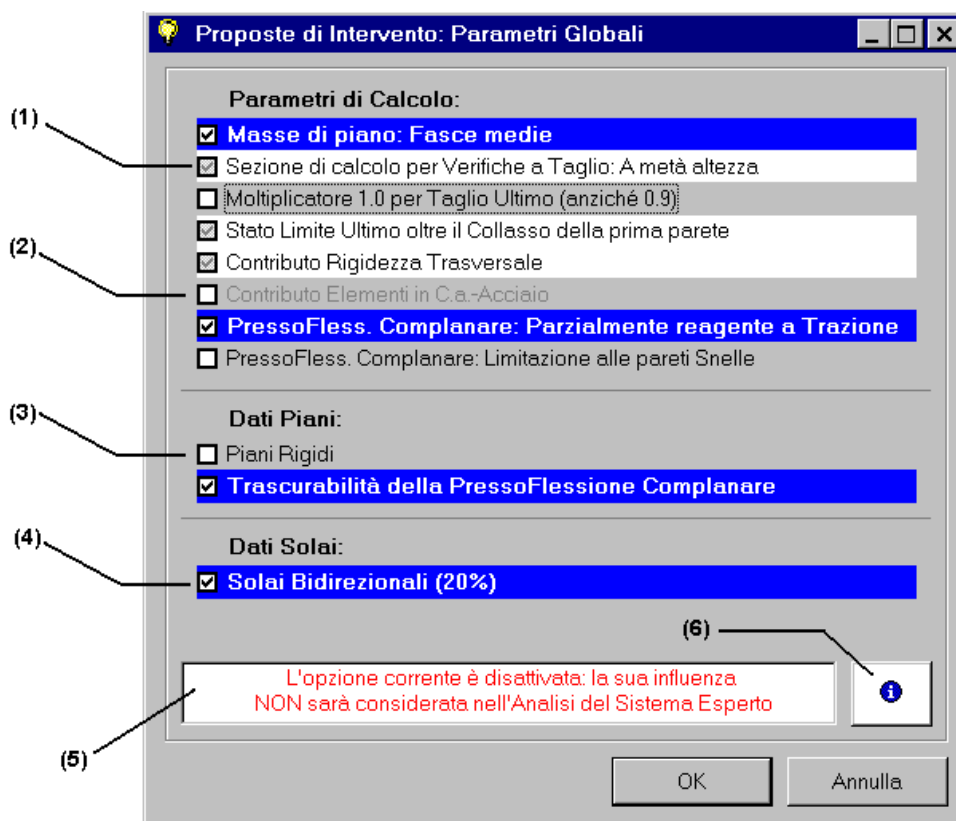


Fig. 1. *Proposte di Intervento: Parametri Globali.*

Sono proponibili 11 tipi globali di intervento, suddivisi secondo l'appartenenza al gruppo di dati dell'edificio corrente. I primi 8 parametri appartengono ai 'Parametri di Calcolo', e sono infatti alcuni dei parametri sui quali è possibile agire per modificare il risultato dell'analisi strutturale.

I successivi 2 parametri appartengono ai 'Dati Piani'. In questa finestra non è possibile distinguere i vari piani tra loro: questi parametri, quindi, si riferiranno in ogni caso a tutti i piani dell'edificio.

Infine, l'ultimo parametro appartiene ai 'Dati Solai'. In questa finestra non è possibile distinguere tra loro i vari solai ai vari piani: questo parametro (bidirezionalità dell'orditura), quindi, si riferirà in ogni caso a tutti quei solai

dell'edificio che attualmente hanno orditura monodirezionale.

Graficamente, nella finestra ogni opzione (o possibile proposta d'intervento) viene caratterizzata da una particolare evidenziazione, come indicato in fig.1, che si riferisce al suo stato corrente, secondo le seguenti specifiche:

**(1) L'opzione corrente non è modificabile: è già stata selezionata nei Parametri di Calcolo.**

*(colore del testo normale, colore di fondo grigio chiaro, casella spuntata ma in grigio)*

Questo parametro è già attivo nella configurazione attuale dell'edificio. Pertanto, esso non può giocare alcun ruolo nelle proposte d'intervento.

**(2) L'opzione corrente è disabilitata: essa è influente sul calcolo.**

*(colore del testo in luminosità ridotta, colore di fondo della finestra, casella vuota)*

Questo parametro, anche se fosse attivato, non potrebbe in alcun modo influire sui risultati. E' il caso, ad esempio, del contributo degli elementi in c.a./acciaio in quegli edifici dove non sono presenti elementi di tali materiali. L'opzione si presenta quindi in luminosità ridotta, e non è abilitata alla selezione.

**(3) L'opzione corrente è disattivata: la sua influenza NON sarà considerata nell'analisi del Sistema Esperto.**

*(colore del testo normale, colore di fondo della finestra, casella vuota)*

Questo parametro corrisponde ad un intervento che potrebbe essere proposto: infatti, si tratta di un'opzione non attiva nella configurazione attuale della struttura corrente, e - in quanto tale - può concorrere ad un miglioramento. Tuttavia, questa proposta non risulta selezionata e quindi non sarà presa in considerazione nell'elaborazione svolta dal Sistema Esperto.

**(4) L'opzione corrente è attivata: la sua influenza sarà considerata nell'analisi del Sistema Esperto.**

*(colore del testo bianco grassetto su fondo blu, casella spuntata in nero)*

Questo parametro corrisponde ad una effettiva proposta d'intervento: infatti, si tratta di un'opzione non attiva nella configurazione attuale della struttura corrente, e - in quanto tale - può concorrere ad un miglioramento. Essa è stata qui selezionata, e pertanto sarà presa in considerazione - insieme a tutte le altre proposte effettive, globali e sulle singole pareti - nell'elaborazione svolta dal Sistema Esperto.

Nella casella di testo **(5)** viene evidenziato lo stato dell'opzione corrente (nella fig.1, ad esempio, il testo si riferisce a: 'Moltiplicatore 1.0 per Taglio Ultimo (anziché 0.9)').

Il pulsante di comando **(6)** 'Informazioni' apre una finestra di testo dove una scheda descrive le caratteristiche della proposta di intervento corrente, organizzate in: significato; conseguenze analitiche; intervento operativo corrispondente. Nei paragrafi seguenti (da E.2.2.1.1. a E.2.2.1.11.) vengono riportate le schede di tutti gli interventi globali che possono essere proposti.

#### E.2.2.1.1. MASSE DI PIANO: FASCE MEDIE

**Significato.** Le masse di piano vengono determinate con riferimento ad un'altezza delle pareti metà sovrastante e metà sottostante.

Si ipotizza quindi che le masse sismiche delle pareti vibrino ognuna in corrispondenza dell'impalcato più vicino.

**Conseguenze analitiche.** Diminuzione dei taglianti di piano sismici rispetto allo schema di masse complete (dove le masse sismiche delle pareti sono trasferite integralmente al piano sovrastante). Poiché il parametro non influisce sulle forze resistenti, i coefficienti di sicurezza aumentano.

**Intervento operativo corrispondente.** Occorre garantire una efficace solidarizzazione fra pareti e impalcati, ad esempio realizzando cordoli perimetrali di piano con ancoraggi oppure inserendo tiranti o altri dispositivi di collegamento.

#### E.2.2.1.2. SEZIONE DI CALCOLO PER VERIFICHE A TAGLIO: A METÀ ALTEZZA

**Significato.** Ferma restando la forza sismica agente sulla parete, la sezione in cui valutare il carico verticale (e quindi la resistenza a taglio) è quella posta a metà altezza. In altri termini, si ipotizza che la lesione diagonale a taglio si inneschi al centro della parete.

**Conseguenze analitiche.** Aumento della resistenza a taglio rispetto allo schema di Sezione di calcolo in sommità.

**Intervento operativo corrispondente.** Occorre garantire che le pareti siano integre e ben collegate ai solai superiore e inferiore. L'omogeneità di materiale, la diffusione del carico (assenza di concentrazioni di tensione) e la geometria regolare (assenza di nicchie, canne fumarie, ecc.) garantiscono maggiormente il comportamento ipotizzato.

#### E.2.2.1.3. MOLTIPLICATORE 1.0 PER TAGLIO ULTIMO (ANZICHÉ 0.9)

(Questa opzione è automaticamente disabilitata se la Norma di riferimento per l'Analisi Sismica è il D.M. 20.11.1987).

**Significato.** Evita la riduzione del 10% del valore del Taglio Ultimo, talvolta applicata a seguito di indicazioni Normative.

**Conseguenze analitiche.** Aumento della resistenza a taglio rispetto all'opzione di moltiplicatore pari a 0.9.

**Intervento operativo corrispondente.** Occorre garantire l'integrità delle pareti, in modo tale che si possa omettere la riduzione di resistenza del 10%, altrimenti utilizzata per assicurare più ampi margini di sicurezza.

#### E.2.2.1.4. STATO LIMITE ULTIMO OLTRE IL COLLASSO DELLA PRIMA PARETE

(Questa opzione è automaticamente disabilitata se la Norma di riferimento per l'Analisi Sismica è il D.M. 20.11.1987).

**Significato.** Le procedure di calcolo incrementale tipo Por vengono spinte oltre il primo collasso, fino al raggiungimento del massimo valore della forza reattiva sviluppabile dall'organismo murario. Ciò influisce particolarmente sul risultato nel caso di presenza contemporanea di pareti di piccole dimensioni (che raggiungono presto il collasso) e di altre sensibilmente più grandi, che - quando le piccole sono già collassate - non hanno ancora raggiunto la massima capacità reattiva.

**Conseguenze analitiche.** Aumento della forza reattiva allo Stato Limite Ultimo. Poiché il parametro non influisce sul tagliante sismico, i coefficienti di sicurezza aumentano (tranne che nel caso che il collasso della prima parete corrisponda effettivamente al massimo valore sviluppabile per la forza reattiva).

**Intervento operativo corrispondente.** Il collasso di una parete deve corrispondere sì ad una sua fratturazione, ma non a crolli estesi. Tutti i dispositivi di collegamento strutturale assicureranno l'aiuto offerto dagli elementi più resistenti a quelli più deboli.

#### E.2.2.1.5. CONTRIBUTO RIGIDEZZA TRASVERSALE

**Significato.** Le pareti vengono considerate dotate di rigidità trasversale durante la ripartizione dei taglianti di piano in base alle rigidità. Questa scelta può essere particolarmente indicata per pareti di grande spessore.

**Conseguenze analitiche.** Le pareti di controvento parallele alla direzione sismica assumono minori sollecitazioni, con conseguente aumento dei coefficienti di sicurezza.

**Intervento operativo corrispondente.** Le pareti devono essere cautelate da collassi per azioni ortogonali. Collegamenti strutturali fra pareti e fra pareti e impalcati favoriranno, dal punto di vista del comportamento globale, la collaborazione offerta dalle pareti ortogonali a quelle parallele rispetto alla direzione dell'azione sismica.

#### E.2.2.1.6. CONTRIBUTO ELEMENTI IN C.A.-ACCIAIO

(Questa opzione è automaticamente disabilitata se non esistono nella struttura elementi di controvento in cemento armato e/o acciaio).

**Significato.** La rigidezza competente agli eventuali elementi di controvento in c.a./acciaio viene computata nel calcolo. Questa scelta può essere particolarmente indicata nel caso di elementi sensibilmente rigidi, come ad esempio vere e proprie pareti in cemento armato (p.es. nuclei scale) rese solidali all'organismo murario portante.

**Conseguenze analitiche.** Gli elementi in c.a./acciaio assumono una quota di azioni sismiche, scaricando in parte gli elementi murari e quindi aumentando i coefficienti di sicurezza.

**Intervento operativo corrispondente.** Occorre assicurare una collaborazione effettiva fra elementi in c.a./acciaio e pareti murarie. E' in ogni caso da tenere sotto controllo l'eccentricità del centro delle rigidzze rispetto al baricentro, poiché pareti in c.a. eccentriche possono generare effetti torcenti sensibilmente peggiorativi della risposta strutturale.

#### E.2.2.1.7. PRESSOFLESSIONE COMPLANARE: PARZIALMENTE REAGENTE A TRAZIONE

(Questa opzione è automaticamente disabilitata se la Norma di riferimento per l'Analisi Sismica è il D.M. 20.11.1987).

**Significato.** Si considera la sezione interamente reagente finché la tensione di trazione non supera il limite di resistenza a trazione, dopodiché la sezione si parzializza e la verifica consiste nel confronto della massima tensione di compressione con la resistenza a compressione (mentre la tensione massima di trazione resta costante e pari al limite di resistenza a trazione).

**Conseguenze analitiche.** Le verifiche tendono ad essere soddisfatte più facilmente rispetto all'ipotesi di sezione comunque interamente reagente, dove la configurazione limite è segnata dal raggiungimento del limite di resistenza a trazione, senza possibilità di ulteriori incrementi di sollecitazione.

**Intervento operativo corrispondente.** L'ipotesi corrisponde ad accettare che le pareti possano lesionarsi (zona non reagente della sezione parzializzata), senza per questo determinare crisi estese. Tutti i dispositivi di collegamento strutturale assicureranno che le lesioni locali non si propaghino rapidamente agli elementi strutturali limitrofi.

#### E.2.2.1.8. PRESSOFLESSIONE COMPLANARE: LIMITAZIONE ALLE PARETI SNELLE

**Significato.** La Verifica a PressoFlessione per Azioni Complanari viene limitata alle sole pareti snelle. Per le altre pareti, si ipotizza infatti che il comportamento reale non sia assimilabile a elementi monodimensionali che si inflettono nel proprio piano.

**Conseguenze analitiche.** Le Verifiche a PressoFlessione Complanare sono più facilmente soddisfatte, perché interessano un numero ridotto di pareti.

**Intervento operativo corrispondente.** Occorre garantire che le pareti di controvento siano integre, in modo tale che quelle più tozze possano assimilarsi a lastre caricate nel proprio piano. Lesioni di varia natura eventualmente presenti devono essere risarcite.

#### E.2.2.1.9. PIANI RIGIDI

**Significato.** Gli impalcati vengono tutti considerati rigidi ai fini della ripartizione delle forze orizzontali. Le pareti aventi maggiore rigidezza assumono quindi più forza sismica, scaricando le più deboli.

**Conseguenze analitiche.** Generalmente aumentano i coefficienti di sicurezza, tranne nel caso che l'eccentricità fra baricentro e centro delle rigidezze sia talmente elevata da peggiorare la risposta sismica rispetto al caso di impalcati deformabili, dove ogni parete reagisce al carico locale indipendentemente dalle altre.

**Intervento operativo corrispondente.** Nei confronti delle azioni orizzontali, la rigidità d'impalcato viene garantita da solette in c.a. collegate perimetralmente alle pareti, o da tirantature di controvento orizzontali o comunque da strutture di solaio in grado di non deformarsi sotto azioni orizzontali complanari.

#### E.2.2.1.10. TRASCURABILITÀ DELLA PRESSOFLESSIONE COMPLANARE

**Significato.** Viene omessa questa verifica, in genere particolarmente penalizzante. Questa scelta può essere indicata nel caso di strutture con maschi murari tozzi, prevalentemente reagenti a taglio, oppure in edifici dove le fasce orizzontali ('travi alte') offrano efficaci vincoli di irrigidimento (assenza di diminuzione di spessore in corrispondenza dei sopra- e sotto- finestra, e porte di apertura non a tutt'altezza di interpiano).

**Conseguenze analitiche.** Aumento del coefficiente di sicurezza per azioni globali nel piano, le cui corrispondenti verifiche si riducono alla sola Verifica a Taglio.

**Intervento operativo corrispondente.** Occorre preservare i maschi murari dall'inflessione nel proprio piano. In presenza di alcuni elementi snelli, occorrerà irrigidire le fasce di piano, assicurando la continuità dello spessore nei sotto- e sopra- finestra e la solidarizzazione di tali fasce alle murature dei maschi murari adiacenti, fino a garantire una effettiva 'scatola' resistente per l'edificio nel suo insieme.

#### E.2.2.1.11. SOLAI BIDIREZIONALI (20%)

**Significato.** Una quota parte del carico dei solai (il 20%) viene applicata sulle pareti parallele all'orditura. Questa scelta è particolarmente indicata nel caso di solai irrigiditi e ben collegati perimetralmente alle pareti, per i quali, anche se esiste una ben precisa orditura, la deformata non è tutta cilindrica, in quanto nelle zone vicine alle pareti perimetrali il solaio tende ad appoggiarsi.

**Conseguenze analitiche.** Il carico verticale viene maggiormente distribuito fra tutte le pareti, incrementando la resistenza di quelle altrimenti troppo scariche, per le quali il basso valore dello sforzo normale rispetto alla forza orizzontale comporta verifiche tensionali non soddisfatte (con maggior evidenza nell'ipotesi di resistenza a trazione scarsa o nulla).

**Intervento operativo corrispondente.** I solai devono essere efficacemente collegati alle pareti perimetrali, e possibilmente irrigiditi con solette armate con reti elettrosaldate risvoltate nelle pareti stesse.

#### E.2.2.2. INTERVENTI SU PARETI



Nella finestra di dialogo 'Interventi Pareti' vengono proposti gli interventi che si riferiscono alle singole pareti, per ognuna delle quali è possibile anche proporre più interventi. Per esempio, per una stessa parete è possibile ipotizzare un incremento di spessore, ma anche contemporaneamente iniezioni cementizie e intonaco armato: sarà il Sistema Esperto ad organizzare nel modo più opportuno gli interventi proposti: Verrà ovviamente rispettata la reale fattibilità: se per una data parete sono stati proposti contemporaneamente più interventi tra loro alternativi, il Sistema Esperto sceglierà quello più opportuno evitando gli altri.

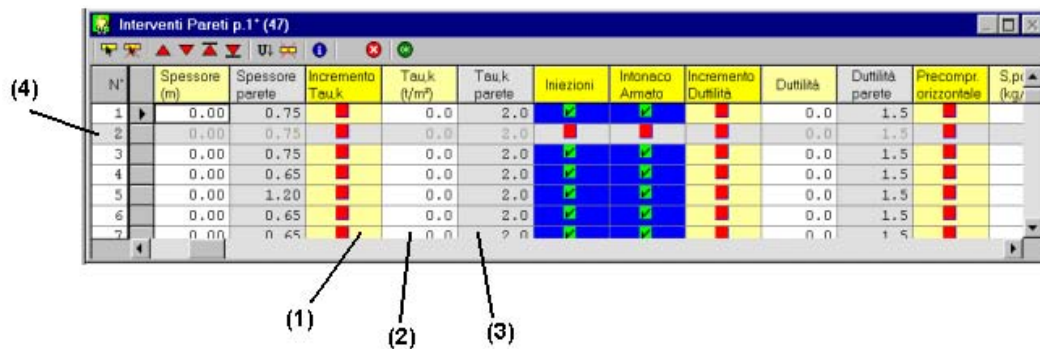
Per 'interventi alternativi' si intendono interventi la cui contemporanea realizzazione è per definizione non praticabile o impossibile; si possono considerare tali gli interventi che influiscono tutti sulla resistenza a taglio (aumento generico di  $\tau_k$ , o iniezioni, o intonaco armato).



La finestra 'Interventi Pareti' presenta una propria 'Barra degli Strumenti' i cui comandi possono essere utilizzati per semplificare l'input delle proposte d'intervento; le sue funzionalità vengono descritte più avanti.

Fra questi comandi, due pulsanti grafici consentono l'uscita ed il ritorno all'input/modifica nella finestra Edificio:

- il pulsante grafico  determina l'uscita dall'input/modifica degli 'Interventi Pareti' **senza** confermare eventuali modifiche effettuate, ritornando all'impostazione delle proposte d'intervento sulle pareti precedenti l'apertura della finestra;
- il pulsante grafico  determina l'uscita dall'input/modifica degli 'Interventi Pareti' **confermando** eventuali modifiche effettuate, ossia la situazione corrente delle proposte d'intervento sulle pareti.



N°	Spessore (m)	Spessore parete	Incremento Tau,k	Tau,k (t/m²)	Tau,k parete	Iniezioni	Intonaco Armato	Incremento Duttilità	Duttilità	Duttilità parete	Precompr. orizzontale	S.pr. (kg/cm²)	S.pv.
1	0.00	0.75		0.0	2.0				0.0	1.5			
2	0.00	0.75		0.0	2.0				0.0	1.5			
3	0.00	0.75		0.0	2.0				0.0	1.5			
4	0.00	0.65		0.0	2.0				0.0	1.5			
5	0.00	1.20		0.0	2.0				0.0	1.5			
6	0.00	0.65		0.0	2.0				0.0	1.5			
7	0.00	0.65		0.0	2.0				0.0	1.5			

Fig. 2. Proposte di Intervento: Pareti.

La finestra presenta le seguenti colonne (in fig. 2 è riportato un possibile aspetto della finestra; poiché le sue dimensioni eccedono la larghezza dello schermo, occorre scorrerla in direzione orizzontale per visualizzare tutti i campi), organizzate secondo i 9 interventi proponibili:

1. **Incremento di Spessore - Spessore (m) - Spessore parete:** queste tre colonne corrispondono alla tipologia di intervento 'Incremento di Spessore';
2. **Incremento di Tau,k - Tau,k (t/m²) - Tau,k parete:** queste tre colonne corrispondono alla tipologia di intervento 'Incremento di Tau,k';
3. **Iniezioni:** questa colonna corrisponde alla tipologia di intervento omonima;
4. **Intonaco armato:** questa colonna corrisponde alla tipologia di intervento omonima;
5. **Incremento di Duttilità - Duttilità - Duttilità parete:** queste tre colonne corrispondono alla tipologia di intervento 'Incremento di Duttilità';
6. **Precompr. orizzontale - S,po (kg/cm²) - S,po parete:** queste tre colonne corrispondono alla tipologia di intervento 'Precompressione orizzontale';
7. **Precompr. verticale - S,pv (kg/cm²) - S,pv parete:** queste tre colonne corrispondono alla tipologia di intervento 'Precompressione verticale';
8. **Az.Ort. (qh²/x): Incremento di x - x max - x parete:** queste tre colonne corrispondono alla tipologia di intervento 'Incremento di x';
9. **Variazione H,calc - H,calc (m) - H,calc parete:** queste tre colonne corrispondono alla tipologia di intervento 'Variazione Precompressione orizzontale';

Graficamente, la tabella viene organizzata secondo i criteri esposti qui di seguito.

I dati correnti della parete sono riportati con fondo grigio e non sono editabili: la loro presenza in tabella è finalizzata a visualizzare la situazione attuale della parete nell'edificio corrente.

Per illustrare l'utilizzo della tabella, si focalizzi l'attenzione su una particolare tipologia d'intervento.

Per l'intervento di incremento di  $\tau_k$ , ad esempio, nella colonna 'Tau,k parete' è riportato l'attuale valore di  $\tau_k$  (vd. (3), fig. 2).

Nella colonna 'Tau,k (t/m²)' si specificherà la tensione tangenziale caratteristica proposta (vd. (2), fig. 2).

Ovviamente, perché la proposta di intervento sia significativa, occorre che il valore proposto sia maggiore di



quello attuale.

Pur proponendo un valore significativo [cioè maggiore dell'attuale], affinché l'intervento sia annoverato fra quelli effettivamente proposti, occorre attivare la casella corrispondente nella colonna 'Incremento di  $\tau_{k,k}$ ' (vd. **(1)**, fig. 2). In fig. 2, questo tipo di intervento non è attivo per nessuna parete. Sono invece stati proposti gli interventi di iniezioni e di intonaco armato (per queste due tipologie, i valori di  $\tau_k$  conseguiti sono automatici ed è sufficiente la sola selezione dell'intervento).


**Tutti gli interventi correttamente proposti risultano evidenziati dal colore blu del fondo della cella** corrispondente alla casella di controllo di selezione dell'intervento. Consultando la tabella, è quindi immediato visualizzare le proposte correntemente attive, identificate dal colore blu del fondo della cella.


Alcune righe della tabella possono essere totalmente disattivate, come ad esempio la riga corrispondente alla parete 2 in fig. 2 (vd. **(4)**, fig. 2): ciò significa che l'elemento strutturale non può essere oggetto di alcuna proposta di intervento (nel caso particolare di fig. 2, ad esempio, la parete n.2 è una 'striscia' e quindi non trattandosi di un maschio murario non può essere oggetto di proposta d'intervento, secondo quanto indicato al punto seguente).





Le seguenti condizioni limitano la definizione delle proposte di intervento:


- le pareti non rettangolari non possono essere oggetto di 'incremento di spessore';
- nessun intervento può essere proposto per elementi a tipologia diversa da quella di 'maschio murario' (cioè: pareti e pilastri in c.a., pilastri in acciaio, travi, strisce, sottofinestra, murature armate);
- nel caso di edifici nuovi, sono possibili solo tre tipi di proposte: incremento di spessore; incremento di "x"; variazione dell'altezza di calcolo.


I pulsanti grafici della '**Barra degli Strumenti**' della finestra 'Interventi Pareti' non sono equivalenti a corrispondenti comandi di menu: pertanto devono essere selezionati obbligatoriamente se si desidera usufruire delle loro funzionalità, qui nel seguito descritte.


 **Selezione.** Il comando di selezione delle pareti agisce in modo del tutto analogo al corrispondente comando della finestra Pareti, e consente la selezione di un gruppo di pareti al fine di semplificare le impostazioni delle proposte di intervento in sinergia con il comando 'Unifica Colonna'. Infatti, se ci sono pareti selezionate, il comando di unificazione agisce solo sulle pareti selezionate. E' quindi semplice proporre, ad esempio, un aumento di  $\tau_k$  solo alle pareti aventi un determinato materiale (avendo effettuato la selezione per tipo di materiale).


 **Deselezione:** dopo questo comando, nessuna parete a nessun piano sarà selezionata.


 **Piano Superiore**,  **Piano Inferiore**,  **Ultimo Piano**,  **Piano 1:** comandi di spostamento della tabella dati, del tutto analoghi ai corrispondenti comandi della finestra Pareti.

 **Unifica Colonna.** Il comando permette l'unificazione del parametro della parete corrente dove si trova la cella, per tutte le pareti selezionate o, nel caso di mancanza di pareti selezionate, per tutte le pareti seguenti (cioè le successive a quella dove è posizionata la cella). Il comando agisce solo sul piano corrente, ed il controllo di presenza di pareti selezionate (in modo da farlo agire o per selezione o sulle pareti seguenti) si limita pertanto al piano corrente.

 **Annulla Interventi.** Questo comando, che agisce solo sul piano corrente, permette l'annullamento immediato di tutte le proposte di intervento.

 **Informazioni.** Apre una finestra di testo dove una scheda descrive le caratteristiche della proposta di intervento corrente, organizzate in: significato; conseguenze analitiche; intervento operativo corrispondente. Nei paragrafi seguenti (da E.2.2.2.1. a E.2.2.2.9.) vengono riportate le schede di tutti gli interventi sulle pareti che possono essere proposti.

 **Chiudi.** Esce dalla finestra 'Interventi Pareti' senza confermare le modifiche eventualmente effettuate. Nella finestra 'Interventi Pareti' non sono attive le funzionalità 'Annulla' e 'Ripristina': trattandosi tuttavia di una finestra di dialogo (che quindi impedisce altri input finché è aperta), qualora la configurazione corrente non sia quella desiderata, è possibile annullare chiudendo la finestra senza confermare e tornando alla situazione precedente la sua apertura.

 **Conferma e Chiudi.** Esce dalla finestra 'Interventi Pareti' confermando le modifiche eventualmente effettuate

#### E.2.2.2.1. INCREMENTO DI SPESSORE

(Questa opzione è automaticamente disabilitata nel caso di maschi murari a sezione non rettangolare).

**Significato.** Lo spessore della parete viene incrementato, ad esempio con intonaco cementizio di 2-3 cm. di spessore per faccia, oppure con nuova muratura affiancata e solidarizzata alla muratura esistente.

**Conseguenze analitiche.** La parete con maggiore spessore migliora le proprie prestazioni nei confronti delle azioni sismiche, in particolare in direzione ortogonale al piano della parete stessa.

**Intervento operativo corrispondente.** L'aumento di spessore deve in ogni caso realizzarsi attraverso un'intima connessione con la muratura preesistente.

#### E.2.2.2.2. INCREMENTO DI $\tau_k$ (RESISTENZA CARATTERISTICA A TAGLIO)

(Questa opzione è automaticamente disabilitata nel caso di edifici nuovi).

**Significato.** La tensione tangenziale caratteristica della parete viene incrementata attraverso un intervento che interessa direttamente il materiale costituente la parete, migliorandone le prestazioni meccaniche.

**Conseguenze analitiche.** Aumento della resistenza a taglio della parete.

**Intervento operativo corrispondente.** L'incremento della resistenza a taglio avviene necessariamente con un miglioramento qualitativo del materiale costituente la parete. A parte i casi di Iniezioni e di Intonaco Armato, può trattarsi ad esempio di una sostituzione parziale di mattoni pieni esistenti (malta bastarda) con mattoni pieni nuovi (malta cementizia), se non addirittura di una demolizione con rifacimento della parete con nuova muratura antisismica. Nel caso di intervento parziale, deve essere garantita l'efficace ammorsatura della nuova muratura in quella esistente.

#### E.2.2.2.3. INIEZIONI

(Questa opzione è automaticamente disabilitata nel caso di edifici nuovi).

**Significato.** Le caratteristiche meccaniche della parete vengono incrementate attraverso la tecnica delle iniezioni cementizie, raggiungendo i seguenti valori:

Tensione tangenziale caratteristica: 11 t/mq (1.1 kg/cmq)

Duttilità: 2.0

Resistenza caratteristica a compressione: 300 t/mq (30 kg/cmq)

Resistenza caratteristica a trazione: 11 t/mq (1.1 kg/cmq)

**Conseguenze analitiche.** Incremento della resistenza e della capacità di deformazione della parete, con conseguente aumento dei coefficienti di sicurezza.

**Intervento operativo corrispondente.** L'incremento della resistenza a taglio avviene con la tecnica delle iniezioni cementizie. La configurazione attuale della parete (materiale costitutivo e geometria) deve ovviamente consentire un intervento di questo tipo.

#### E.2.2.2.4. INTONACO ARMATO

(Questa opzione è automaticamente disabilitata nel caso di edifici nuovi).

**Significato.** Le caratteristiche meccaniche della parete vengono incrementate attraverso la tecnica dell'intonaco armato, raggiungendo i seguenti valori:

Tensione tangenziale caratteristica: 18 t/mq (1.8 kg/cmq)

Duttilità: 2.0

Resistenza caratteristica a compressione: 500 t/mq (50 kg/cmq)

Resistenza caratteristica a trazione: 18 t/mq (1.8 kg/cmq)

**Conseguenze analitiche.** Incremento della resistenza e della capacità di deformazione della parete, con conseguente aumento dei coefficienti di sicurezza.

**Intervento operativo corrispondente.** L'intervento consiste nella realizzazione, su entrambe le facce, di intonaco cementizio armato con rete elettrosaldata, ad esempio  $\phi 5/15 \times 15$  cm.; le due facce sono collegate da barre interne alla parete poste ad un certo interasse, ad esempio:  $6\phi 6$ /mq.

#### E.2.2.2.5. INCREMENTO DI DUTTILITÀ

(Questa opzione è automaticamente disabilitata nel caso di edifici nuovi).

**Significato.** La duttilità della parete viene incrementata attraverso un intervento che interessa direttamente il materiale costituente la parete, migliorandone le prestazioni meccaniche.

**Conseguenze analitiche.** Aumento della capacità di deformazione plastica della parete, ossia dello spostamento corrispondente al collasso.

**Intervento operativo corrispondente.** L'incremento della duttilità avviene necessariamente con un miglioramento qualitativo del materiale costituente la parete. A parte i casi di Iniezioni e di Intonaco Armato, può trattarsi ad esempio della realizzazione di perforazioni armate; per garantire un'omogeneità di comportamento, le perforazioni devono essere sufficientemente diffuse.

#### E.2.2.2.6. PRECOMPRESSIONE ORIZZONTALE

(Questa opzione è automaticamente disabilitata nel caso di edifici nuovi).

**Significato.** La precompressione orizzontale determina un aumento della tensione tangenziale ultima, ossia della resistenza effettiva a taglio.

**Conseguenze analitiche.** La parete stabilizzata con la precompressione migliora le proprie prestazioni nei confronti delle azioni sismiche; in particolare, sviluppa una resistenza a taglio maggiore.

**Intervento operativo corrispondente.** La parete viene sottoposta ad una coazione determinata da tiranti orizzontali complanari alla parete stessa.

#### E.2.2.2.7. PRECOMPRESSIONE VERTICALE

(Questa opzione è automaticamente disabilitata nel caso di edifici nuovi).

**Significato.** La precompressione verticale determina sia un aumento della tensione tangenziale ultima, ossia della resistenza effettiva a taglio, sia un incremento dello sforzo normale in grado di stabilizzare le verifiche a ribaltamento e ad azioni ortogonali.

**Conseguenze analitiche.** La parete stabilizzata con la precompressione verticale migliora le proprie prestazioni nei confronti delle azioni sismiche; le varie verifiche (azioni complanari e ortogonali) vengono soddisfatte più facilmente.

**Intervento operativo corrispondente.** La parete viene sottoposta ad una coazione determinata da tiranti verticali inseriti nella parete stessa.

#### E.2.2.2.8. INCREMENTO DI “x” (denominatore di $qh^2/x$ , momento per azioni ortogonali)

**Significato.** Attraverso un valore di x maggiore di 8, il momento per azioni ortogonali nella mezzeria della parete viene ridotto rispetto al caso più sfavorevole di parete incernierata alla base e in sommità. Valori di x maggiori di 8 equivalgono quindi a semincastri agli estremi della parete.

**Conseguenze analitiche.** Miglioramento delle verifiche di resistenza per azioni ortogonali.

**Intervento operativo corrispondente.** Lo schema statico di ‘semincastro’ deve essere reso lecito da efficaci collegamenti fra le sezioni di estremità della parete e gli impalcati inferiore e superiore.


#### E.2.2.2.9. VARIAZIONE DELL’ALTEZZA DI CALCOLO $H_{calc}$

**Significato.** La variazione dell’altezza di calcolo  $H_{calc}$  (altezza di calcolo della parete per azioni complanari, utilizzata ad esempio nelle verifiche tipo Por) determina una diversa rigidezza della parete e quindi una diversa distribuzione dell’azione sismica fra le pareti di controvento. I momenti flettenti per azioni complanari sono calcolati con riferimento ad una altezza inferiore.

**Conseguenze analitiche.** Possibile miglioramento dei coefficienti di sicurezza, sia nelle verifiche a taglio sia nella pressoflessione complanare. Pareti ad altezza di calcolo ridotta assumono più forza orizzontale, in quanto risultano più rigide.

**Intervento operativo corrispondente.** Per ridurre  $H_{calc}$ , è necessario ridurre l’altezza ‘libera’ di inflessione. Ad es., per maschi murari posti tra finestre consecutive,  $H_{calc}$  può ridursi all’altezza dell’apertura se le fasce sopra- e sotto- finestra sono sufficientemente rigide, preferibilmente con spessore invariato rispetto ai maschi. Se l’altezza geometrica è pari all’altezza di interpiano (distanza fra estradossi dei solai),  $H_{calc}$  può essere ridotta alla luce netta d’interpiano (altezza di interpiano decurtata dello spessore di solaio).

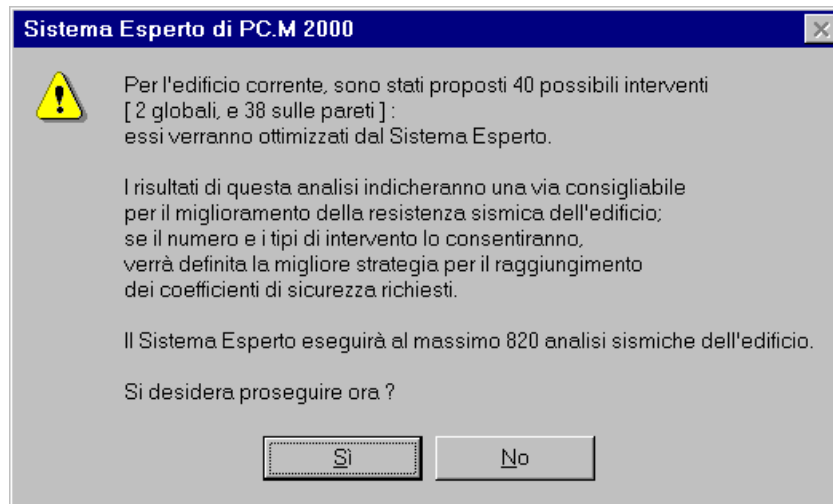
### E.2.3. ESECUZIONE DELL’ANALISI

Per eseguire l’analisi degli interventi, è possibile lanciare il calcolo con il comando **Esegui Analisi (CTRL+F8)** del menu Esperto della finestra Edificio, equivalente al pulsante grafico  della barra degli strumenti Standard: l’analisi avrà inizio.

Qualora non sia stato proposto alcun intervento significativo, un apposito messaggio segnalerà l’impossibilità di eseguire l’elaborazione.

Inizialmente, vengono specificati: il numero di interventi proposti, ed il massimo numero di elaborazioni che potranno essere eseguite; il messaggio si presenta nella forma riportata in fig. 3.

Confermando l’esecuzione, inizia l’elaborazione; eseguita la prima analisi sismica verrà stimato un tempo massimo di elaborazione che sarà impiegato dal Sistema Esperto. Un esempio di schermata corrispondente alla visualizzazione di questo messaggio è riportata in fig. 4.



**Fig. 3.** Informazioni iniziali per l'Analisi degli Interventi.

Accettando la prosecuzione dei calcoli, l'analisi procederà fino al raggiungimento della soddisfazione delle verifiche oppure fino alla scelta di tutti i possibili interventi migliorativi.

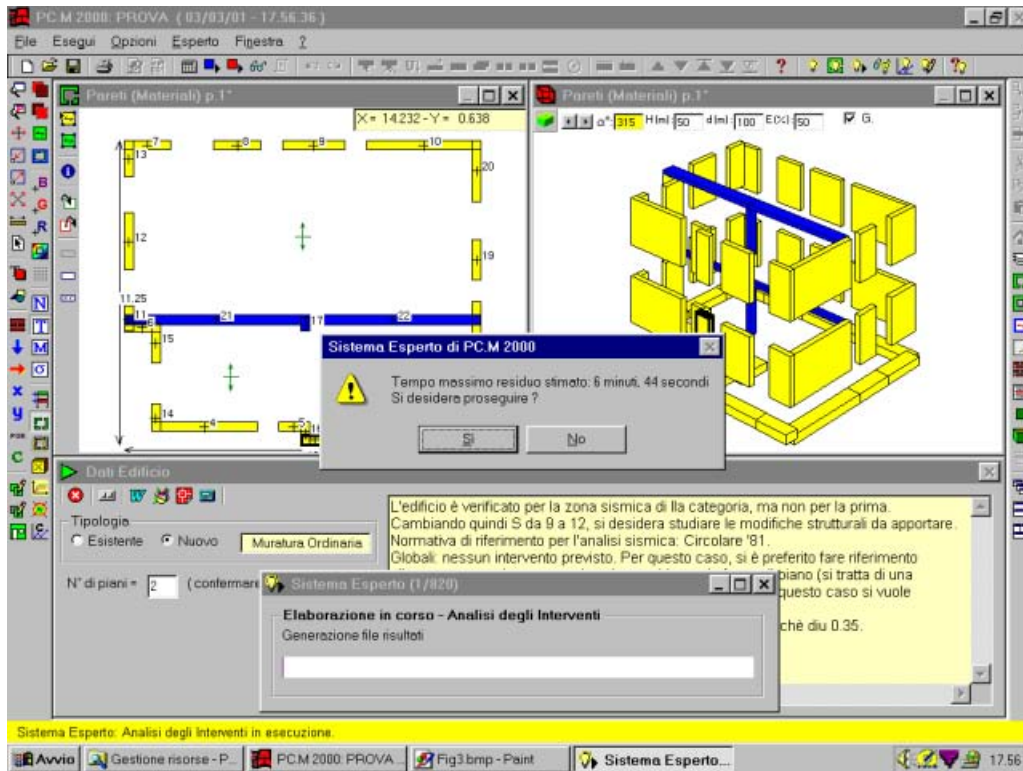
I tempi di esecuzione indicati all'inizio dell'analisi possono essere molto maggiori di quelli che saranno poi strettamente necessari. La stima iniziale, infatti, si basa sull'esecuzione di tutti i calcoli previsti; in realtà, soprattutto quando i coefficienti iniziali non sono molto lontani dal raggiungere la soglia di soddisfazione della verifica, il numero di analisi sismiche richieste può essere molto inferiore al numero massimo possibile; in altre parole, potrebbero anche essere sufficienti pochi interventi per 'consolidare' quanto basta l'edificio.

I tempi dipendono ovviamente dalle caratteristiche prestazionali del sistema utilizzato; gli esempi applicativi riportati nel capitolo E.3. sono stati elaborati su un computer HP Pentium III a 500 MhZ, sistema operativo: Windows 95. E' inoltre consigliabile chiudere altre applicazioni attive prima di lanciare l'analisi; la maggior disponibilità di RAM generalmente riduce i tempi di elaborazione.

L'analisi può fornire due tipi di conclusioni:

- 1) nessun intervento è risultato migliorativo per l'edificio, e quindi non vi sono altre consultazioni da fare;
- 2) oppure: 'n' interventi sono stati scelti in sequenza, con un miglioramento dei coefficienti sismici, che possono o meno aver raggiunto - nella configurazione finale, con tutti gli 'n' interventi posizionati - i limiti di sicurezza richiesti.

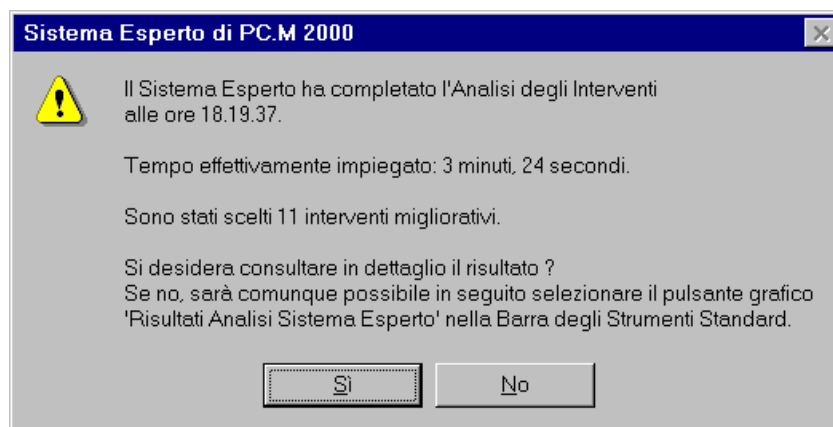
C'è la possibilità che pur non raggiungendo i limiti, non siano stati scelti tutti i possibili interventi: ciò può avere precise giustificazioni; ad esempio, si consulti il paragrafo E.3.2.1. dove l'edificio nuovo analizzato ha carenze prevalenti in direzione Y: essendo quindi già inizialmente soddisfatti i coefficienti X, tutti gli interventi che erano stati previsti per le pareti X non possono influire sul risultato. Pertanto, se dopo aver scelto tutti gli interventi Y il coefficiente globale resta ancora inferiore al limite richiesto (poiché appunto è il coefficiente secondo Y che è ancora troppo basso), non è possibile incrementare oltre la resistenza dell'edificio: occorrerebbe agire proponendo anche altri interventi, oppure intervenendo 'a monte', cambiando qualcosa nella configurazione strutturale resistente dell'edificio.



**Fig. 4.** Stima del tempo che sarà impiegato dal Sistema Esperto per l'Analisi degli Interventi.

L'ultima fase di esecuzione dell'analisi prevede la generazione automatica del file `NomeFile_ESPERTO` dove viene archiviata la struttura con applicati tutti gli interventi di consolidamento scelti dal Sistema Esperto. Questo 'edificio' sarà consultabile come ogni altro archivio di PC.M.

Al termine dell'analisi, un messaggio presenta il consuntivo in termini di tempo effettivamente impiegato e di numero di interventi scelti; un esempio è riportato in fig. 5.




**Fig. 5.** Messaggio conclusivo dell'Analisi degli Interventi.

Scegliendo la consultazione dei risultati, si apre la finestra della Relazione di calcolo del Sistema Esperto, descritta al paragrafo seguente.

### E.2.4. RISULTATI DELL'ANALISI

La 'storia' del procedimento di ottimizzazione, cioè la successione cronologica secondo cui gli interventi sono stati scelti, viene archiviata in un'apposita relazione:

#### Risultati\_Esperto.RTF

posta in C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio. In tale relazione sono anche riportati gli andamenti successivi dei coefficienti sismici C,1 e C,2, generalmente in aumento via via che vengono posizionati uno dopo l'altro gli interventi scelti. Per consultare la relazione, è possibile utilizzare il comando .

Un esempio di relazione prodotta dal Sistema Esperto è il seguente (alcune parti sono state per brevità omesse; la relazione si riferisce all'esempio X-E-02 trattato al paragrafo E.3.1.2. Fra parentesi quadre, in blu, alcuni commenti):

#### RISULTATI ANALISI SISTEMA ESPERTO applicato all'edificio: X-E-02

Coefficienti sismici iniziali:

```
- per Azioni nel Piano: Taglio in direzione X: 0.037
  PressoFlessione in direzione X: 0.000
    minimo valore in direzione X: 0.000
    -----
    Taglio in direzione Y: 0.030
  PressoFlessione in direzione Y: 0.000
    minimo valore in direzione Y: 0.000
    -----
```

pertanto:

```
- per Azioni nel Piano : C,1 = 0.000
- per Azioni Ortogonali: C,2 = 0.000
```

[ Valori iniziali dei coefficienti sismici ]

Gli interventi consecutivamente scelti fra tutti quelli proposti sono:

#### 1) Globale: Trascurabilità della PressoFlessione Complanare

Coefficienti sismici raggiunti:

```
- per Azioni nel Piano: in dir.X: 0.037; in dir.Y: 0.030; pertanto:
  C,1 = 0.030
  (è stata trascurata la PressoFlessione Complanare)
- per Azioni Ortogonali:
  C,2 = 0.000
```

#### 2) Globale: Masse di piano: Fasce medie

Coefficienti sismici raggiunti:

```
- per Azioni nel Piano: in dir.X: 0.037; in dir.Y: 0.030; pertanto:
  C,1 = 0.045
  (è stata trascurata la PressoFlessione Complanare)
- per Azioni Ortogonali:
  C,2 = 0.000
```

(...) [ Omessi per brevità i risultati parziali degli interventi da 3 a 58 ]

#### 59) Parete n.13, piano 3: Iniezioni cementizie

Coefficienti sismici raggiunti:

```
- per Azioni nel Piano: in dir.X: 0.111; in dir.Y: 0.091; pertanto:
  C,1 = 0.091
  (è stata trascurata la PressoFlessione Complanare)
- per Azioni Ortogonali:
  C,2 = 0.059
```

#### 60) Parete n.14, piano 3: Iniezioni cementizie

Coefficienti sismici raggiunti:

```
- per Azioni nel Piano: in dir.X: 0.119; in dir.Y: 0.091; pertanto:
  C,1 = 0.091
  (è stata trascurata la PressoFlessione Complanare)
- per Azioni Ortogonali:
  C,2 = 0.073
```

Coefficienti sismici finali raggiunti:

```
- per Azioni nel Piano : C,1 = 0.091
- per Azioni Ortogonali: C,2 = 0.073
```

[ Valori finali dei coefficienti sismici ]




### Informazioni dettagliate sugli Interventi scelti

#### Intervento n. 1)

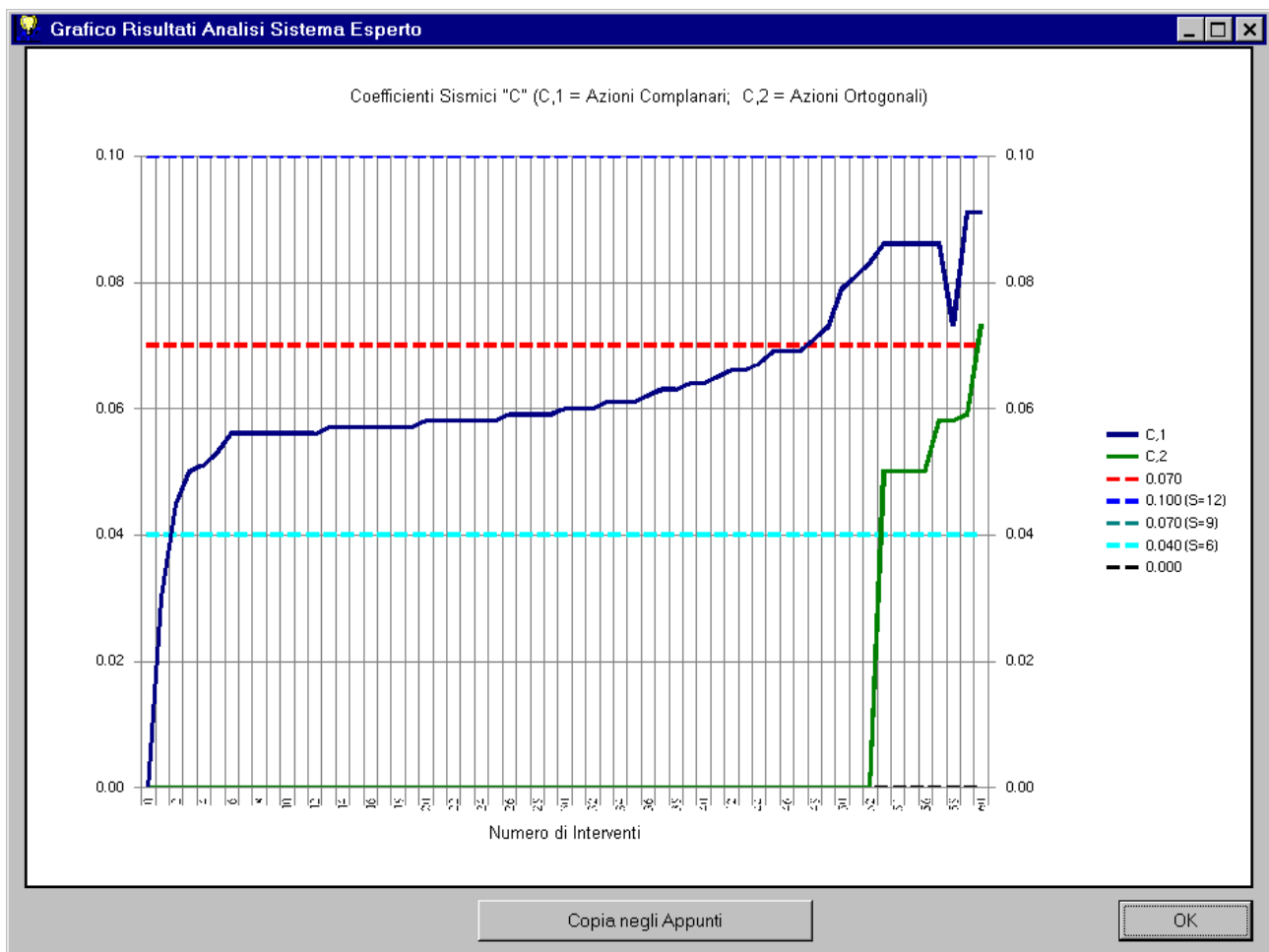
#### Trascurabilità della PressoFlessione Complanare

**Significato.** Viene omessa questa verifica, in genere particolarmente penalizzante. Questa scelta può essere indicata nel caso di strutture con maschi murari tozzi, prevalentemente reagenti a taglio, oppure in edifici dove le fasce orizzontali ('travi alte') offrano efficaci vincoli di irrigidimento (assenza di diminuzione di spessore in corrispondenza dei sopra- e sotto- finestra, e porte di apertura non a tutt'altezza di interpiano).


(...) [ Seguono altre indicazioni su tutte le tipologie degli interventi scelti ]

L'andamento di C,1 e C,2 corrispondente al posizionamento degli interventi consecutivamente scelti è anche rappresentato graficamente: allo scopo, si utilizza il comando .

Un esempio di grafico è riportato in fig. 6.

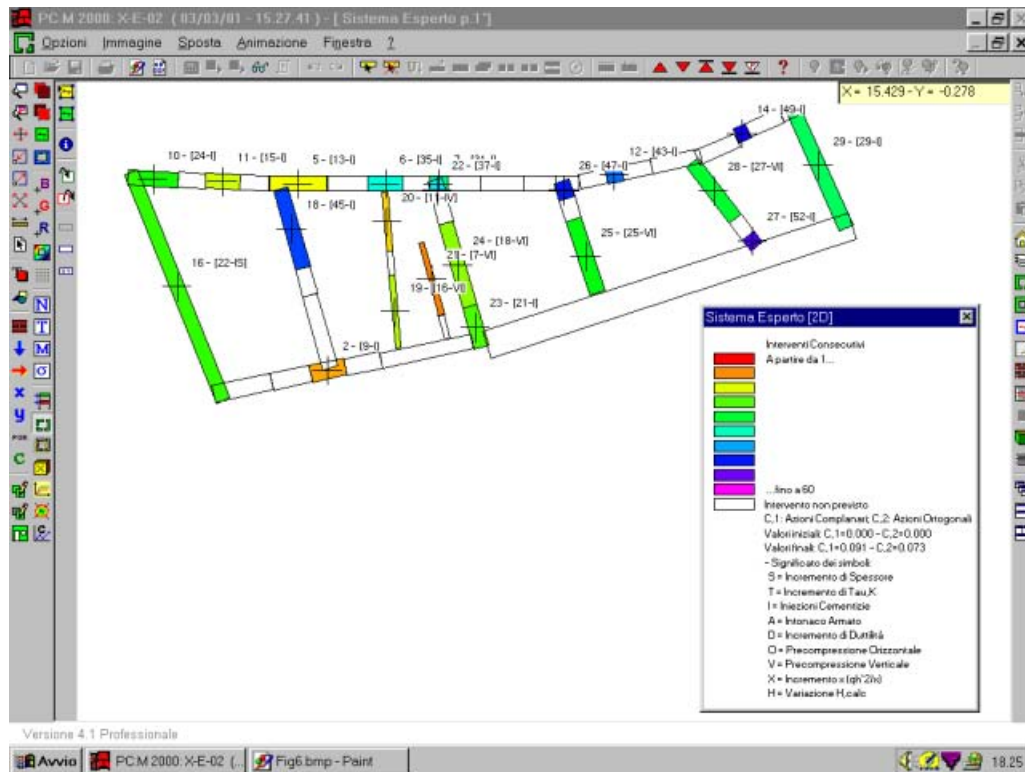


**Fig. 6.** Grafico dei Coefficienti Sismici in funzione degli Interventi consecutivi.

Un disegno apposito, infine, colora in pianta le pareti secondo la successione degli interventi: il comando  produce questa rappresentazione nella finestra grafica correntemente attiva (la 2D o la 3D). Questo comando è equivalente alla scelta del tipo di disegno: 'SISTEMA ESPERTO: Analisi degli Interventi' presente nella finestra



‘Tipo di disegno’, attivabile in PC.M con il comando grafico .  
Il disegno corrispondente al grafico di fig. 6 è riportato in fig. 7.



**Fig. 7.** Disegno in pianta degli Interventi consecutivi (numero e tipologia).

La corrispondente legenda illustra le modalità di rappresentazione grafica: ogni parete è colorata secondo una ‘scala’ dal primo all’ultimo intervento. Nel caso che una parete sia oggetto di più interventi, la colorazione viene effettuata in base al primo intervento scelto in ordine cronologico, durante il procedimento di ottimizzazione. Accanto al numero dell’intervento consecutivo, è riportata una sigla mnemonica della tipologia d’intervento (composta da più di una lettera nel caso di più di un intervento sulla stessa parete; ad esempio IS per la parete 16 significa che è stato previsto un intonaco armato e successivamente anche un incremento di spessore). Come tutti i tipi di disegno di PC.M, anche questo è esportabile sia su bitmap sia su DXF.

### E.2.5. SUGGERIMENTI OPERATIVI

Il Sistema Esperto di PC.M è una procedura originale e innovativa per la determinazione della migliore strategia di intervento su un edificio in muratura non in regola con la sicurezza richiesta dalla Normativa.

Può quindi essere utilizzato in tutti i casi ove non sia immediato definire le pareti su cui intervenire; inoltre, la sua applicazione può convenientemente estendersi al caso degli edifici nuovi e in generale della definizione degli Stati di Progetto, permettendo lo studio oggettivo del rafforzamento di una configurazione inizialmente non soddisfacente.

In generale, la definizione di uno Stato di Progetto mediante l'ausilio del Sistema Esperto può contribuire a rendere 'oggettiva' la scelta degli interventi previsti, fornendo quindi una giustificazione 'scientifica' al progetto strutturale. Ciò può essere particolarmente importante ad esempio quando si debbano ottimizzare limitate risorse economiche disponibili per l'intervento, oppure nel caso di immobili di proprietà pubblica, dove una dimostrazione inappellabile della validità delle decisioni assunte diviene particolarmente importante sia per l'Ente Committente sia per il Progettista.

Per usare al meglio le funzionalità del Sistema Esperto, si consiglia di limitare gli interventi proposti a quelli effettivamente possibili, in modo da contenere il numero di elaborazioni e quindi i tempi necessari per l'analisi. Una volta eseguita l'analisi degli interventi, consultare la struttura NomeEdificio\_ESPERTO (analogamente a ogni altro edificio di PC.M) in modo da verificarne le prestazioni da ogni punto di vista. Alcune verifiche, infatti, non sono considerate dal metodo di ottimizzazione nel corso della scelta degli interventi, e pur tuttavia esse devono essere soddisfatte: si tratta di tutte le verifiche statiche, e delle verifiche sismiche delle fondazioni, a ribaltamento ed eventualmente a pressoflessione ortogonale dei "setti" (strisce unitarie a tutt'altezza dell'edificio). Alcune di queste verifiche possono quindi risultare ancora non soddisfatte (nella struttura NomeEdificio\_ESPERTO); occorrerà dunque completare l'attuazione degli interventi già previsti con altri volti al soddisfacimento completo di tutte le verifiche necessarie.

### E.3. ESEMPI APPLICATIVI

Per ognuno degli esempi successivi sono riportate le principali considerazioni in tema di interventi proposti, interventi scelti e risultati conseguiti. I files degli edifici sottoposti all'analisi del Sistema Esperto sono tutti riportati nella cartella degli esempi di apprendimento all'uso: C:\PCM2000\ES-APPRENDI.

I tempi si riferiscono ad elaborazioni condotte su un sistema HP, Pentium III, 500 MhZ, Windows 95.

#### E.3.1. CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI ESISTENTI

La definizione dello Stato di Progetto a partire da uno Stato Attuale non verificato costituisce la principale modalità d'uso del Sistema Esperto. Identificando gli interventi proponibili, l'applicazione del Sistema Esperto mostra la soglia di resistenza raggiungibile attraverso la loro ottimizzazione.

L'esempio riportato al paragrafo E.3.1.1. guida all'apprendimento delle funzionalità del Sistema Esperto.


##### E.3.1.1. X-E-01: ESEMPIO DI APPRENDIMENTO

Questa struttura è stata sviluppata a partire dall'esempio PG-AT-81 installato da PC.M sia nella cartella C:\PCM2000\EDIFICI, sia in C:\PCM2000\ES-APPRENDI.

Ricordiamo che si tratta dell'edificio analizzato in dettaglio nel volume: **“Terremoto in Umbria e Marche del 1997, Criteri di calcolo per la progettazione degli interventi”**, edito a cura della Provincia di Perugia e del Servizio Sismico Nazionale; si consulti il paragrafo C.1.1. del volume ‘Esempi Applicativi’.

Anziché nell'ambito dei progetti di ricostruzione antisismica secondo la Legge 61/98, inquadrando questo edificio più in generale fra i progetti di adeguamento in zona sismica. E' stato definito quindi un coefficiente di sicurezza 1.00 moltiplicativo del C di riferimento (0.070), anziché 0.65; la soglia di resistenza da conseguire è quindi  $C = 0.070$ .

Rispetto al file PG-AT-81, una diversa scelta riguarda le modalità di analisi delle Azioni Ortogonali. Si sono infatti selezionate le pareti ad altezza di interpiano, anziché i “setti”, poiché il Sistema Esperto è in grado di ottimizzare gli interventi per azioni ortogonali solo con riferimento alle pareti di interpiano.

La verifica dell'edificio presenta i seguenti risultati, come risulta dal Rapporto di Elaborazione consultabile con il comando  della Barra degli Strumenti:

**Verifica di Resistenza alle Azioni Ortogonali:  $C_{2,2} = 0.054$**


**Verifica di Resistenza alle Azioni nel Piano (solo Taglio):  $C_{1,1} = 0.059$**

Lasciamo da parte la verifica a ribaltamento, non soddisfatta, e la verifica delle fondazioni, invece soddisfatta. Agendo sullo stato finale che sarà individuato dal Sistema Esperto, si avrà cura di soddisfare anche questi altri aspetti strutturali non considerati nel corso del procedimento di ottimizzazione degli interventi. In questo caso particolare, sulle fondazioni non vi sarà probabilmente alcunché da fare, mentre nei confronti del ribaltamento si dovranno inserire forze stabilizzanti (ad es. catene a livello degli impalcati) in modo da alzare il coefficiente sismico corrispondente (inizialmente addirittura nullo:  $C_{3,3}=0.000$ ) fino alla soglia richiesta (0.070). Si ricorda che la verifica a ribaltamento è facile da soddisfare inserendo tiri anche modesti; pertanto, si è ritenuto superfluo inserire nel processo di ottimizzazione questa tipologia di verifica.

Per questa struttura, proponiamo alcuni interventi che riteniamo possibili, al fine di studiarne l'organizzazione ottimale attraverso il Sistema Esperto.

Si vogliono anzitutto proporre tutti i possibili interventi di tipo ‘globale’.

La finestra Edificio sia la finestra correntemente attiva (il suo bordo del titolo appare in blu).

**ALT+E,G** (comando del menu Esperto) (o equivalentemente: ) attiva la finestra di dialogo ‘Proposte di Intervento: Parametri Globali’.

Risultano selezionati tutti gli interventi globali proponibili, come evidenziato dal fondo blu di alcune opzioni.

Facendo clic su una qualunque opzione attivata, la si disattiva; riattivarla. Facendo clic su ‘Contributo Elementi

in C.a. - Acciaio' non si ha alcun effetto: in questo caso, infatti, questa opzione è disabilitata, non essendo presente nella struttura alcun elemento di tali materiali.

Con il tasto **TAB** il fuoco si sposta da un'opzione all'altra, evidenziando nella casella di testo (in basso, nella finestra) la descrizione dello stato dell'opzione corrente. Facendo clic sul pulsante delle Informazioni **i**, si hanno tutte le informazioni necessarie sull'intervento corrispondente all'opzione corrente (riguardanti: significato, conseguenze analitiche ed intervento operativo corrispondente).

Confermando con OK, le proposte di intervento globali attivate vengono convalidate.

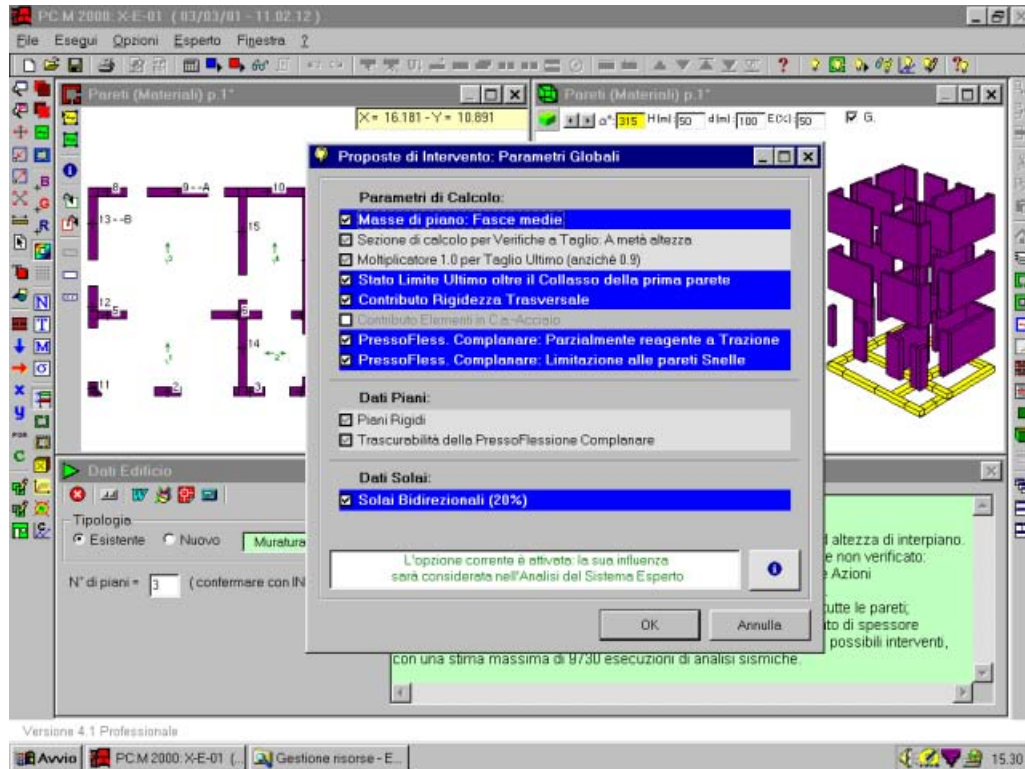






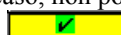


Fig. 8. Esempio X-E-01: apprendimento all'uso del Sistema Esperto.


Spostando l'attenzione sulle singole pareti, si desidera ora fare le seguenti proposte di intervento: per tutte le pareti di tutti i piani: intonaco armato; incremento di "x" per le azioni ortogonali (14 anziché 8); per le pareti dei piani primo e secondo (il 2 e il 3 di calcolo): incremento di spessore da 0.30 a 0.40 cm., come al piano terra.



Per fare queste proposte, il comando del menu Esperto ALT+E,P (o equivalentemente: ) apre la finestra 'Interventi Pareti'.


Le celle blu indicano gli interventi già attivati, che sono appunto quelli citati. Se desiderassimo ad esempio proporre anche le iniezioni al piano 2, potremmo procedere così: spostare la tabella sul piano 2 con il comando , quindi porre la cella sulla prima riga (parete 1 del piano 2), in corrispondenza della colonna 'Iniezioni'. Facendo clic sull'icona , questa verrà cambiata in , ad indicare che la casella è attivata, e la cella diverrà immediatamente blu: , indice dell'attivazione dell'intervento.

Si osservi che questo intervento viene effettivamente attivato dal momento che la  $\tau_k$  della parete è attualmente pari a 8 t/mq, come riportato nella colonna (grigia, perché non editabile) 'Tau,k parete', e le Iniezioni prevedono il conseguimento di una  $\tau_k$  pari a 11 t/mq. Se la parete avesse già una  $\tau_k \geq 11$  t/mq, pur attivando il check delle Iniezioni (cioè, pur impostando ) , il fondo della cella non sarebbe colorato in blu, in quanto l'intervento non sarebbe effettivo: le iniezioni, in tal caso, non potrebbero migliorare la resistenza che la parete possiede già. La cella risulterebbe nel seguente modo: .

Per estendere questo intervento a tutte le pareti, è sufficiente mantenere la cella nella posizione: riga 1, colonna


Iniezioni, e fare clic sul comando .

Poiché nel caso in esame si preferirà considerare il solo intonaco armato, si esca dalla finestra 'Interventi Pareti' senza confermare, usando il comando  (se avessimo voluto invece confermare, avremmo usato il comando .


A questo punto, si lancia l'esecuzione dell'analisi degli interventi. A tal fine, utilizzare il comando **ALT+E,E** (scelta rapida: **CTRL+F8**) del menu Esperto della finestra Edificio: 'Esegui Analisi', o equivalentemente: .

Un messaggio indica che sono stati proposti 139 interventi, e che il numero massimo di analisi dell'edificio sarà pari a 9730. Confermando, il Sistema Esperto procede; dopo la prima analisi, è in grado di stimare il tempo massimo che sarà impiegato; risulta: 1 ora, 47 minuti, 3 secondi. Presumibilmente, tuttavia, il tempo che sarà impiegato sarà sensibilmente inferiore, in quanto i coefficienti C,1 e C,2 non sono molto lontani dalla soglia richiesta (valgono circa 0.055 anziché 0.070, quindi la configurazione iniziale dell'edificio ha già il 78% circa della resistenza richiesta).

Infatti, il Sistema Esperto procede scegliendo 13 interventi, in un tempo effettivamente impiegato pari a: 2 minuti, 8 secondi (!)

Il risultato finale può essere consultato nella Relazione apposita, direttamente confermando con "Sì" il messaggio presentato alla fine dell'elaborazione. Questa relazione può comunque essere consultata anche successivamente, utilizzando il comando **ALT+E,R** del menu Esperto della finestra Edificio (o equivalentemente: .

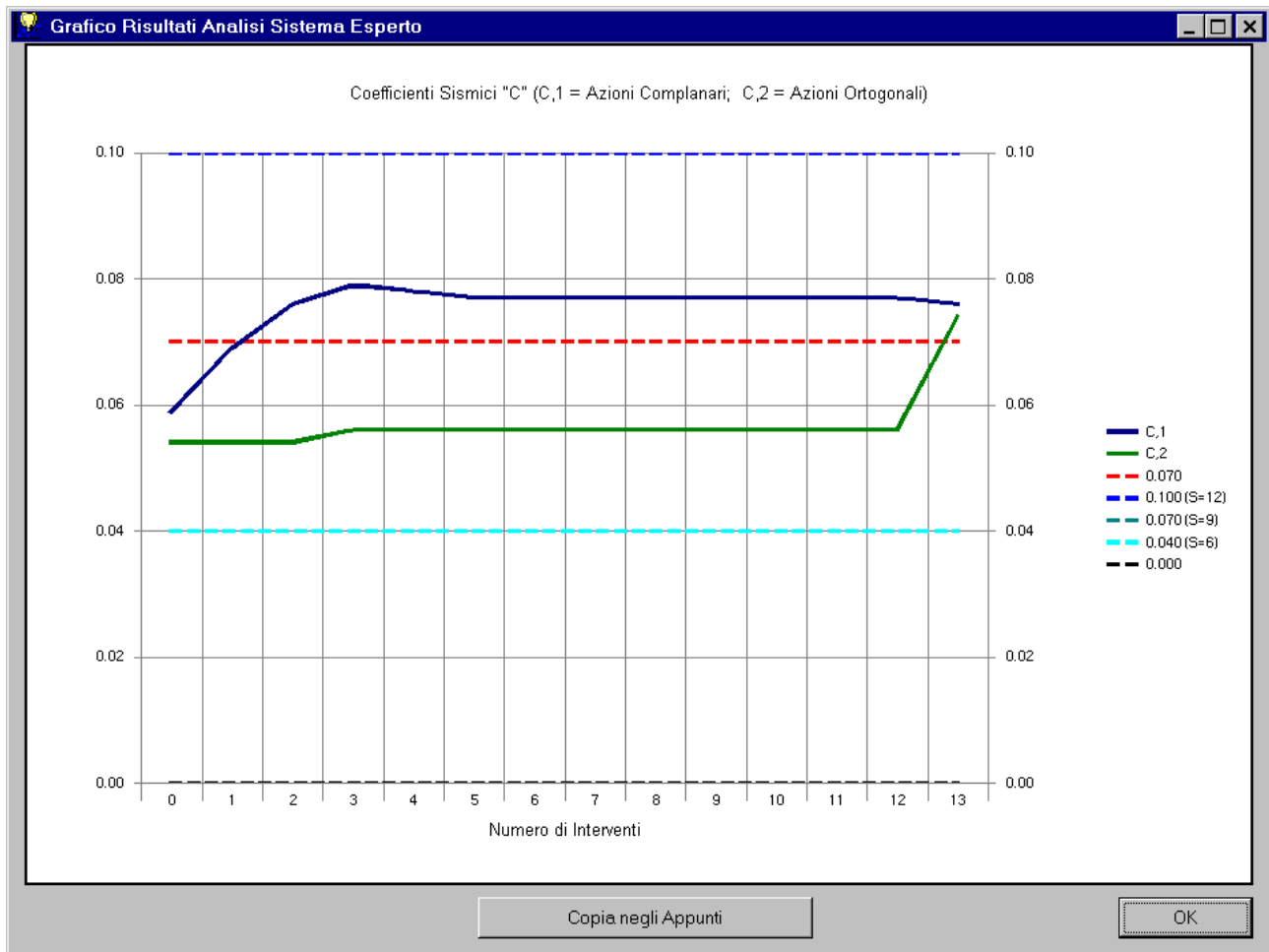
In tale relazione è riportata in dettaglio la 'storia' dei 13 interventi consecutivi e i corrispondenti coefficienti sismici C,1 e C,2 via via conseguiti. Al termine del procedimento, cioè a 13° intervento eseguito, risulta: C,1 = 0.076; C,2 = 0.074.

Il comando **ALT+E,O** del menu Esperto della finestra Edificio (o equivalentemente: ) mostra graficamente la successione dei coefficienti sismici nel corso degli interventi.



Il grafico di questo esempio è riportato in fig. 9.

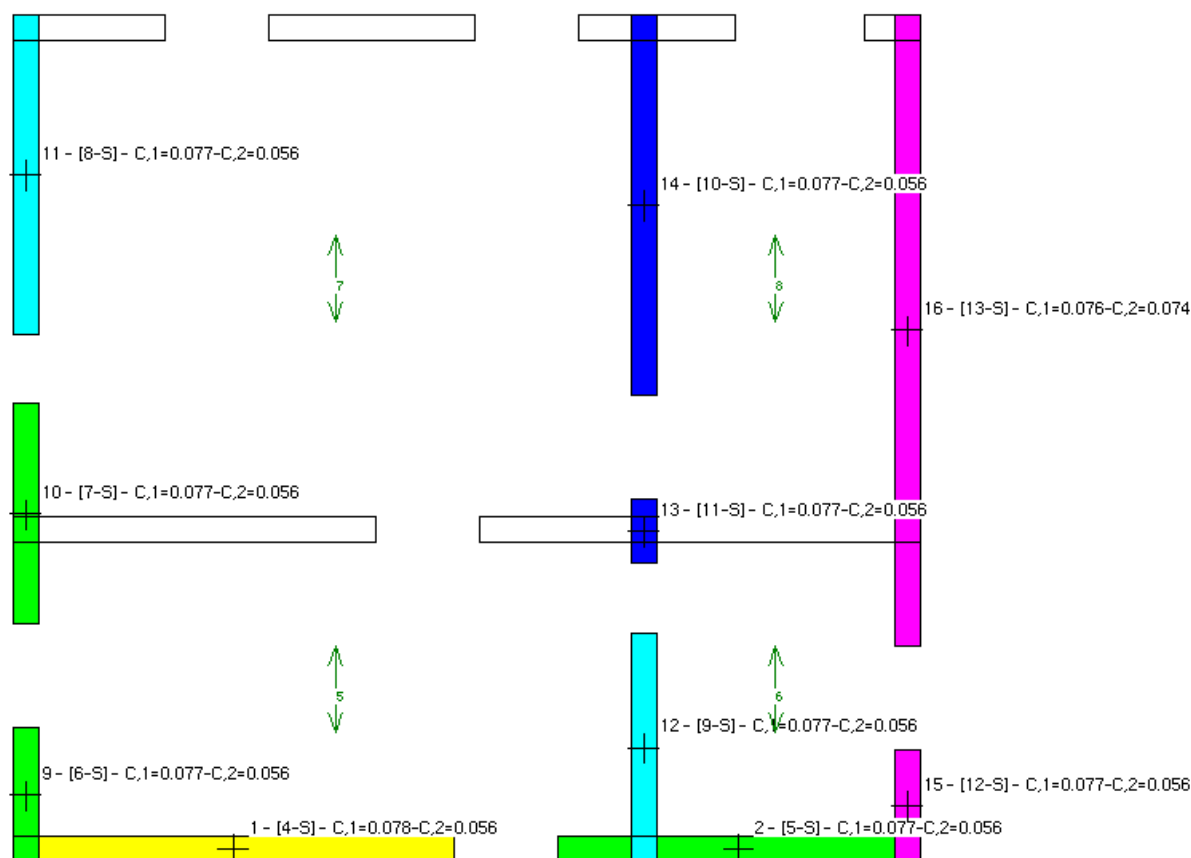
E' interessante osservare, dalla Relazione, che fra gli interventi scelti è prevalso nettamente l'incremento di spessore rispetto all'intonaco armato. Sia la Relazione, sia il Grafico mostrano che al già secondo intervento il coefficiente C,1 per Azioni Complanari supera la soglia 0.070; gli interventi successivi sono volti al rafforzamento della struttura nei confronti dei meccanismi per azioni ortogonali; occorre un certo numero di interventi affinché anche questa verifica sia soddisfatta. Si osservi anche che i successivi incrementi di spessore scelti per migliorare le verifiche ad Azioni Ortogonali penalizzano un poco la resistenza ad Azioni Complanari, che pur restando a livelli soddisfacenti tende leggermente a diminuire: è evidente che l'alterazione delle dimensioni delle pareti influisce anche sulla resistenza per Azioni Complanari. Comunque sia, il risultato desiderato alla fine è raggiunto.

Fra le possibili conclusioni, si può affermare ad esempio che in questo edificio sarebbe più opportuno riportare tutte le pareti allo spessore di 0.40 cm. piuttosto che 'rivestirle' di intonaco armato.




**Fig. 9. X-E-01:** Grafico dei Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.

Infine, il comando **ALT+E,D** del menu Esperto della finestra Edificio (o equivalentemente: ) mostra il 'tipo di disegno' che mostra la successione degli interventi attraverso la colorazione delle pareti. Questa rappresentazione grafica è riportata in pianta (vista 2D) in fig. 10, e in vista 3D fig. 11. Questo disegno è direttamente selezionabile, come ogni altro tipo di disegno, dalla finestra 'Tipo di Disegno' richiamata dal comando  della Barra degli Strumenti standard.

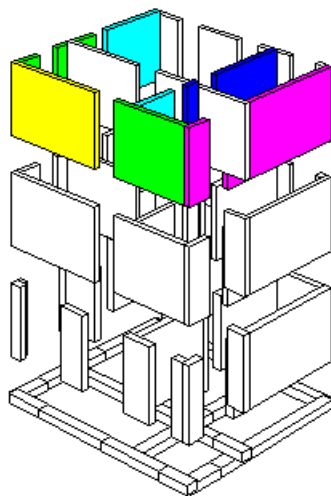


**Fig. 10.** X-E-01: Pianta dei Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.

In corrispondenza di ogni parete, in fig. 10 sono riportati:

- il numero della parete;
- il numero di intervento consecutivo e la sua tipologia [la sigla S identifica - come mostra la legenda del disegno attivabile come sempre con il comando  - l'incremento di spessore];
- i corrispondenti coefficienti sismici C,1 e C,2 conseguiti.

In questo particolare caso, possiamo notare che mancano i primi 3 interventi: infatti, essi sono 'globali' e quindi non riguardano specifiche pareti.



**Fig. 11.** *X-E-01: Vista 3D dei Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.*

La fig. 11 ben evidenzia il fatto che sono stati scelti interventi solo per l'ultimo piano dell'edificio. Questo comporta una riflessione sul significato fisico e operativo degli interventi scelti: poiché si tratta di aumenti di spessore, è chiaro che tale aumento dovrà essere fatto anche nelle pareti corrispondenti del primo piano (piano 2 di calcolo), in modo da assicurare una continuità dei 40 cm. di spessore dal basso verso l'alto (ricordiamo infatti che sia il primo che il secondo piano sono caratterizzati inizialmente da spessori di 30 cm., arretrati rispetto ai 40 del piano terra).

Per completare con questi ulteriori aumenti di spessore la struttura definitiva, si agirà sul file:

X-E-01\_ESPERTO

che infine verrà fatto girare come un qualunque edificio, per esaminarne a fondo tutte le verifiche statiche e sismiche.



## E.3.1.2. X-E-02

Questa struttura è stata sviluppata a partire dall'esempio E-P-01 installato da PC.M nella cartella C:\PCM2000\ES-PROGETTI. Si tratta della Canonica di Ceserano (Fivizzano, MS), nella sua schematizzazione completa (vd. paragrafo C.2.1., volume 'Esempi Applicativi').

Anche per questo caso, sono state apportate alcune modifiche per uno studio più articolato delle funzionalità del Sistema Esperto.

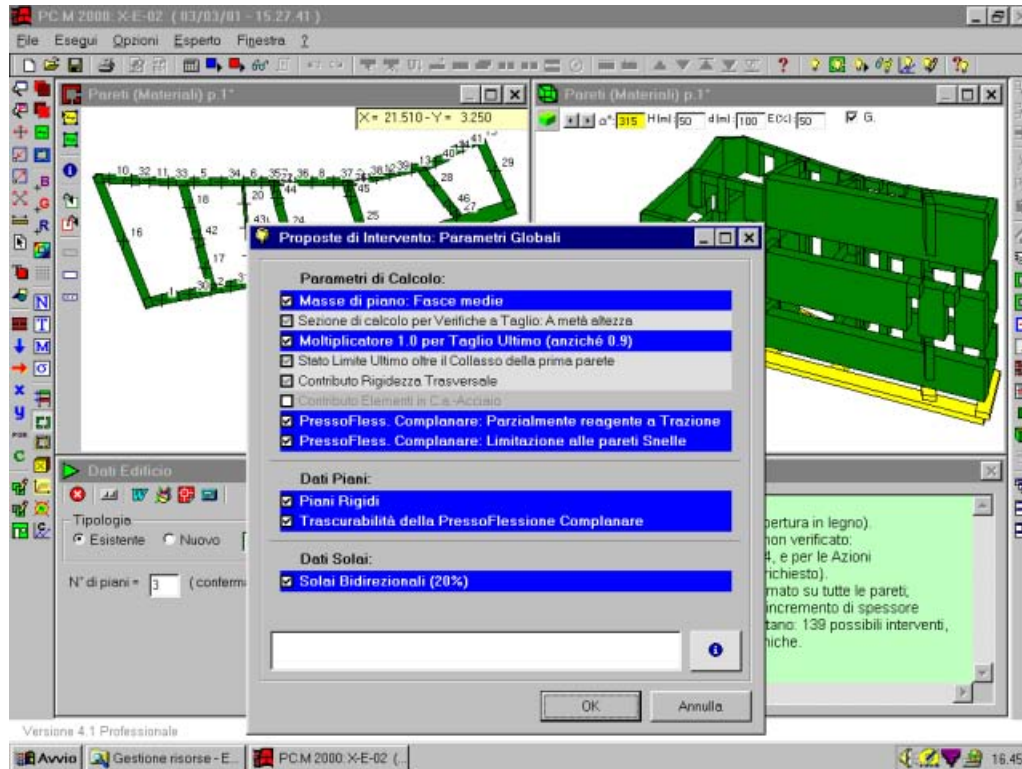


Fig. 12. Esempio X-E-02.

Più esattamente, si è reso non rigido l'ultimo piano, ipotizzando una copertura in legno. E' interessante, infatti, esaminare un caso di impalcati 'misti', in parte rigidi ed in parte deformabili.

Questa configurazione mostra l'edificio completamente non verificato. Risultano infatti i seguenti coefficienti:

- Per Azioni Complanari:

$C_{1,1} = 0.035$  per Taglio sui piani rigidi (il 1° e il 2°); 0.030 per Taglio sul piano deformabile (il 3° piano); 0.000 per PressoFlessione sui piani rigidi; 0.009 per PressoFlessione sul piano deformabile. Pertanto:

$C_{1,1} = 0.000$ .

- Per Azioni Ortogonali:

$C_{2,2} = 0.000$ .

Si parte quindi da valori iniziali di  $C_{1,1}$  e  $C_{2,2}$  entrambi nulli. Nell'analisi di questo edificio si prescinde dalla Verifica a Ribaltamento (ovviamente un progetto di consolidamento efficace dovrà mettere in sicurezza il fabbricato anche nei confronti di questi meccanismi rigidi, accertando la presenza di forze di piano stabilizzanti oppure inserendole ad esempio tramite catene).

Le proposte di intervento praticate sono le seguenti:

- Globali: tutte le possibili (vd. fig. 12);

- su Pareti: iniezioni ovunque; intonaco armato ovunque; precompressione verticale di  $1 \text{ kg/cm}^2$  ovunque; incremento di "x" al valore 18 ovunque; incremento di spessore per la parete 16 del piano 1 da 0.65 a 0.85 m.

Risultano: 336 possibili interventi, e 56616 è il massimo numero di analisi che verranno eseguite.

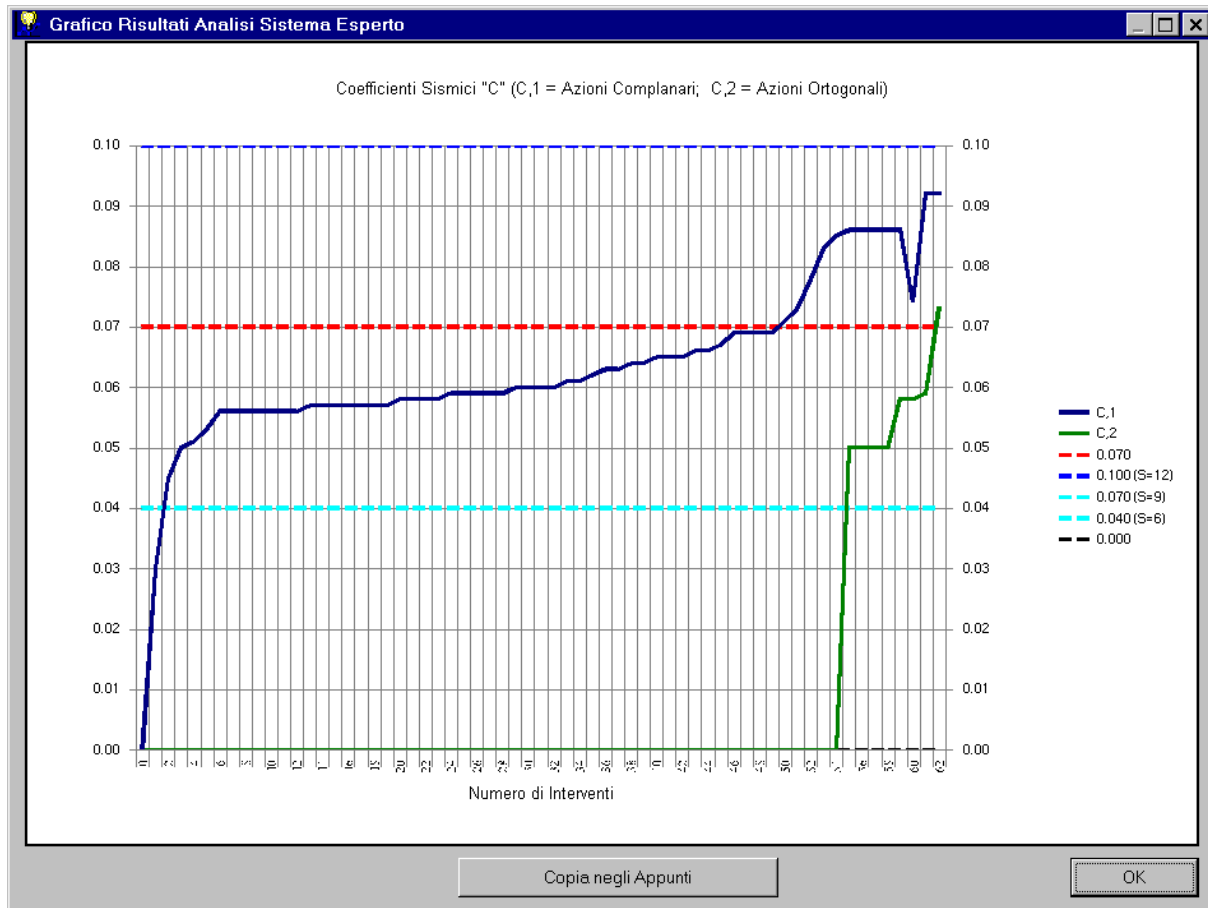
Il tempo stimato risulta molto elevato: 28 ore, 30 minuti e 16 secondi.

Eseguita l'elaborazione, il tempo effettivamente impiegato risulta: 4 ore, 16 minuti e 59 secondi.

Sono stati scelti 62 interventi, ed i valori finali dei coefficienti conseguiti sono:

$C,1 = 0.092$ ,  $C,2 = 0.073$ :

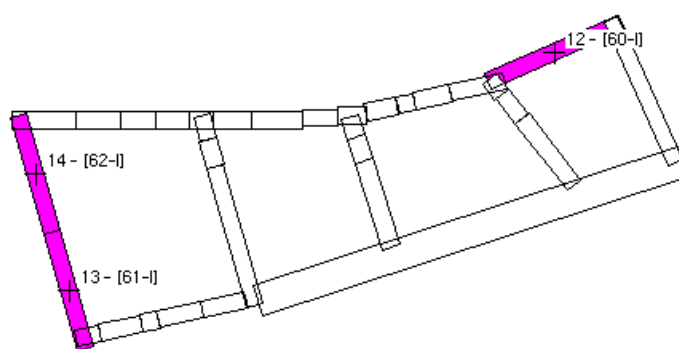
è stata così superata la soglia richiesta (0.070; l'edificio è posto infatti in zona sismica di IIa Categoria).



**Fig. 13.** X-E-02: *Grafico dei Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.*

In fig. 13 è riportato il grafico dell'andamento progressivo dei coefficienti sismici in funzione della scelta degli interventi consecutivi. E' interessante osservare la sensibile 'caduta' di C,1 fra l'intervento n°59 ed il n°60.

Approfondendone le cause, si scopre che l'iniezione della parete 12 al piano 3 (60° intervento, scelto per il consolidamento ad Azioni Ortogonali) comporta uno spostamento significativo del centro delle rigidezze del piano 3, con peggioramento della risposta ad Azioni Complanari (Taglio e PressoFlessione), immediatamente - però - bilanciato dall'intervento successivo (il 61°, iniezione della parete 13, collocata sul lato opposto dell'edificio rispetto alla parete 12; vd. fig.14).



**Fig. 14.** X-E-02: Piano 3°: Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.

Come risulta dalla consultazione del file X-E-02\_ESPERTO, la struttura individuata dal completamento dell'ottimizzazione da parte del Sistema Esperto avrà infine bisogno di correttivi in fondazione, dove le tensioni sia statiche sia sismiche sono troppo elevate.

## E.3.1.3. X-E-03

Questa struttura è stata sviluppata a partire dall'esempio E-P-03-A installato da PC.M nella cartella C:\PCM2000\ES-PROGETTI. Si tratta di un edificio consolidato nell'ambito della ristrutturazione e ricostruzione antisismica, a seguito del terremoto del 26 settembre 1997 (vd. paragrafo C.2.3., volume 'Esempi Applicativi').

Per questo Stato Attuale risultano:

$C_1 = 0.014$ ,  $C_2 = 0.215$ .

Pertanto, l'analisi degli interventi trascurerà le Azioni Ortogonali, di fronte alle quali l'edificio è già ampiamente verificato, ed analizzerà soltanto la resistenza ad Azioni nel Piano (solo Taglio, in quanto la PressoFlessione Complanare è stata a priori considerata trascurabile).

Nello spirito degli interventi di ricostruzione antisismica secondo la Legge 61/98, la soglia fissata di resistenza è pari a  $0.65 * 0.070 = 0.0455$ .

Le proposte di intervento praticate sono le seguenti:

- Globali: tutte le possibili (vd. fig. 15);
- su Pareti: intonaco armato ovunque.

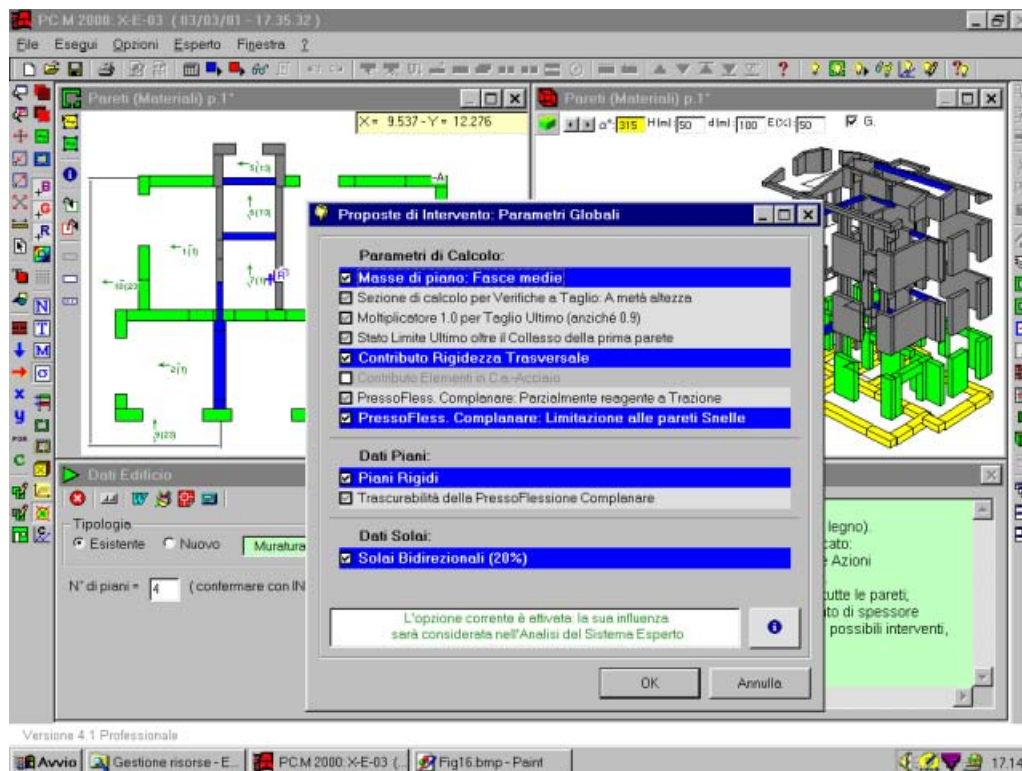


Fig. 15. Esempio X-E-03.

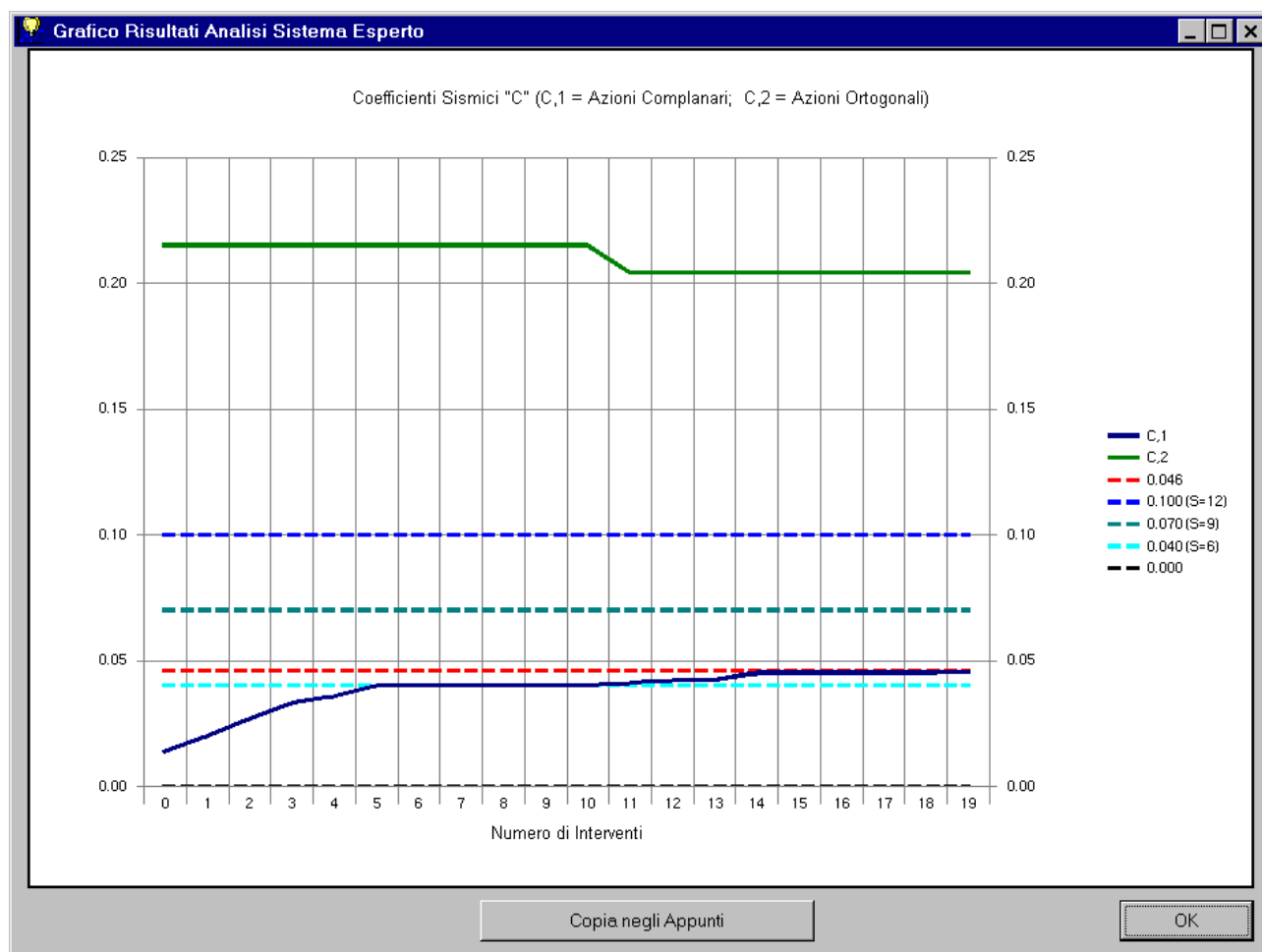
Risultano: 119 possibili interventi, e 7140 è il massimo numero di analisi che verranno eseguite. Il tempo stimato risulta abbastanza elevato: 7 ore, 4 minuti e 52 secondi.

Eseguita l'elaborazione, il tempo effettivamente impiegato risulta: 2 ore, 1 minuto e 18 secondi.

Sono stati scelti 19 interventi, ed i valori finali dei coefficienti conseguiti sono:

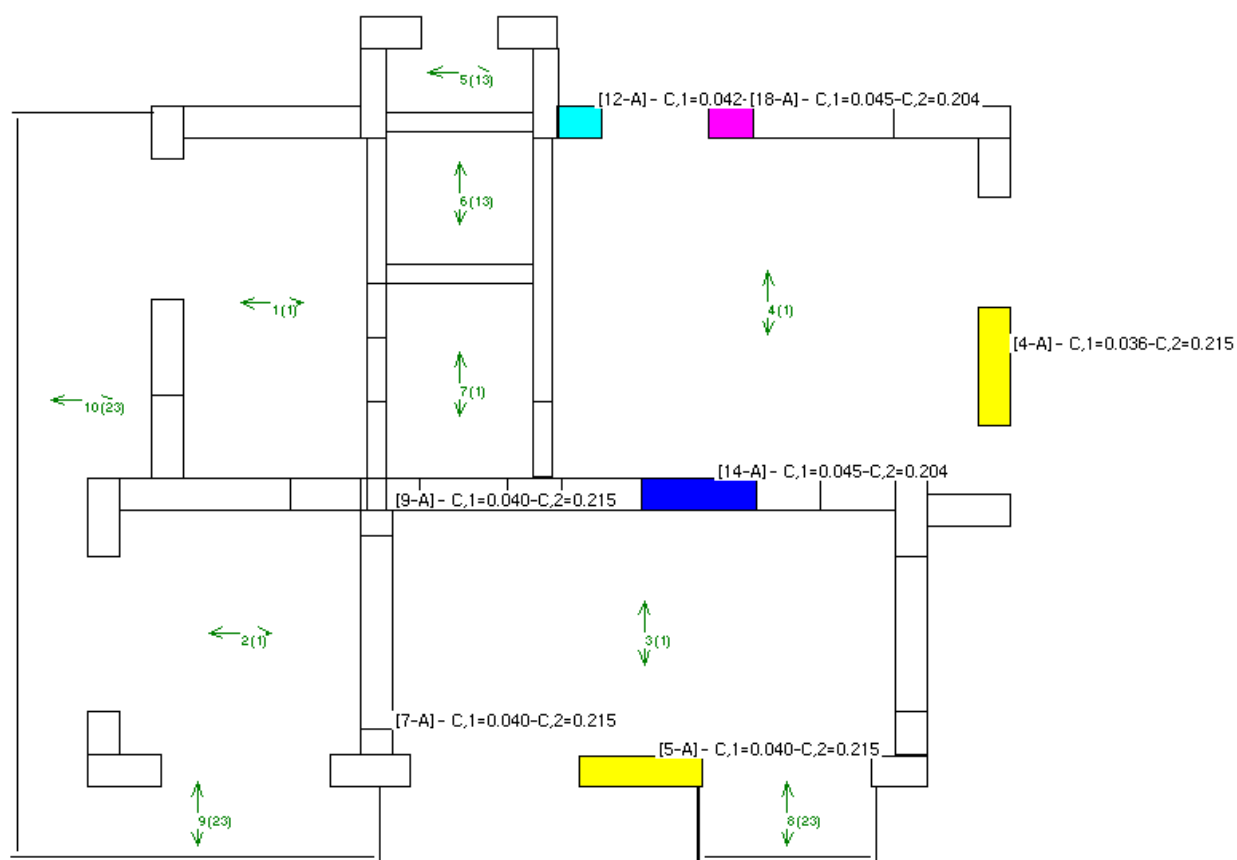
$C_1 = 0.046$ ,  $C_2 = 0.204$ :

è stata così superata la soglia richiesta (0.0455). Si osservi che il C,2 tende leggermente a peggiorare, ma questo comportamento è normale e comunque la soglia di resistenza alle Azioni Ortogonali è molto ampia.



**Fig. 16.** X-E-03: *Grafico dei Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.*

In fig. 16 è riportato il grafico dell'andamento progressivo dei coefficienti sismici in funzione della scelta degli interventi consecutivi.



**Fig. 17.** X-E-03: Piano 1: Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.

La fig. 17 (riferita al piano 1 di calcolo, cioè al piano terra) evidenzia come l'intervento di intonaco armato sia da realizzarsi qua e là, in ordine sparso, rispettando il criterio di rafforzamento della resistenza a taglio con contemporanea ricerca dell'isoresistenza fra le due direzioni di verifica X e Y. Ciò corrisponde appunto al criterio di scelta del miglior intervento su cui è fondata l'analisi degli interventi condotta dal Sistema Esperto.

### E.3.2. PROGETTAZIONE OTTIMIZZATA DI NUOVI EDIFICI

La messa a punto definitiva di uno Stato di Progetto relativo a un nuovo edificio costituisce un'altra modalità d'uso del Sistema Esperto, non meno interessante del caso del consolidamento degli edifici esistenti. In questo caso, il concetto di 'intervento' deve essere inteso nel senso di 'modifica' strutturale che il Progettista ipotizza per migliorare una la risposta dell'edificio che, nella configurazione attualmente progettata, è ancora insufficiente nei confronti della resistenza richiesta dalla Normativa.

L'esempio descritto al paragrafo seguente illustra questo tipo di applicazione del Sistema Esperto.

#### E.3.2.1. X-N-01

Questa struttura è stata sviluppata a partire dall'esempio N-A-02 installato da PC.M nella cartella C:\PCM2000\ES-APPRENDI. Si tratta di un edificio nuovo, costituito da muratura perimetrale con un telaio interno in c.a.

L'edificio risulta già verificato per una zona sismica di IIa Categoria, ma non per la Ia.

In questo esempio, si desidera applicare il Sistema Esperto di PC.M per studiare le modifiche strutturali da apportare in modo che la sicurezza dell'edificio sia garantita anche per una zona sismica di Ia Categoria.

L'esempio viene articolato in due casi: il primo, eseguendo l'elaborazione sismica secondo la Circolare 21745 del 30.7.1981; il secondo, nello spirito del D.M. 20.11.1987. I nomi dei files sono rispettivamente: X-N-01-81 e X-N-01-87.

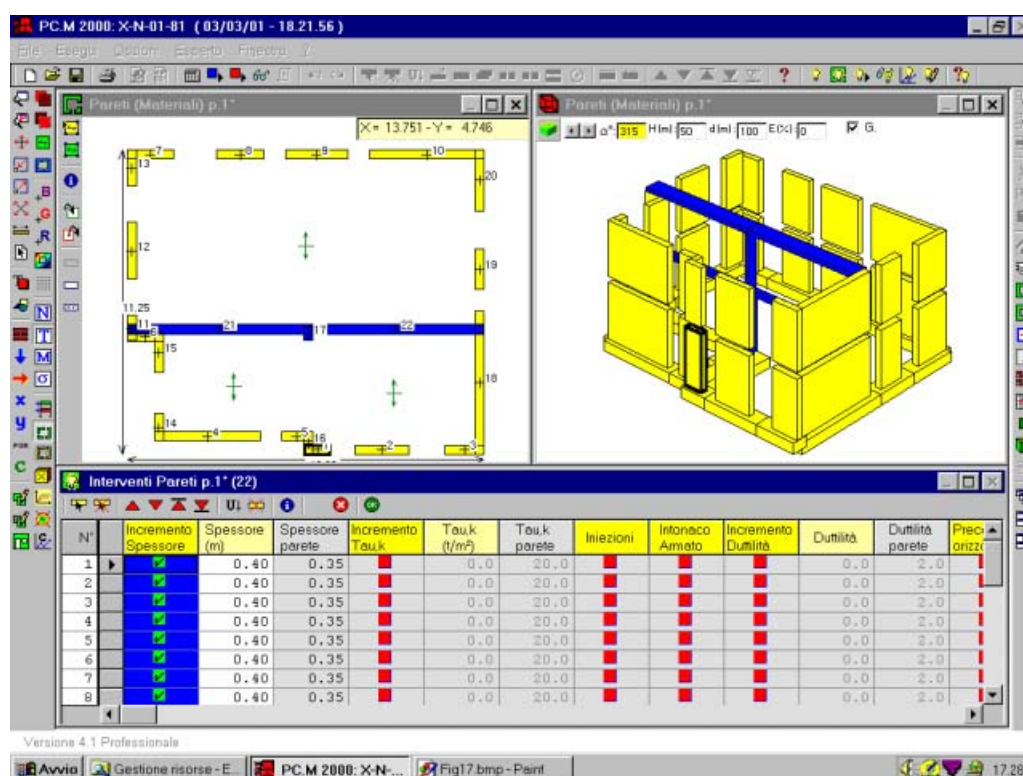


Fig. 18. Esempio X-N-01.

**(A) Calcolo secondo la Circolare 21745 del 30.7.1981.**

L'edificio è già verificato ad Azioni Ortogonali; risulta invece non soddisfatta la verifica ad Azioni Complanari:  
 $C_1 = 0.082$  ( $< 0.100$  richiesto, con l'ipotesi di  $S=12$ );  
 $C_2 = 0.266$ .

Dietro gli interventi proposti, sarà quindi eseguita un'analisi ad Azioni Complanari (solo Taglio, essendo disattivata la PressoFlessione Complanare).

Per quanto riguarda gli interventi proposti: non si propone alcun intervento globale; si propone invece un aumento di spessore da 0.35 a 0.40 m. per tutte le pareti ad entrambi i piani.

Risultano: 38 possibili interventi, e 741 è il massimo numero di analisi che verranno eseguite.  
 Tempo massimo stimato: 6 minuti e 5 secondi.

Eseguita l'elaborazione, il tempo effettivamente impiegato risulta: 3 minuti e 16 secondi.

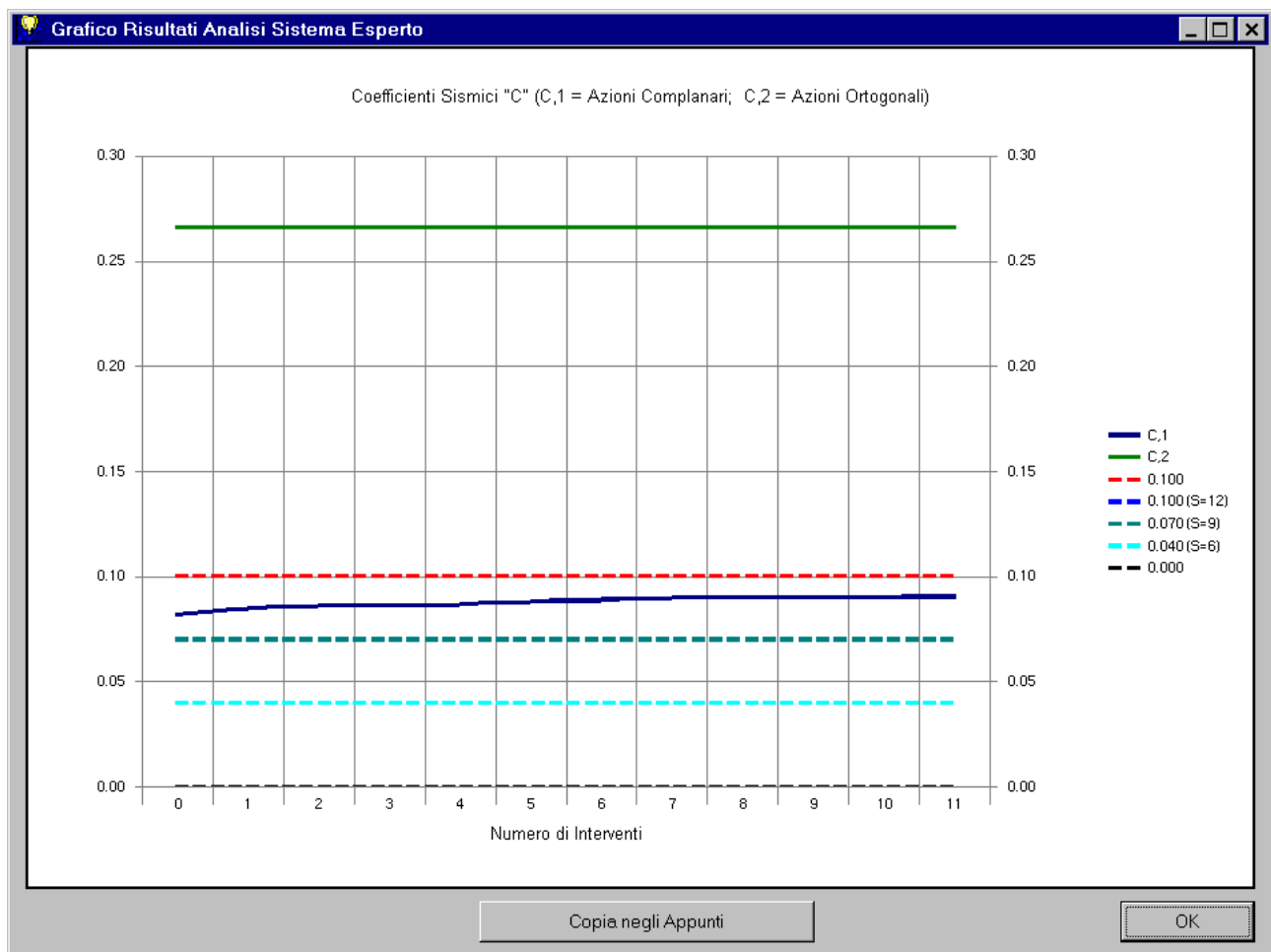
Sono stati scelti 11 interventi, ed i valori finali dei coefficienti conseguiti sono:

$C_1 = 0.091$ ,  $C_2 = 0.266$ .

Pertanto, nella configurazione finale ottimizzata dal Sistema Esperto, la verifica sismica non è ancora soddisfatta:

$C_1$  è ancora inferiore a 0.100.

Il grafico di fig. 19 mostra l'andamento dei coefficienti sismici  $C_1$  e  $C_2$  in funzione degli interventi consecutivi.



**Fig. 19.** X-N-01-81: Grafico dei Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.



Si potrebbe quindi chiedersi perché mai venga scelto un numero di interventi minore di quanti ne sono possibili (11 anziché 38), arrestandosi ad una resistenza ancora insufficiente.

La ragione di questo comportamento sta nella debolezza dell'edificio in direzione Y, rispetto al comportamento in direzione X. Il Sistema Esperto arriva fin dove può, posizionando interventi di rafforzamento secondo Y, ma da un certo punto in poi non è più possibile un incremento di resistenza in direzione Y e quindi non si riesce più a migliorare il coefficiente di sicurezza. La fig. 20, con la rappresentazione in pianta dei risultati dell'analisi degli interventi per il piano 1, mostra chiaramente come in direzione Y sia stato fatto tutto il possibile.

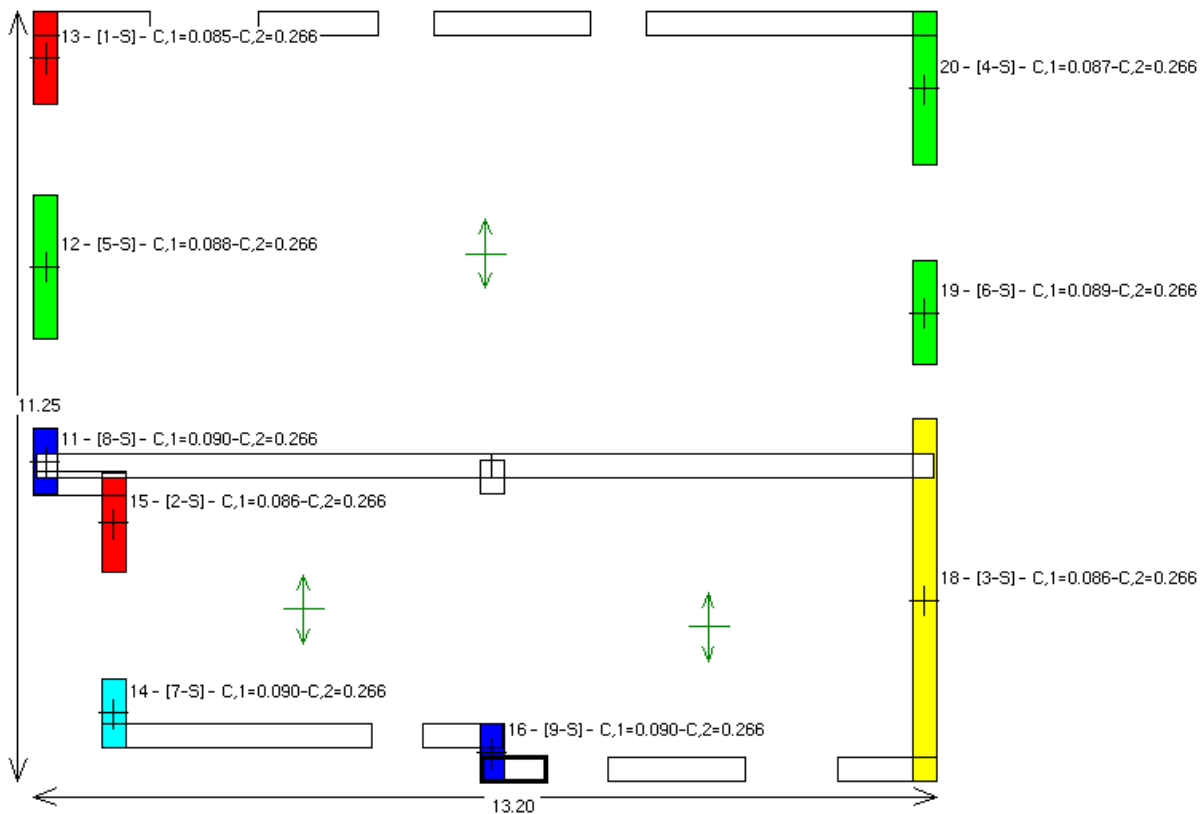


Fig. 20. X-N-01-81: Piano 1: Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.

#### (B) Calcolo secondo il D.M. 20.11.1987.

L'edificio è già verificato ad Azioni Ortogonali; risulta invece non soddisfatta la verifica ad Azioni Complanari:  
 $C,1 = 0.052 (< 0.100 \text{ richiesto, con l'ipotesi di } S=12);$   
 $C,2 = 0.114.$

Gli interventi proposti sono gli stessi della schematizzazione precedente (A).

Risultano ancora, quindi, 38 possibili interventi, con 741 come massimo numero di analisi che verranno eseguite.

Tempo massimo stimato: 6 minuti e 48 secondi.

Eseguita l'elaborazione, il tempo effettivamente impiegato risulta: 5 minuti e 7 secondi.

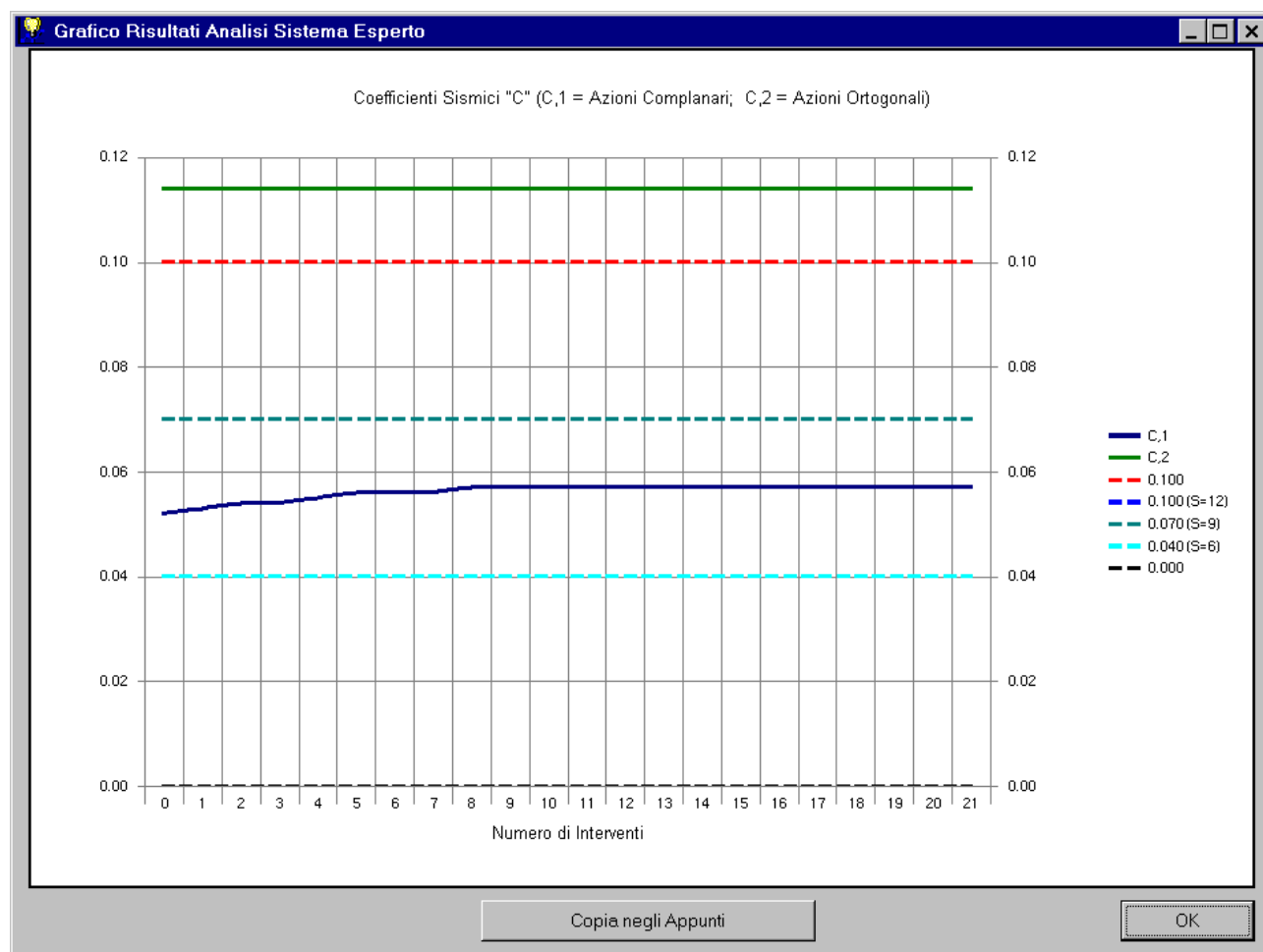
Sono stati scelti 21 interventi, ed i valori finali dei coefficienti conseguiti sono:

$C,1 = 0.057, C,2 = 0.114.$

Nella configurazione finale ottimizzata dal Sistema Esperto, la verifica sismica non è ancora soddisfatta:  $C,1$  è

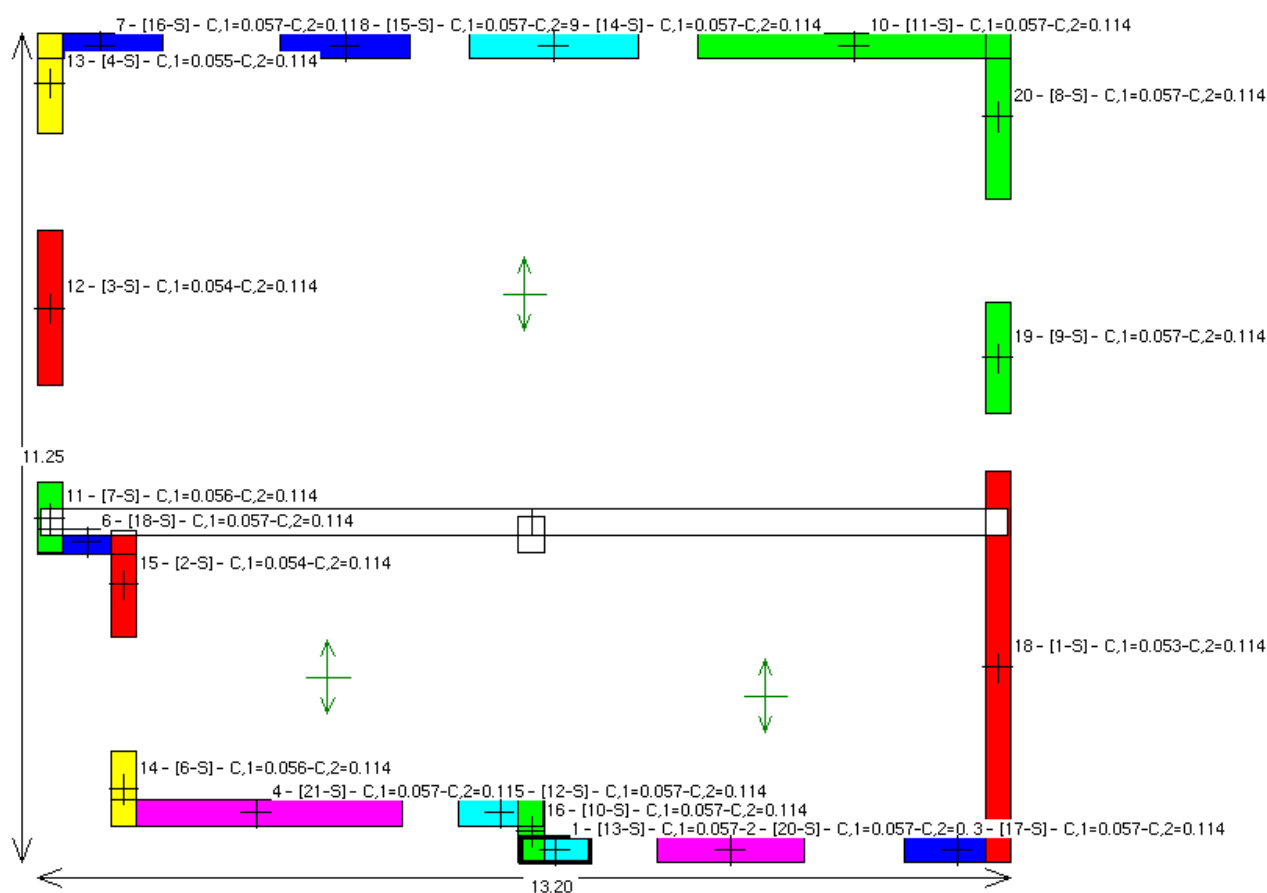
ancora inferiore a 0.100.

Il grafico di fig. 21 mostra l'andamento dei coefficienti sismici  $C_1$  e  $C_2$  in funzione degli interventi consecutivi.



**Fig. 21.** X-N-01-87: Grafico dei Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.

Le considerazioni sono simili alla schematizzazione precedente. Tuttavia, una differenza significativa risiede nel fatto che secondo il D.M. 20.11.1987 la struttura iniziale non è verificata non solo in direzione Y, ma neppure in direzione X: ciò induce il Sistema Esperto a scegliere anche interventi secondo X, e per questo motivo il numero degli interventi scelti nello schema (B) è maggiore rispetto allo schema (A) (21 interventi scelti anziché 11).



**Fig. 22.** X-N-01-87: Piano 1: Risultati dell'Analisi degli Interventi condotta dal Sistema Esperto.

La fig. 22, con la rappresentazione in pianta dei risultati dell'analisi degli interventi per il piano 1, mostra la diversità di posizionamento degli interventi rispetto alla schematizzazione (A).

L'applicazione del Sistema Esperto, peraltro, non può che confermare la già nota diversità di analisi strutturale condotta secondo le due Norme alternative.

**PC.M 2000 (c) 1997-2001 AEDES Software per Ingegneria Civile s.a.s.**

## **PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI IN MMURATURA**

### **F. AGGIORNAMENTO A PC.M 2000, versione 4.1 361**

#### **F.1. GENERALITA' 361**

- F.1.1. INTRODUZIONE 361
- F.1.2. IMPOSTAZIONI INTERNAZIONALI 363
- F.1.3. BARRE DEGLI STRUMENTI 364
  - F.1.3.1. STANDARD vers. 4.1 364
  - F.1.3.2. GRAFICA: VISUALIZZAZIONE 367
  - F.1.3.3. GRAFICA: ELABORAZIONE 368
  - F.1.3.4. MODIFICA / GESTIONE FINESTRE 369
- F.1.4. RIDIMENSIONAMENTO DELLE FINESTRE DI DIALOGO 370
- F.1.5. UTILIZZO DI "PC.M VIEWER" 372

#### **F.2. FINESTRA EDIFICIO 373**

- F.2.1. MENU OPZIONI 373
- F.2.2. BARRA DEGLI STRUMENTI 373

#### **F.3. FINESTRA PARETI 375**

- F.3.1. COLORAZIONE DELLA TABELLA PARETI 375
- F.3.2. APPLICAZIONE DIRETTA INIEZIONI E INTONACO ARMATO 376
- F.3.3. SPOSTAMENTO E COPIA DI PARETI SELEZIONATE 376
- F.3.4. SCALA TUTTO 377
- F.3.5. TRASFORMAZIONE IN PARETE RETTANGOLARE 377

#### **F.4. FINESTRA FONDAZIONI 378**

- F.4.1. TRASFORMAZIONE IN FONDAZIONE RETTANGOLARE 378

#### **F.5. FINESTRA SOLAI 379**

- F.5.1. SELEZIONE DI SOLAI 379
- F.5.2. TRASFORMAZIONE DI SOLAI MONO E BI DIREZIONALI 379

#### **F.6. PARAMETRI DI CALCOLO 380**

#### **F.7. GRAFICA 382**

- F.7.1. NUOVI LAYERS PER L'INPUT DA FILE DXF 382
- F.7.2. COLLOQUIO CON AEDES-CAD 384
  - F.7.2.1. MODIFICA DEI DATI 385
  - F.7.2.2. INSERIMENTO COMPLETO DI UN EDIFICIO 399
- F.7.3. MODIFICA IMPOSTAZIONI ESPORTAZIONI SU BMP E DXF 402
- F.7.4. NUOVI TIPI DI DISEGNO 402
  - F.7.4.1. DATI PARETI: RESISTENZA A TAGLIO 402
  - F.7.4.2. DATI PARETI: SNELLEZZA (H/L) 403
  - F.7.4.3. RISULTATI ANALISI A TAGLIO: RIGIDEZZE, SPOSTAMENTI, FORZE DA VENTO 404
- F.7.5. BARRE DEGLI STRUMENTI DELLE FINESTRE GRAFICHE 2D E 3D 407

#### **F.8. ANALISI 408**

- F.8.1. ESTENSIONE DEI CONTROLLI DEL CHECK-UP 408
- F.8.2. NUOVI PULSANTI "R V C" PER I RISULTATI DELLA LEGGE 61/98 408
- F.8.3. ESTENSIONE DELL'INFLUENZA DELLA PRECOMPRESSIONE VERTICALE 409

#### **F.9. APPENDICE 410**

- F.9.1. ASSOCIAZIONE DEI FILES PCM A "PC.M 2000" 410
- F.9.2. NOVITA' DI PC.M 2000 RISPETTO ALLE VERSIONI PRECEDENTI 411
  - F.9.2.1. NOVITA' DI PC.M 2000 RISPETTO A PC.M 98, versione 3.2 411
  - F.9.2.2. NOVITA' DI PC.M 2000 RISPETTO A PC.M 98 3.1, PC.M 97 418

## F. AGGIORNAMENTO A PC.M 2000, versione 4.1

### F.1. GENERALITA'

#### F.1.1. INTRODUZIONE

Questo volume è dedicato alle novità di PC.M 2000, versione 4.1. Se ne consiglia quindi la consultazione a tutti gli Utenti di PC.M.

Il suo contenuto deve essere considerato integrativo rispetto alla documentazione:

A. LA TEORIA (pubblicata su volume ALINEA Editrice e allegata al pacchetto AEDES 2000);

B. MANUALE D'USO - C. ESEMPI APPLICATIVI (include: D. APPENDICE) (forniti su supporto informatico nelle versioni 4.0 e 4.1).

Inoltre, a partire dalla versione 4.1 viene fornito su supporto informatico il volume: E. SISTEMA ESPERTO.

La documentazione completa di PC.M 2000, versione 4.1, si compone quindi dei manuali:

LA TEORIA (libro)

MANUALE D'USO (file PDF per Adobe Acrobat ® Reader)

ESEMPI APPLICATIVI (file PDF per Adobe Acrobat ® Reader)

SISTEMA ESPERTO (file PDF per Adobe Acrobat ® Reader)

AGGIORNAMENTO (file PDF per Adobe Acrobat ® Reader).

I documenti: MANUALE D'USO; ESEMPI APPLICATIVI; SISTEMA ESPERTO; AGGIORNAMENTO sono richiamabili anche dalla Guida in linea di PC.M.

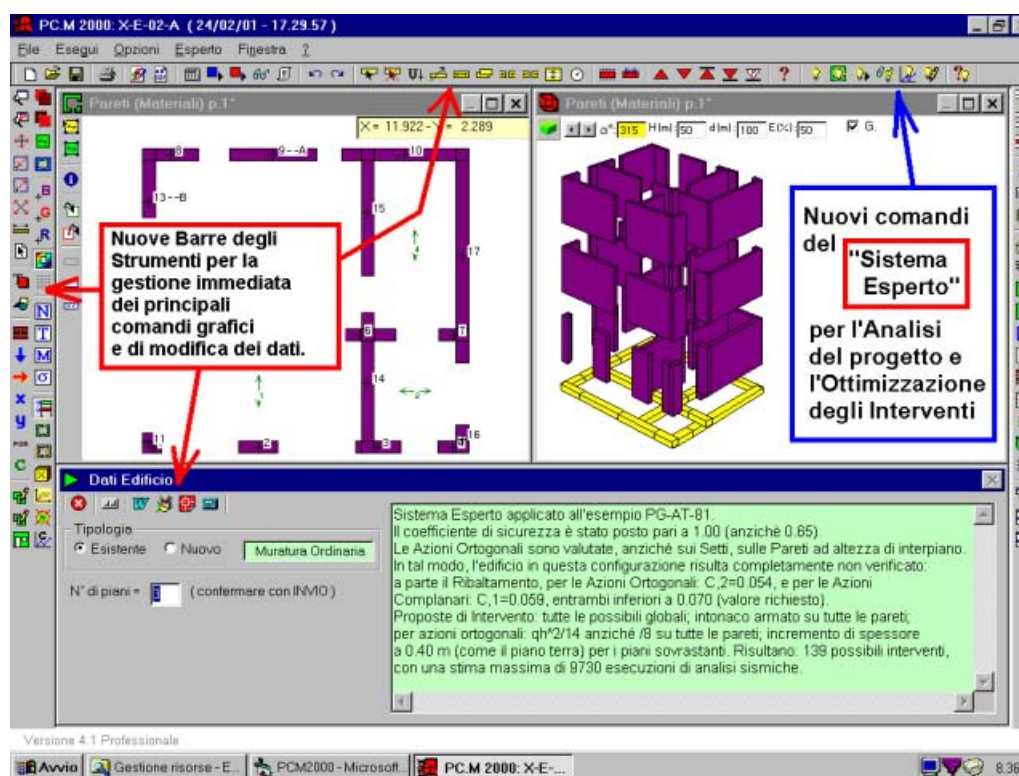


Fig. 1. Alcune novità di PC.M 2000, versione 4.1.

Fra le funzionalità descritte in questo volume di 'Aggiornamento', alcune sono totalmente nuove e quindi sono assenti nel resto della documentazione; per altre, sono state apportate modifiche: in ogni caso, le nuove caratteristiche sono tutte descritte in dettaglio.

Alcune delle **principali novità di PC.M 2000, versione 4.1**, sono le seguenti:

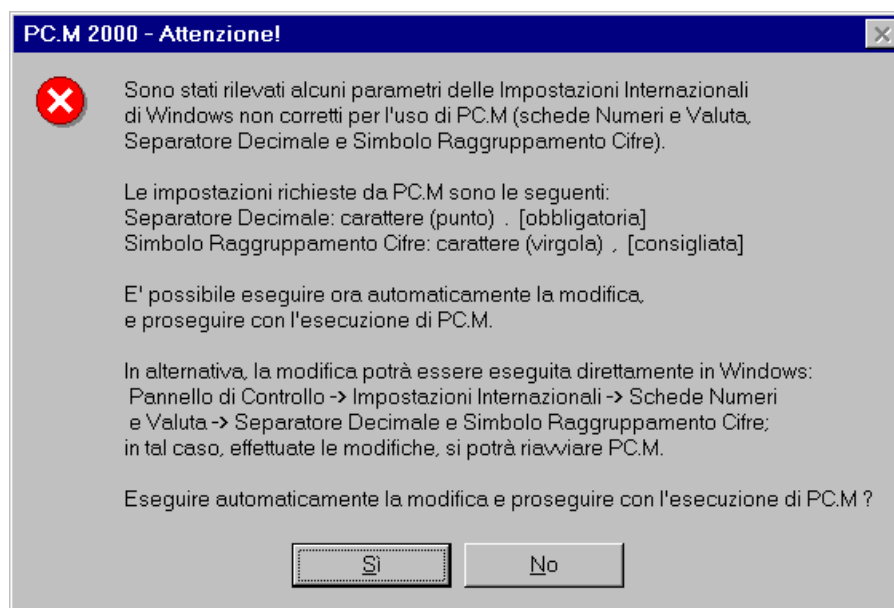
- Barre degli Strumenti più efficienti per la gestione della grafica e della modifica dei dati
- Comandi diretti per la gestione esterna dei files BMP, RTF, DXF attraverso il lancio automatico dell'applicazione a cui sono associati (es. Microsoft Word o AutoCAD)
- Ottimizzazione delle finestre, in particolare per la modalità 800x600 a caratteri grandi (frequentemente in uso nei computers portatili), con le principali finestre di dialogo ridimensionabili e scorrevoli
- Conversione automatica (a richiesta) delle Impostazioni Internazionali
- Implementazione del **Sistema Esperto**, una nuova procedura originale AEDES per l'analisi del progetto e l'ottimizzazione degli interventi
- Potenziamento di **AEDES-CAD** per l'input e la modifica interattiva dei dati geometrici dell'edificio su CAD apposito elaborato dalla AEDES
- Disponibilità di **PC.M Viewer** per la libera consultazione dei progetti elaborati con PC.M
- Gestione visuale della tabella Pareti con diversa colorazione di singole celle (ad esempio, per le tipologie)
- Nuovi tipi di disegno con mappe a colori. Per i dati: Snellezza, Resistenza a taglio; per le analisi a taglio: Rigidezza, Spostamenti
- Nuovi layers per l'input da DXF, distinti per tipologia (strisce, travi, elementi in c.a., sottofinestra)

Questo volume di aggiornamento è consultabile anche dalla Guida in linea di PC.M: menu Guida, comando: Aggiornamento. Viene aperta una finestra di Adobe Acrobat ® Reader che mostra questo documento, in maniera del tutto analoga alle altre documentazioni (Manuale d'Uso, Esempi Applicativi; si ricorda che il volume 'Sistema Esperto' viene invece richiamato in linea dal comando 'Guida al Sistema Esperto' del menu Esperto della finestra Edificio).

### F.1.2. IMPOSTAZIONI INTERNAZIONALI

**PC.M richiede alcune specifiche Impostazioni Internazionali** (da Risorse del Computer): nella scheda **Numeri** devono essere utilizzati il punto . per il Separatore Decimale, e un altro carattere - per es. la virgola , - per il Simbolo Raggruppamento Cifre; la medesima convenzione sui due parametri corrispondenti (Separatore Decimale e Simbolo Raggruppamento Cifre) deve essere fatta nella scheda **Valute**.

PC.M, vers. 4.1, propone automaticamente la correzione dei due parametri qualora le loro impostazioni non siano appropriate; si veda il messaggio riportato in fig. 2.




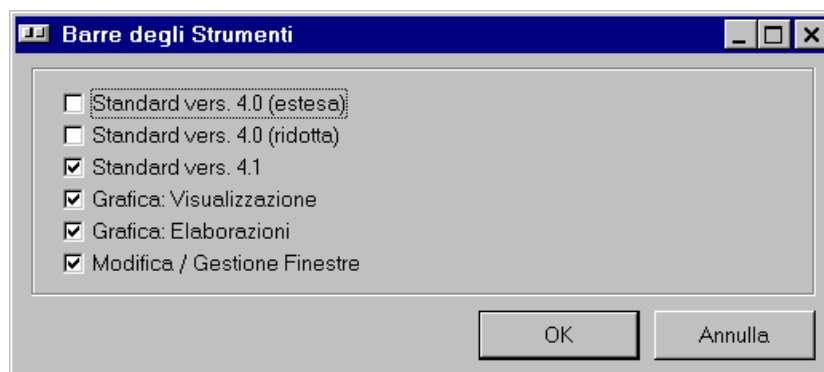
**Fig. 2.** Possibilità di reimpostare automaticamente le Impostazioni Internazionali.

### F.1.3. BARRE DEGLI STRUMENTI

PC.M 2000 introduce, a partire dalla vers. 4.1, nuove barre degli strumenti, più articolate e flessibili, per la gestione dei dati e delle rappresentazioni grafiche.

Per semplificare e uniformare l'uso di PC.M, i singoli pulsanti grafici delle barre degli strumenti non sono personalizzabili; tuttavia, le barre sono state ottimizzate e sia il loro contenuto sia la loro collocazione si pongono l'obiettivo di facilitare la gestione dei dati e della grafica.

Le barre degli strumenti attivabili sono mostrate dal comando **ALT+O,B** (pulsante grafico  della nuova barra degli strumenti della finestra Edificio), che invoca la finestra di dialogo riportata in fig. 3.



**Fig. 3.** Attivazione delle Barre degli Strumenti.

Le Standard 4.0 (estesa e ridotta) sono le barre già presenti in PC.M 2000, vers. 4.0; tutte le altre sono nuove barre degli strumenti.

La configurazione dello schermo di PC.M può variare in dipendenza da quali barre degli strumenti sono attivate: ad esempio, in fig. 1 sono attive tutte le barre degli strumenti nuove (scelta corrispondente alle selezioni effettuate nell'esempio di fig. 3). L'attivazione o meno delle barre degli strumenti ridimensiona le finestre di PC.M, ottimizzandone la visualizzazione.


#### F.1.3.1. STANDARD vers. 4.1


I comandi di questa nuova barra degli strumenti sono visualizzati tutti a partire dalla risoluzione 1024 x 768 per caratteri grandi e dalla 800 x 600 per caratteri piccoli. Nella 800 x 600, caratteri grandi, risultano tagliati i pulsanti del Sistema Esperto, tuttavia presenti nella Barra Standard 4.0 che può essere visualizzata in formato ridotto (anche contemporaneamente alla Standard 4.1).

Nello schermo questa barra viene obbligatoriamente visualizzata in alto, sotto la barra dei menu.


La nuova barra degli strumenti Standard presenta i seguenti comandi, elencati in ordine da sinistra verso destra (in grassetto, nuovi pulsanti assenti nella barra Standard 4.0, per i quali si riporta a lato il corrispondente comando di menu):

 **Nuovo edificio** (finestra Edificio, menu File, Nuovo)

 **Apri edificio**

 **Salva edificio**


 **Stampa**


 **Salva su file BMP** (finestra grafica 2D o 3D, menu Immagine, Salva su file BMP)



 **Salva su file DXF** (finestra grafica 2D o 3D, menu Immagine, Salva su file BMP)

 Parametri di Calcolo

 Esegui Analisi Statica


 Esegui Analisi Sismica

 Mostra Rapporto di Elaborazione

 **Elenco Allineamenti** (finestre Pareti - Fondazioni - Solai, menu Esegui, Elenco Allineamenti)

 Annulla

 Ripristina

 **Seleziona** (finestre Pareti - Fondazioni - Solai, menu Modifica, Seleziona. Nella finestra Solai il comando è nuovo, ed ha l'effetto di selezionare tutti i solai del piano corrente - diversamente dalle finestre Pareti e Fondazioni, dove invece viene aperta una finestra di dialogo per scegliere il filtro con cui selezionare)

 **Deseleziona** (finestre Pareti - Fondazioni, menu Modifica, Deseleziona)

 **Unifica Colonna** (finestre Pareti - Fondazioni - Solai, menu Unifica, Colonna)


 **Sposta** (finestre Pareti - Fondazioni, menu Edit, Sposta)

 **Stira** (finestre Pareti - Fondazioni, menu Edit, Stira)


 **Copia** (finestre Pareti - Fondazioni, menu Edit, Copia)


 **Unisci** (finestre Pareti - Fondazioni, menu Edit, Unisci)


 **Dividi** (finestre Pareti - Fondazioni, menu Edit, Dividi)

 **Allarga tutto** (finestra Fondazioni, menu Edit, Allarga tutte le fondazioni)


 **Sezione Circolare** (finestra Pareti, menu Edit, Sezione Circolare)

 **Applica Intonaco Armato** (finestra Pareti, menu Opzioni, Applica Intonaco Armato. Questo nuovo comando imposta nella parete corrente i seguenti valori:  $\tau_k = 18$  t/mq;  $G = 19800$  t/mq;  $E = 118800$  t/mq; duttilità = 2.0;  $\sigma_k = 500$  t/mq;  $\sigma_{tr} = 18$  t/mq, lasciando invariato il numero identificativo del materiale originario della parete ed il suo peso specifico; è quindi un'operazione alternativa al cambiamento di materiale normalmente fatto per qualificarlo come 'Muratura con intonaco armato' - il cambiamento di materiale, però, implica una modifica del numero identificativo e del peso specifico, effetti non sempre desiderati dall'Utente)


 **Applica Iniezioni Cementizie** (finestra Pareti, menu Opzioni, Applica Iniezioni Cementizie. Questo nuovo comando imposta nella parete corrente i seguenti valori:  $\tau_k = 11$  t/mq;  $G = 12100$  t/mq;  $E = 72600$  t/mq; duttilità = 2.0;  $\sigma_k = 300$  t/mq;  $\sigma_{tr} = 11$  t/mq, lasciando invariato il numero identificativo del materiale originario della parete ed il suo peso specifico; è quindi un'operazione alternativa al cambiamento di materiale normalmente fatto per qualificarlo come 'Muratura iniettata' - il cambiamento di materiale, però, implica una modifica del numero identificativo e del peso specifico, effetti non sempre desiderati dall'Utente)

 Piano Superiore

 Piano Inferiore


 Ultimo Piano

 Piano 1


 Fondazioni


 Guida


Seguono i pulsanti grafici relativi al **Sistema Esperto**, le cui funzionalità sono ampiamente descritte nel volume E. SISTEMA ESPERTO:


 Proposte di Intervento: Parametri Globali

 Proposte di Intervento: Pareti

 Esegui Analisi Sistema Esperto

 Risultati Analisi Sistema Esperto

 Grafico Risultati Analisi Sistema Esperto

 Disegno Risultati Analisi Sistema Esperto

 Guida al Sistema Esperto

### F.1.3.2. GRAFICA: VISUALIZZAZIONE

I comandi di questa nuova barra degli strumenti sono visualizzati tutti a partire dalla risoluzione 800 x 600. Nello schermo questa barra viene obbligatoriamente visualizzata sul lato sinistro.


Alcuni comandi sono già presenti nella barra Standard 4.0; i nuovi vengono evidenziati in grassetto, con - a lato - il corrispondente comando di menu:

 Zoom

 Zoom Precedente


 Pan


 Riduci


 Ingrandisci

 Ottimizza

 **Distanza** (finestra grafica 2D, menu Immagine, Distanza)

 **Seleziona Finestra** (finestra grafica 2D, menu Immagine, Seleziona Finestra)

 Tipo di Disegno

 Parametri di Disegno

 Dati


 Risultati Analisi Statica


 Risultati Analisi Sismica


 In direzione X

 In direzione Y

 Metodo Por

 Combinazioni di Carico

 **Disegna Tutto** (finestre Pareti - Fondazioni, menu Disegna, Tutte)

 **Disegna Solo Selezione** (finestre Pareti - Fondazioni, menu Disegna, Solo Selezione)

 **Prospetto** (finestra grafica 3D, menu Immagine, Prospetto)


### F.1.3.3. GRAFICA: ELABORAZIONE


I comandi di questa nuova barra degli strumenti sono visualizzati tutti a partire dalla risoluzione 800 x 600. Nello schermo questa barra viene obbligatoriamente visualizzata sul lato sinistro, adiacente alla barra 'Grafica: Visualizzazione'.

Questi comandi sono attivati o disattivati, e la corrispondente grafica del pulsante evidenzia lo stato corrente. La loro utilità consiste nell'immediatezza dell'effetto grafico. Qualora la finestra corrente sia una finestra di testo, la selezione di questi comandi sposta il fuoco sulle finestre grafiche.

I comandi di questa barra sono tutti nuovi, non essendo nessuno presente in PC.M 4.0; per ognuno vengono evidenziati, qui di seguito, i corrispondenti comandi grafici.

-  Piano Sottostante (check della scheda Dati dei Parametri di Disegno, gruppo Pareti e Fondazioni 2D)
-  Piano Soprastante (check della scheda Dati dei Parametri di Disegno, gruppo Pareti e Fondazioni 2D)
-  Aree Solai (check della scheda Dati dei Parametri di Disegno, gruppo Solai 2D)
-  Perimetro di Piano (check della scheda Dati dei Parametri di Disegno, gruppo Solai 2D)
- +  Baricentro Geometrico (check della scheda Elaborazioni dei Parametri di Disegno, gruppo Punti notevoli)
- +  Centro di Pressione (check della scheda Elaborazioni dei Parametri di Disegno, gruppo Punti notevoli)
- +  Centro delle Rigidezze (check della scheda Elaborazioni dei Parametri di Disegno, gruppo Punti notevoli)
-  Fondazioni: Colorazione Uniforme (check della scheda Immagine dei Parametri di Disegno)
-  Griglia (check della scheda Immagine dei Parametri di Disegno)
-  Sforzo Normale (check della scheda Forze e Tensioni dei Parametri di Disegno, gruppo Forze e Spostamenti)
-  Taglio (check della scheda Forze e Tensioni dei Parametri di Disegno, gruppo Forze e Spostamenti)
-  Momento Flettente (check della scheda Forze e Tensioni dei Parametri di Disegno, gruppo Forze e Spostamenti)
-  Tensioni (check della scheda Forze e Tensioni dei Parametri di Disegno, gruppo Tensioni)
-  Forze e Coefficienti (opzione del Tipo di rappresentazione grafica delle Verifiche a Taglio, scheda Analisi dei Parametri di Disegno)
-  Pianta Pareti (opzione del Tipo di rappresentazione grafica delle Verifiche a Taglio, scheda Analisi dei Parametri di Disegno)
-  Spostamenti (opzione del Tipo di rappresentazione grafica delle Verifiche a Taglio, scheda Analisi dei Parametri di Disegno)
-  Lesioni (opzione del Tipo di rappresentazione grafica delle Verifiche a Taglio, scheda Analisi dei Parametri di Disegno)
-  Diagramma Forza - Spostamento (opzione del Tipo di rappresentazione grafica delle Verifiche a Taglio, scheda Analisi dei Parametri di Disegno)

 Dominio di Resistenza (opzione del Tipo di rappresentazione grafica delle Verifiche a Taglio, scheda Analisi dei Parametri di Disegno)

 Coefficienti 'C' (check per Analisi Sismiche con calcolo dei coefficienti 'C', scheda Analisi dei Parametri di Disegno)

#### F.1.3.4. MODIFICA / GESTIONE FINESTRE


I comandi di questa nuova barra degli strumenti sono visualizzati tutti a partire dalla risoluzione 800 x 600. Nello schermo questa barra viene obbligatoriamente visualizzata sul lato destro.


Alcuni comandi sono già presenti nella barra Standard 4.0; i nuovi vengono evidenziati in grassetto, con - a lato - il corrispondente comando di menu:


 **Aggiungi**

 **Inserisci**

 **Elimina**

 **Taglia** (finestre Pareti - Fondazioni - Solai, menu Modifica, Taglia)

 **Copia negli Appunti** (finestre Pareti - Fondazioni - Solai, menu Modifica, Copia)

 **Incolla** (finestre Pareti - Fondazioni - Solai, menu Modifica, Incolla)

 Finestra Edificio


 Finestra Piani


 Finestra Pareti


 Finestra Fondazioni


 Finestra Solai

 Finestra Relazione


 **Tabella Materiali** (menu Finestra, Tabella Materiali)


 **Tabella Solai** (menu Finestra, Tabella Solai)

 **Finestra Grafica 2D** (menu Finestra, Grafica 2D)

 **Finestra Grafica 3D** (menu Finestra, Grafica 3D)

 **Legenda**

 **Sovrapponi** (menu Finestra, Sovrapponi)

 **Affianca** (menu Finestra, Affianca)

 **Disponi** (menu Finestra, Disponi)

#### F.1.4. RIDIMENSIONAMENTO DELLE FINESTRE DI DIALOGO

A partire dalla vers. 4.1, le finestre di dialogo sono ridimensionabili.

Questo consente di poterne consultare completamente il contenuto anche nelle modalità schermo a prestazioni inferiori; un esempio, è la risoluzione 800x600 con caratteri grandi, frequentemente in uso nei computers portatili. Nella fig. 4 si riporta un caso di consultazione del Rapporto di Elaborazione in tale modalità (l'immagine rappresenta lo schermo interamente visualizzato).

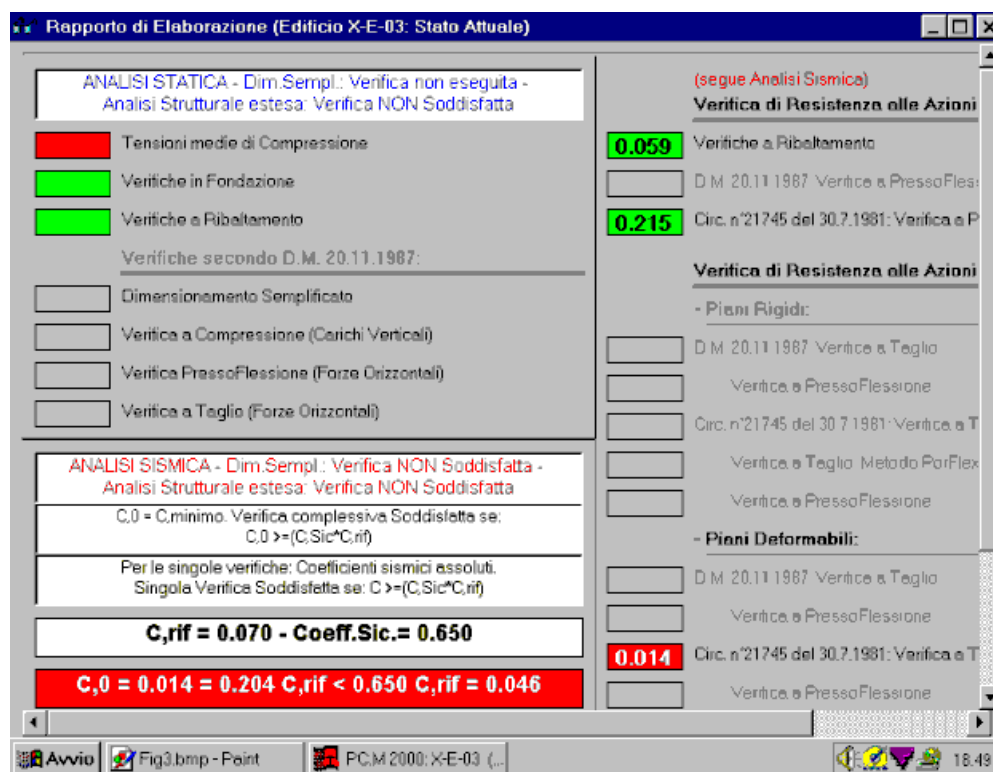
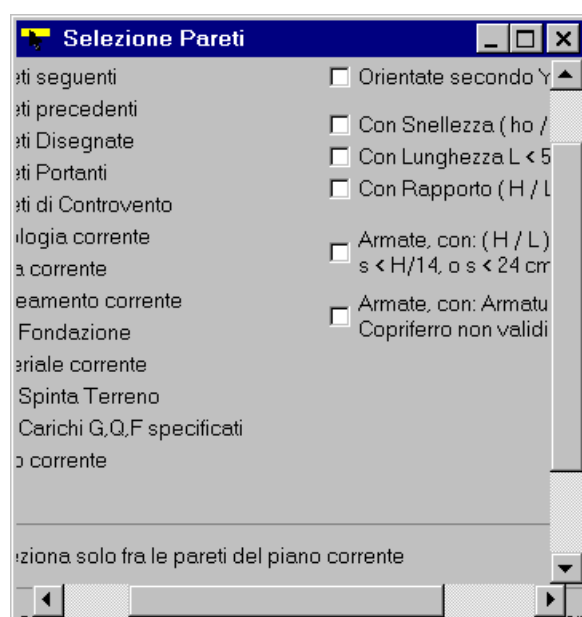



Fig. 4. Scorrimento di finestre estese oltre le dimensioni fisiche dello schermo.



**Fig. 5.** *Scorrimento di finestre di dialogo ridimensionabili.*

La ridimensionabilità delle finestre di dialogo ne consente la riduzione a una porzione più piccola dello schermo; un esempio è riportato in fig. 5 (finestra di dialogo: Selezione pareti, attivata dal comando Seleziona del menu Modifica della finestra Pareti, o equivalentemente dal nuovo pulsante grafico  della barra degli strumenti Standard vers. 4.1).

### F.1.5. UTILIZZO DI “PC.M VIEWER”

“PC.M Viewer” (in fig. 6 la grafica identificativa) è una nuova applicazione che consente la consultazione e la creazione di relazioni di calcolo per edifici di “PC.M 2000”. “PC.M Viewer” può aprire anche edifici creati in tutte le precedenti versioni di “PC.M”. Non è invece possibile modificare o calcolare un edificio aperto con “PC.M Viewer”. L’utilizzo e la distribuzione di “PC.M Viewer” non sono soggetti ad alcuna restrizione. L’installazione di “PC.M Viewer” segue modalità del tutto analoghe a quella di “PC.M 2000”; le uniche differenze consistono nella denominazione della cartella di installazione (C:\PCMVIEW anziché C:\PCM2000) e nell’assenza della procedura di richiesta della password.



Fig. 6. PC.M Viewer.


Per gli Utenti di “PC.M”, questo programma estende liberamente la possibilità di consultare dati e risultati dei progetti, riservando al solo sistema dove è installato “PC.M 2000” le funzionalità di modifica dei dati e di esecuzione delle elaborazioni di calcolo.

Dato che “PC.M 2000” è fornito di chiave software di protezione, installando “PC.M Viewer” su un altro computer (ad esempio, su un portatile), sarà poi sufficiente copiarvi i files dell’edificio che interessa (sono i files NomeEdificio.\* collocati in C:\PCM2000\EDIFICI e gli eventuali files contenuti in C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio risultanti dalle elaborazioni e dalle esportazioni di relazioni e disegni) per poterne liberamente consultare le caratteristiche, e produrre immagini bitmap e relazioni di calcolo. Questa possibilità offre una valida alternativa all’acquisto di ulteriori password, qualora, ovviamente, si ritengano sufficienti le funzioni offerte da “PC.M Viewer”.




## F.2. FINESTRA EDIFICIO


La finestra Edificio di PC.M 2000, vers. 4.1, presenta le seguenti novità:


- menu File: comando 'Elaborazione files RTF...', corrispondente al pulsante grafico:  della Barra degli Strumenti della finestra Edificio stessa;
- nuovo menu Opzioni, descritto in dettaglio al paragrafo F.2.1.;
- nuovo menu Esperto, in grado di attivare tutte le funzionalità del Sistema Esperto: ad esso è interamente dedicato il volume E. SISTEMA ESPERTO, cui si rimanda per ogni approfondimento;
- nuova Barra degli Strumenti, descritta al paragrafo F.2.2.

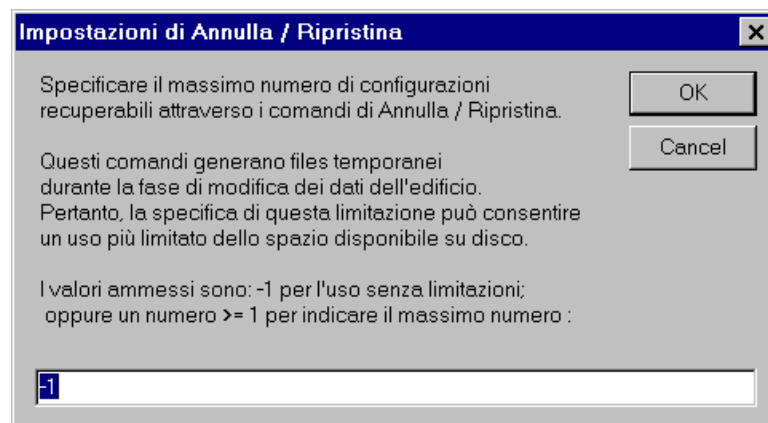
### F.2.1. MENU OPZIONI

Il menu Opzioni offre alcune nuove funzionalità, descritte in dettaglio ai capoversi seguenti.

**Barre degli Strumenti...** [ Barra degli Strumenti:  ] = Apre la finestra di dialogo 'Barre degli Strumenti' (vd. fig. 3) attraverso la quale si possono selezionare le barre degli strumenti che si desidera attivare o disattivare.

**Calcolatrice...** [ Barra degli Strumenti:  ] = Apre la calcolatrice di Windows, un'utilità importante soprattutto nei software dedicati al calcolo. Per impostare la calcolatrice di Windows nella modalità 'Scientifica' (spesso usata, in campo ingegneristico, al posto della 'Standard') utilizzare il menu Visualizza della Calcolatrice stessa.

**Impostazioni per Annulla / Ripristina...** [ Barra degli Strumenti:  ] = Apre la finestra di dialogo riportata in fig. 7, dedicata alle impostazioni di "PC.M" per la gestione dei comandi Annulla / Ripristina. Gli infiniti livelli di Annulla / Ripristina possono essere ricondotti ad un numero limitato, a vantaggio soprattutto dello spazio occupato su C:\, dal momento che ogni configurazione intermedia (recuperabile dai comandi Annulla / Ripristina) è archiviata in un file temporaneo avente le dimensioni del file dati dell'edificio.





**Fig. 7.** Impostazioni per Annulla / Ripristina.


Un numero eccessivo di disponibilità di files potrebbe eccedere lo spazio consentito sull'hard-disk C:\, e quindi è possibile impostare, attraverso questo comando, il massimo numero di configurazioni recuperabili con i comandi Annulla / Ripristina.


### F.2.2. BARRA DEGLI STRUMENTI


I comandi di questa nuova barra degli strumenti specifica per la finestra Edificio, obbligatoriamente visualizzata in alto a sinistra, sotto al titolo della finestra, sono i seguenti:


 Esci (questo comando è già presente in PC.M 2000, vers. 4.0, e rappresenta il pulsante di chiusura di tutta l'applicazione "PC.M")




 Barre degli Strumenti (finestra Edificio, menu Opzioni, Barre degli Strumenti)


 Elaborazione files RTF (finestra Edificio, menu File, Elaborazione files RTF)

 Elaborazione files BMP (finestra grafica 2D o 3D, menu Immagine, Elaborazione files BMP)

 Elaborazione files DXF (finestra grafica 2D o 3D, menu Immagine, Elaborazione files DXF)


 Calcolatrice (finestra Edificio, menu Opzioni, Calcolatrice)

I comandi di elaborazione files esterni: RTF (  ), BMP (  ), DXF (  ), consentono il lancio immediato dell'applicazione associata dal sistema a queste tipologie di files, con la visualizzazione dell'ultimo files elaborato nella sessione di lavoro corrente.

Ad esempio, con riferimento alle bitmap, se nella sessione corrente non è stato ancora prodotto alcun files di immagine BMP, questo comando visualizza, se lo trova, il primo file BMP disponibile per l'edificio corrente. Per comprendere l'uso del comando, si apra una qualunque struttura. Nella finestra grafica 2D viene visualizzato il disegno della pianta. Facendo clic su questo disegno, si attiva la finestra grafica 2D e diviene disponibile il comando di menu Immagine: Salva su file BMP (o equivalentemente:  dalla barra degli strumenti Standard 4.1). Viene proposto il nome di file:

2D-Pareti\_(Materiali)\_p\_1°.BMP

Confermando, questo file viene archiviato in C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio.

Selezionando quindi il pulsante di comando  della finestra Edificio (o equivalentemente: il comando 'Elaborazione files BMP' del menu Immagine della finestra grafica), si apre immediatamente 'Paint' (l'applicazione automaticamente associata da Windows ai files BMP) con la visualizzazione del disegno prodotto. Questo comando, quindi, abbrevia notevolmente l'esecuzione di tutte le operazioni svolte, ad esempio tramite 'Gestione Risorse', alla ricerca del file prodotto ed alla sua apertura dopo il lancio dell'applicazione necessaria corrispondente.

Generalmente, ai files RTF è associato Microsoft Word ®; analogamente, ai DXF è frequentemente associata l'applicazione Autodesk AutoCAD ®; mentre ai files BMP risulta generalmente associato MS Paint (facente parte degli Accessori del sistema operativo Windows). Tali sono i significati delle icone utilizzate per i comandi di elaborazione dei files corrispondenti, ma ovviamente niente vieta che altre applicazioni siano associate a queste estensioni.

Per sapere a quale applicazione è associato il lancio di un determinato tipo di file (ad esempio: RTF) è possibile utilizzare i seguenti comandi di Windows (si fa riferimento a Windows 95):

Avvio -> Programmi -> Gestione Risorse

Menu Visualizza -> Opzioni



Scheda: Tipo file

Si cerca nell'elenco il tipo di file che interessa: l'elenco presenta l'icona associata e la descrizione del tipo (presentata nel campo 'Tipo' sulla destra della finestra 'Gestione Risorse'), mentre l'estensione vera e propria è riportata in basso nella cornice 'Dettagli tipo di file'. Nella stessa cornice, 'Apri con' indica l'applicazione che viene lanciata selezionando questo tipo di file. Sarebbe possibile usare i comandi di modifica per modificare l'associazione fra tipo di file e applicazione lanciata; tuttavia, files come gli RTF, i DXF e i BMP sono in genere automaticamente associati in modo corretto alle corrispondenti applicazioni durante la fase di installazione delle applicazioni stesse (p.es. se si installa Microsoft Word, gli RTF vengono automaticamente ad esso associati).

Anche i files PCM possono essere associati all'applicazione "PC.M 2000" per il lancio diretto del programma stesso: facendo cioè doppio clic su un file di edificio posto in C:\PCM2000\EDIFICI, PC.M 2000 viene lanciato immediatamente ed apre il file selezionato. Tuttavia, nel caso di PC.M l'associazione fra tipo di file (caratterizzato dall'estensione PCM) e applicazione non è automatica, e deve essere fatta dall'Utente (si consulti allo scopo il paragrafo F.9.1.).

### F.3. FINESTRA PARETI

La finestra Pareti di PC.M 2000, vers. 4.1, presenta le seguenti novità:

- tabella pareti gestita con evidenziazione a colori di particolari caratteristiche: si consulti il paragrafo F.3.1.;
- menu Opzioni: comandi 'Applica Intonaco Armato' e 'Applica Iniezioni Cementizie', corrispondenti rispettivamente ai pulsanti grafici:  e  della Barra degli Strumenti Standard 4.1; i comandi sono descritti al paragrafo F.3.2.;
- menu Edit: comandi Sposta e Copia pareti selezionate, descritto al paragrafo F.3.3.;
- menu Edit: comando Scala tutto, descritto al paragrafo F.3.4.;
- menu Edit: comando Sezione Rettangolare, descritto al paragrafo F.3.4.

#### F.3.1. COLORAZIONE DELLA TABELLA PARETI

Come nelle versioni precedenti di PC.M, anche nella versione 4.1 la Tabella Pareti è organizzata secondo una colorazione che distingue il significato dei gruppi dei vari parametri:

- in bianco, il primo gruppo, più a sinistra: Identificazione (tipologie, ecc.);
- in giallo, il secondo gruppo: Geometria;
- in verde, il terzo gruppo: Materiali;
- in bianco, il quarto gruppo: Vincoli;
- in azzurro, il quinto gruppo: Carichi;
- in bianco, il sesto gruppo: dati relativi ai Setti (tiri, vincoli efficaci);
- ancora in azzurro, l'ultima colonna (la tensione verticale  $\sigma_o$ , dato in genere non considerato, in quanto presente solo per compatibilità con vecchie impostazioni dei metodi Por).

Queste colorazioni riguardano lo sfondo di intere colonne.

A partire dalla versione 4.1, oltre a queste convenzioni, nuovi criteri di colorazione differenziano alcune celle rispetto ad altre, in modo da renderne più evidente il contenuto ed il significato.

Più esattamente:

- nella **colonna 'Tipologia'** il colore della cella identifica il tipo di elemento strutturale:

giallo: maschio murario: M;

verde scuro: parete in cemento armato: C;

verde chiaro: pilastro in cemento armato: R;

celeste: trave: T;

blu: pilastro in acciaio: H;

blu: pilastro in acciaio: consolidato con angolari: L;

rosso: striscia muraria: S;

marrone: sottofinestra murario: F;

magenta: parete in muratura armata: A;

una possibile visualizzazione della tabella è ad esempio quella riportata in fig. 8;

- nelle **colonne geometriche dei vertici**: 'N°vert.' e 'Coord.vert.', uno sfondo rosso chiaro distingue le pareti non rettangolari da quelle rettangolari;


- in tutte le **colonne dei Carichi** direttamente applicati sulle pareti, le celle dove sono stati eventualmente specificati valori non nulli sono rappresentate in blu (anziché in celeste); risulta così immediata l'individuazione di quali elementi sono gravati da carichi direttamente specificati dall'Utente (oltre a quelli normalmente calcolati dai metodi automatici, come i carichi applicati sui solai).


Dati Pareti p.1* (74)												
N°	Dis.	Portante	Contro-vento	Tipologia	Sigla	Allineamento	Fondaz.	N° vert.	Coord. vert.	Lx (m)	Ly (m)	Xg (m)
1	✓	✓	✓	M	1X	1X	✓	4	[XY]	2.90	1.00	1.450
2	✓	✓	✓	s1/3	2X	1X	■	4	[XY]	2.88	1.00	4.340
3	✓	✓	✓	M	3X	1X	✓	5	[XY]	3.84	0.50	6.740
4	✓	✓	✓	s3/5	4X	1X	■	4	[XY]	7.95	1.00	11.675
5	▶	✓	✓	M	5X	1X	✓	4	[XY]	2.00	1.00	16.650
6	✓	✓	✓	s5/7	6X	1X	■	4	[XY]	2.54	1.00	18.920
7	✓	✓	✓	M	7X	1X	✓	4	[XY]	2.27	1.01	21.326
8	✓	✓	✓	s7/9	8X	1X	■	4	[XY]	2.91	1.00	23.925
9	✓	✓	✓	M	9X	1X	✓	4	[XY]	2.62	1.00	26.690

Fig. 8. Esempio di nuove colorazioni delle celle nella Tabella Pareti.

Un esempio di tabella pareti con alcune di queste funzionalità attive è riportato in fig. 8. In questo esempio, le strisce sono ben evidenti rispetto ai maschi murari. Si osservino inoltre gli sfondi 'rosa' delle colonne N°vert. e Coord.vert. in corrispondenza delle pareti 3 (una poligonale a 5 vertici) e 7 (una parete a sezione quadrilatera che però non risulta rettangolare).

### F.3.2. APPLICAZIONE DIRETTA INIEZIONI E INTONACO ARMATO

Il comando **'Applica Intonaco Armato'** della finestra Pareti, menu Opzioni (equivalente al pulsante grafico:  della barra degli strumenti standard 4.1) ha l'effetto di impostare nella parete corrente i seguenti valori:  $\tau_k = 18$  t/mq;  $G = 19800$  t/mq;  $E = 118800$  t/mq; duttilità = 2.0;  $\sigma_k = 500$  t/mq;  $\sigma_{tr} = 18$  t/mq, lasciando invariato il numero identificativo del materiale originario della parete ed il suo peso specifico.

Il comando **'Applica Iniezioni Cementizie'** della finestra Pareti, menu Opzioni (equivalente al pulsante grafico:  della barra degli strumenti standard 4.1) ha l'effetto di impostare nella parete corrente i seguenti valori:  $\tau_k = 11$  t/mq;  $G = 12100$  t/mq;  $E = 72600$  t/mq; duttilità = 2.0;  $\sigma_k = 300$  t/mq;  $\sigma_{tr} = 11$  t/mq, lasciando invariato il numero identificativo del materiale originario della parete ed il suo peso specifico.

Entrambi i comandi costituiscono quindi un'operazione alternativa al cambiamento di materiale normalmente fatto per qualificarlo come 'Muratura con Intonaco Armato' o 'Muratura iniettata'. Il cambiamento di materiale, però, implica una modifica del numero identificativo e del peso specifico, effetti non sempre desiderati dall'Utente; a tal scopo, sono stati predisposti questi due nuovi comandi. Essi non avranno effetto nel caso in cui la parete possieda già caratteristiche di resistenza non inferiori a quelle conseguite con la corrispondente applicazione di iniezioni o intonaco armato.

### F.3.3. SPOSTAMENTO E COPIA DI PARETI SELEZIONATE

Il nuovo comando del menu Edit: Copia pareti selezionate, ha l'effetto di aggiungere nel piano corrente tante pareti quante sono quelle attualmente selezionate. Ovviamente, le nuove pareti avranno caratteristiche del tutto uguali a quelle selezionate. Lo scopo di questa operazione può essere quello di creare un gruppo di pareti a partire da un altro, differenziandone poi la posizione geometrica (ad esempio, usando in sinergia: Sposta pareti selezionate) ed eventualmente altre caratteristiche.

Il nuovo comando del menu Edit: Sposta pareti selezionate, ha l'effetto di applicare un vettore spostamento al gruppo di pareti selezionate nel piano corrente.

#### **F.3.4. SCALA TUTTO**

Il nuovo comando del menu Edit: Scala tutto, applica un fattore di scala alla geometria dell'intero edificio. Il comando richiede l'inserimento del fattore di riduzione geometrica della pianta dell'edificio (es.:100 per ridurre 100 volte; 0.01 per ingrandire 100 volte).

Un esempio di uso di questo comando può riguardare l'input da DXF di una pianta realizzata in unità di misura per le quali non è stata specificata un opportuna scala di lettura al momento dell'elaborazione in input del file DXF.

#### **F.3.5. TRASFORMAZIONE IN PARETE RETTANGOLARE**

Il nuovo comando del menu Edit: Sezione Rettangolare, ha l'effetto di trasformare direttamente in rettangolare una parete che non lo è, cioè che ha un numero di vertici diverso da 4, oppure che è quadrilatera ma non rettangolare. Dai lati X e Y vengono calcolate le coordinate dei nuovi 4 vertici descriventi il rettangolo.

Se una parete è poligonale, in pratica, questo comando la trasforma nel suo stesso rettangolo rappresentativo: esso quindi non sarà più solo una 'rappresentazione equivalente' della parete stessa ma la sua vera e propria sezione trasversale.

L'utilità di questo comando è varia; ad esempio, quando si siano inserite da DXF polilinee con più vertici che in realtà si desiderava che descrivessero una sezione sostanzialmente rettangolare. In un caso di tale tipo mantenere un numero di vertici maggiore di 4 è inutile, e pertanto è opportuno semplificare i dati della parete usando il comando di trasformazione in rettangolare.

#### **F.4. FINESTRA FONDAZIONI**

La finestra Fondazioni di PC.M 2000, vers. 4.1, presenta le seguenti novità:

- tabella fondazioni gestita con evidenziazione a colori delle sezioni non rettangolari, analogamente a quanto predisposto per la tabella Pareti (vd. paragrafo F.3.1.);
- menu Edit: comando Sezione Rettangolare, descritto al paragrafo F.4.1.

##### **F.4.1. TRASFORMAZIONE IN FONDAZIONE RETTANGOLARE**


Analogamente al corrispondente nuovo comando della finestra Pareti, il nuovo comando del menu Edit: Sezione Rettangolare, ha l'effetto di trasformare direttamente in rettangolare una fondazione che non lo è, cioè che ha un numero di vertici diverso da 4, oppure che è quadrilatera ma non rettangolare. Dai lati X e Y vengono calcolate le coordinate dei nuovi 4 vertici descriventi il rettangolo.

Se una fondazione è poligonale, in pratica, questo comando la trasforma nel suo stesso rettangolo rappresentativo: esso quindi non sarà più solo una 'rappresentazione equivalente' della fondazione stessa ma la sua vera e propria sezione trasversale.

L'utilità di questo comando è varia; ad esempio, quando si siano inserite da DXF polilinee con più vertici che in realtà si desiderava che descrivessero una sezione sostanzialmente rettangolare. In un caso di tale tipo mantenere un numero di vertici maggiore di 4 è inutile, e pertanto è opportuno semplificare i dati della fondazione usando il comando di trasformazione in rettangolare.

## **F.5. FINESTRA SOLAI**

La finestra Solai di PC.M 2000, vers. 4.1, presenta le seguenti novità:

- menu Esegui, comando Elenco Allineamenti (del tutto analogo al corrispondente comando delle finestre Pareti e Fondazioni, ed equivalente al comando  della barra degli strumenti standard 4.1);
- menu Modifica, comando Seleziona, descritto al paragrafo F.5.1.;
- menu Opzioni, comando 'Solai Mono- / Bi- direzionali', descritto al paragrafo F.5.2.

### **F.5.1. SELEZIONE DI SOLAI**

Il nuovo comando Seleziona del menu Modifica consente la selezione diretta di tutti i solai del piano corrente. Per selezionarne solo una parte, fare poi clic sulla casella grigia accanto (a destra) al numero di solaio; questo clic la deseleziona. La selezione dei solai può essere utile ad esempio per l'eliminazione del gruppo di solai selezionati.

### **F.5.2. TRASFORMAZIONE DI SOLAI MONO E BI DIREZIONALI**

Il nuovo comando 'Solai Mono- / Bi- direzionali' del menu Opzioni ha l'effetto di trasformare, nel piano corrente, tutti i solai monodirezionali in bidirezionali, e viceversa.

Questo comando può essere utile per lo studio dell'influenza di una diversa schematizzazione della distribuzione del carico sulle pareti, nei confronti dei risultati dell'elaborazione. Con un solo comando, è possibile variare lo schema statico di tutti i solai del piano corrente.

Il comando non ha ovviamente alcun effetto su solai caratterizzati da altri schemi statici (lastra, volte, perimetro di piano).

## F.6. PARAMETRI DI CALCOLO

Nei Parametri di Calcolo, PC.M 2000 vers. 4.1 introduce, nel gruppo 'Analisi Statica', un nuovo parametro dedicato alla verifica statica alle **Tensioni medie di Compressione**: il **Coefficiente di Sicurezza** che determina la tensione di riferimento per la verifica rispetto alla tensione caratteristica a compressione.

In fig. 9 è riportato il nuovo aspetto della scheda 'Analisi Statica' dei 'Parametri di Calcolo'.

**Parametri di Calcolo**

Analisi Statica | Analisi Sismica | Parametri Vari (1) | Parametri Vari (2) | Muratura Armata | Avanzate

**Schema statico per Analisi Fondazioni**

☐ Carichi Locali (fondazioni non collaboranti tra loro)  
☐ Tensioni uniformi sotto fondazioni con uguale Sigla  
☒ Fondazioni su Piano Rigido (travi o platea)

**Carichi G,Q e Forze F specificati nei Dati Piani**

☒ Aggiuntivi  
☐ Sostitutivi

**Coefficienti di Sicurezza**

Per Verifica alle Tensioni di Compressione:  
 tensione di riferimento = 1 /  sigma,k  
 (sigma,k = resistenza caratteristica a compressione.  
 Secondo il D.M. 20.11.1987 per le strutture in muratura, la  
 tensione ammissibile è pari a (1/5) di sigma,k)

**Azione del Vento**

(valori in kg/mq)

Pressione =       Depressione =

**Per Edifici Esistenti**

Trascurabilità delle Verifiche Statiche secondo il  
 D.M. 20.11.1987 : Verifiche a Compressione [ per  
☒ Carichi Verticali ]; Verifiche a PressoFlessione e a  
 Taglio [ per Carichi Orizzontali da Vento ] (verifiche  
 obbligatorie per gli edifici nuovi)

OK      Annulla

Fig. 9. Parametri di Calcolo: scheda Analisi Statica.

Fino a PC.M vers. 4.0, il coefficiente era assunto automaticamente pari a 5, identificando con il valore ( $\sigma_k/5$ ) la tensione ammissibile della muratura, secondo quanto indicato dal D.M. 20.11.1987 (unico documento normativo dove è riportata la formula di calcolo della tensione ammissibile a compressione).

Tuttavia, nello spirito di metodi per altri versi riferiti a calcoli a rottura, è possibile cambiare il coefficiente di sicurezza, che può assumere valori compresi fra 1 e 5. Se si desidera identificare il limite di verifica delle 'Tensioni medie di compressione' con la rottura (teorica) a compressione della muratura, è possibile specificare il valore 1.00; ogni valore intermedio fra 1 e 5 assumerà come riferimento una via di mezzo fra la tensione ammissibile (raggiunta la quale non vi sono ancora comunque lesioni a compressione negli elementi strutturali!) e la tensione di rottura (che in teoria corrisponde appunto al raggiungimento del pericolo di cedimento della



struttura per effetto dei carichi verticali, fenomeno in realtà piuttosto raro negli edifici a comportamento 'scatolare' dove le interconnessioni fra le pareti favoriscono la diffusione delle tensioni).

Un'altra novità di PC.M 2000 riguarda il **calcolo del 'C' convenzionale**, il metodo semplificato con cui normalmente si stima la vulnerabilità sismica degli edifici. Fino a PC.M 2000 v. 4.0 il metodo analitico adottato dal software prevedeva l'esclusione del **contributo delle pareti snelle** (aventi cioè un rapporto  $(H/L) > 3$ ). Questa scelta è stata dettata dal rispetto di indicazioni normative, presenti nel punto C.5.2. del D.M. 16.1.1996 (anche se li inserite nel contesto degli edifici nuovi), espressamente riferite all'uso di metodi di analisi semplificati. Tuttavia, essendo questo calcolo effettivamente 'convenzionale', e poiché si rivolge agli edifici esistenti, dove talvolta l'esclusione degli elementi snelli porta a un'impossibilità di considerare una sia pur piccola resistenza a taglio, a partire dalla vers. 4.1 si introduce la possibilità di attivare o meno l'esclusione delle pareti snelle (vd. fig. 10, cornice: Soglia di Vulnerabilità: C convenzionale).

**Parametri di Calcolo**

Analisi Statica | Analisi Sismica | Parametri Vari (1) | **Parametri Vari (2)** | Muratura Armata | Avanzate

**Taglianti Sismici per Fondazioni su Piani Sfalsati**  
 Il Tagliante di piano viene calcolato con riferimento:  
☒ Alle Forze dei piani sovrastanti, corrispondenti - piano per piano - alle masse non fondate  
☐ Al Tagliante del piano sovrastante, corrispondente alla massa non fondata del piano sovrastante

**Per Verifiche a Ribaltamento**  
 Le azioni dei tiranti in sommità alle pareti verranno sempre computate nel calcolo. Per quanto riguarda le forze orizzontali concentrate di tipo sismico dovute al carico del solaio, esse potranno essere considerate nulle nel caso di vincoli efficaci:  
☒ Annullare la forza sismica concentrata in sommità alla parete (prodotta dal carico di solaio) nel caso di presenza di vincolamento efficace

**Applicabilità del Metodo VeT**  
 (par.4.3., pp.28-31: 'Criteri di Calcolo - Prov. PG - S.S.N.')  
 Per la valutazione delle condizioni di applicabilità della Verifica Sismica Semplificata (= Metodo VeT), con riferimento al Piano 1:  
 Rettangolo circoscritto alla pianta dell'edificio:  
 Dimensioni: X (m) =  Y (m) =   
 Scostamento dalla forma rettangolare lungo le direzioni: Y (b1), e: X (b2):  
 b1 (m) =  b2 (m) =

**Soglia di Vulnerabilità: C convenzionale**  
 Valore C di riferimento per il Coefficiente di Resistenza Convenzionale (Vulnerabilità) [si assume: C=0.14 per zona sismica classificata con S=9, C=0.08 per zone non classificate] =   
☒ Calcolo con:  $q = [(A_x + A_y) * h + p.m] / A + p.s$   
☐ Calcolo con: q 'mediato', corrispondente alla formulazione esatta del metodo (per tenere conto della reale distribuzione delle masse lungo l'altezza dell'edificio)  
☒ Trascurare il contributo delle pareti snelle, aventi cioè un rapporto  $(H / L) > 3$  [riferimento Normativo: D.M. 16.1.1996, par. C.5.2., punto I): calcolo percentuale di muratura sismicamente resistente]

**Terreno e Fondazioni**  
**Caratteristiche geotecniche**  
 Capacità portante q.lim (kg/cmq) =   
 Angolo di attrito interno (°) =   
 Coesione (kg/cmq) =   
 Peso Specifico (t/mc) =   
**Caratteristiche geometriche**  
 Quota piano di campagna (estradosso del terreno) rispetto allo 0.00 di riferimento dell'edificio (intradosso delle fondazioni) (m) =

Fig. 10. Parametri di Calcolo: scheda Parametri Vari (2).

## F.7. GRAFICA

PC.M 2000, versione 4.1, introduce molte novità in campo grafico; le principali sono le seguenti:

- Nuovi layers per l'input da file DXF: è possibile differenziare le tipologie strutturali già a partire dal file DXF
- Disponibilità di file base per la creazione del disegno per l'input da DXF
- Potenziamento delle funzionalità di AEDES-CAD (modulo aggiuntivo prodotto e distribuito dalla AEDES): è ora possibile gestire integralmente l'input geometrico della struttura, anche a partire dalla fase iniziale (possibilità, quindi, di prescindere dall'uso di altri programmi di CAD)
- Miglioramento dei nomi di files proposti per l'output su bitmap e su DXF: tali nomi coincidono con il titolo del disegno da esportare
- Nuovi tipi di disegno con mappe a colori. Per i dati: Snellezza, Resistenza a taglio; per le analisi a taglio: Rigidità, Spostamenti
- Miglioramento gestione barre degli strumenti specifiche delle finestre grafiche 2D e 3D
- Disponibilità di file base per la creazione del disegno per l'input da DXF
- Nuovi parametri di disegno
- Miglioramento della funzionalità del comando 'Distanza'

Queste modifiche o nuove caratteristiche vengono descritte in dettaglio ai paragrafi seguenti.

### F.7.1. NUOVI LAYERS PER L'INPUT DA FILE DXF

Fino a PC.M versione 4.0, i layers accettati per la definizione della geometria dell'edificio erano i seguenti:

- PARETI0i (i=0,...,n) per la definizione dei maschi murari del piano i-esimo (0=fondazioni);
- SOLAI0i (i=0,...,n) per la definizione delle maglie di solaio del piano i-esimo (0=fondazioni).

Al fine di differenziare le tipologie già dal disegno su CAD esportato via DXF per l'input in PC.M, è ora possibile disegnare le polilinee delle sezioni trasversale degli elementi strutturali anche nei seguenti layers aggiuntivi (con la convenzione i=1,...,n; per la geometria delle fondazioni resta possibile il solo layer PARETI00):

**MURICA0i**, per le pareti ed i pilastri in cemento armato;

**STRISCE0i**, per le strisce murarie;

**SOTTOFIN0i**, per i sottofinestra murari;

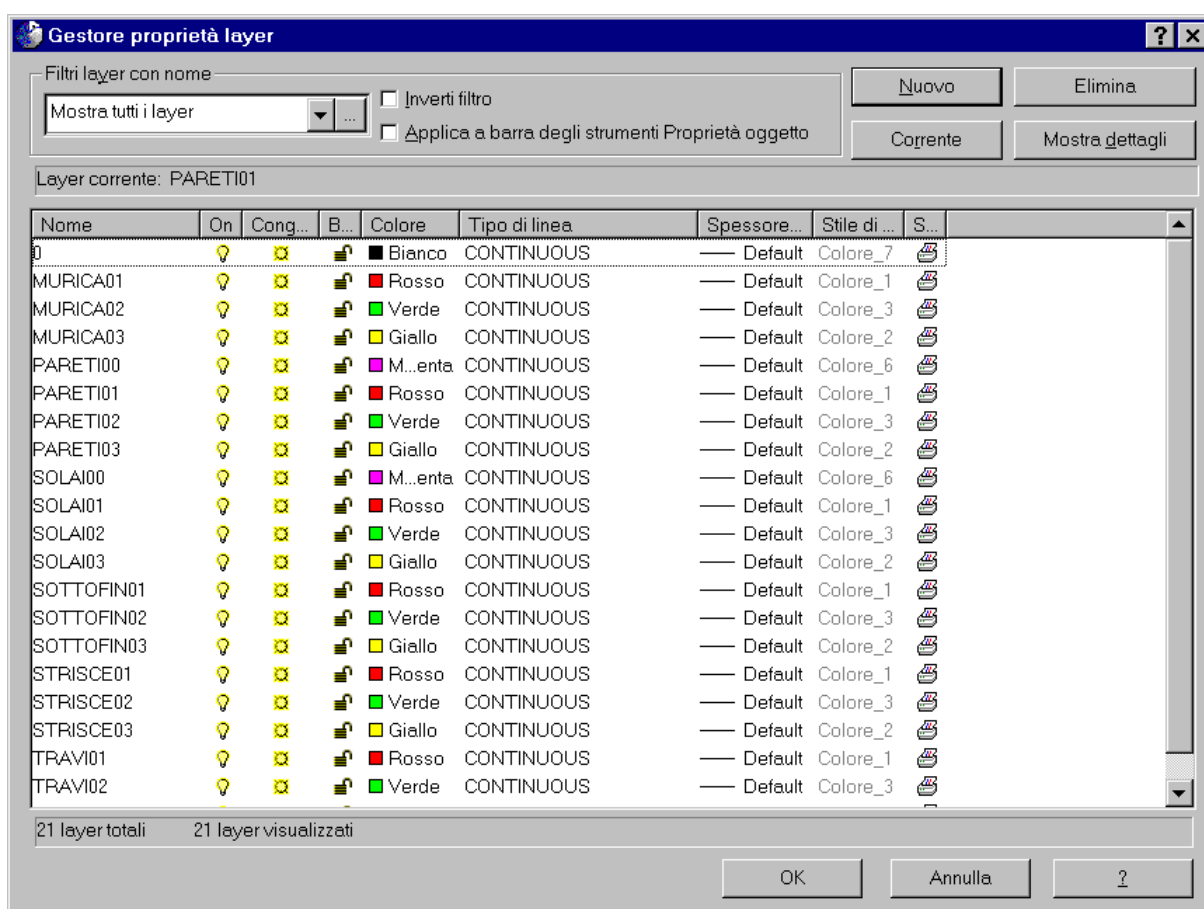
**TRAVI0i**, per le travi.

I vantaggi sono evidenti: ad esempio, strisce e travi non sono più 'equiparate' a pareti, che poi vengono variate agendo sui dati dentro a PC.M, ma già dall'input via DXF vengono rappresentate in maniera appropriata. Inoltre, la contemporanea presenza su uno stesso layer (come avveniva fino a PC.M 4.0, su PARETI0i) di strisce, sottofinestra e pareti può rendere di difficile preparazione e leggibilità il disegno. Viceversa, la differenziazione in layers distinti consente una più agevole definizione delle polilinee delle sezioni trasversali resistenti ed in definitiva una migliore gestione della geometria della struttura da esportare verso PC.M.

Tutti i layers necessari per un input completo e articolato nelle varie tipologie, sono automaticamente predisposti, per un edificio di 3 piani, nel file di default:

#### **BASE\_INPUT**

fornito sia su DWG di AutoCAD, sia su DXF, e installato direttamente in C:\PCM2000\FILES.



**Fig. 11.** Layers per l'input da DXF.

In fig. 11 sono riportati i layers del file BASE\_INPUT, visualizzati nell'apposita finestra di AutoCAD LT.

### F.7.2. COLLOQUIO CON AEDES-CAD

Il paragrafo F.7.2. è dedicato a tutti gli Utenti sia di PC.M sia di AEDES-CAD.

**Le funzionalità descritte sono disponibili soltanto se nello stesso sistema sono contemporaneamente installati ed attivati sia PC.M (in C:\PCM2000), sia AEDES-CAD (in C:\AEDESCAD).**




Tutti gli Utenti di PC.M che non possiedono la licenza per AEDES-CAD possono rivolgersi in qualsiasi momento alla AEDES Software per acquistarla; poiché AEDES-CAD è presente, come tutti gli altri programmi di AEDES 2000, nello stesso CD dove si trova PC.M, l'acquisto della licenza d'uso di AEDES-CAD comporterà semplicemente la fornitura, da parte della AEDES, dell'abilitazione per lo sblocco del programma, secondo il metodo di attivazione tramite chiave software che caratterizza tutti i programmi di AEDES 2000.

Con il rilascio dell'aggiornamento Marzo 2001 dei programmi di "AEDES 2000", insieme alla nuova versione di PC.M (4.1) viene distribuita anche la nuova versione di AEDES-CAD (la 1.1), l'applicativo CAD della AEDES Software che già grande favore ha incontrato presso gli Utenti principalmente per la possibilità di estendere le funzioni tipiche del CAD alla fase di gestione dati di PC.M.


Mentre è in produzione un ampliamento della documentazione vera e propria associata a AEDES-CAD, in questo contesto se ne esamineranno in dettaglio le funzionalità per l'utilizzo all'interno di PC.M, con riferimento a due fasi fondamentali:

- 1) la **modifica dei dati geometrici già inseriti** (paragrafo F.7.2.1.);
- 2) l'**inserimento completo dei dati geometrici** di un edificio (paragrafo F.7.2.2.).

■ Per quanto riguarda la modifica di dati geometrici già inseriti, la procedura prevede il rispetto dei seguenti punti:

1. **all'edificio** corrente di PC.M **deve essere già stato attribuito un nome**; se si sta lavorando su un nuovo edificio, non si deve esportare verso AEDES-CAD prima di aver salvato l'edificio stesso con un nome identificativo (in altre parole, non si deve esportare verso AEDES-CAD finché l'edificio si chiama ANONIMO);
2. **AEDES-CAD deve essere lanciato a partire da PC.M**, e quindi utilizzando il pulsante grafico  della barra degli strumenti della finestra grafica 2D;
3. eseguite le modifiche, **si tornerà - nella stessa sessione - a PC.M**, esportando da AEDES-CAD verso PC.M (utilizzando il pulsante grafico  di AEDES-CAD): ciò comporta la chiusura automatica di AEDES-CAD; rendendo di nuovo PC.M come finestra attiva, si eseguirà l'importazione da AEDES-CAD utilizzando il pulsante grafico  della barra degli strumenti della finestra grafica 2D.

■ Per quanto riguarda l'inserimento della geometria di un nuovo edificio, la procedura consigliabile è la seguente:

1. aprire PC.M, e tenere **in linea l'edificio ANONIMO** (oppure scegliere il comando: Nuovo, dal menu File della finestra Edificio);
2. impostare il **numero di piani** nella finestra Edificio;
3. **esportare il disegno 'vuoto' verso AEDES-CAD** utilizzando il pulsante grafico  della barra degli strumenti della finestra grafica 2D;
4. in AEDES-CAD **disegnare le polilinee delle pareti** negli appositi layers predisposti (PARETI01, ..., PARETI0n), eventualmente con l'ausilio di un DXF (ad esempio, un DXF architettonico);
5. **esportare verso PC.M e, riattivato PC.M, importare da AEDES-CAD.**

L'importazione eseguita mentre l'edificio corrente è ANONIMO produce la reinizializzazione di tutta la struttura coi dati importati. Pertanto, qualora l'input grafico debba svilupparsi in tempi lunghi che richiedono più di una sessione di lavoro in AEDES-CAD, occorre apportare le seguenti variazioni alla procedura da seguire:

1. lavorare in AEDES-CAD per una prima sessione, e **salvare il disegno corrente in un file DWA** (formato proprio di AEDES-CAD), ad esempio: PROGETTO.DWA; in PC.M non eseguire per ora alcuna importazione da AEDES-CAD;

**2.** in sessioni di lavoro successive, riaprire AEDES-CAD quante volte necessario, lavorando sul file PROGETTO.DWA fino a che il disegno viene completato: in tutte queste sessioni, **AEDES-CAD verrà aperto DIRETTAMENTE** (dal file eseguibile AEDESCAD.EXE posto in C:\AedesCAD) e NON invocato da PC.M;

**3. completato il disegno**, si apra anche PC.M (indipendentemente da AEDES-CAD). In AEDES-CAD si **esporti verso PC.M**; in PC.M, a edificio corrente ANONIMO, si **importi da AEDES-CAD**: verrà importata la struttura precedentemente disegnata e archiviata - come puro disegno - in PROGETTO.DWA.

In ambiente PC.M, salvare quindi con nome in modo da denominare l'edificio che è appena stato importato.

#### F.7.2.1. MODIFICA DEI DATI

Si utilizzi, a titolo di apprendimento, la struttura AEDES\_CAD.PCM installata in \ES-APPRENDI fra gli esempi di apprendimento.

Si tratta di un modello di edificio ricavato - tramite alcune modifiche - dall'archivio PG-AT-81 in \EDIFICI (l'edificio corrispondente alla struttura riportata come esempio generale di apprendimento nel paragrafo C.1.1. del volume 'Esempi Applicativi').

In questo contesto, le modifiche sono state apportate al fine di esplorare più compiutamente le modalità operative in AEDES-CAD:

- al piano terra sono state inserite alcune strisce fra maschi murari (elementi 18, 19 e 20 della tabella pareti al piano 1);
- il materiale di alcune pareti del piano terra è stato variato con altro tipo di muratura;
- la parete 15 del piano terra è stata ridefinita con una poligonale a più vertici, ipotizzando che il suo spessore anziché 40 cm. sia 70 cm., ma con una 'nicchia' intermedia, tale da richiedere la descrizione della polilinea tramite 8 vertici (per fare questa modifica, si è anzitutto cambiato il numero di vertici da 4 a 8, e poi si sono corrette le coordinate dei vertici);
- nel piano di copertura si sono inserite altezze variabili per descrivere una configurazione di sotto-falda.

Sulla struttura così impostata, apporteremo alcune modifiche geometriche utilizzando AEDES-CAD.  
Vogliamo anzitutto unificare le pareti 1 e 2 del piano 1 (fig. 12).

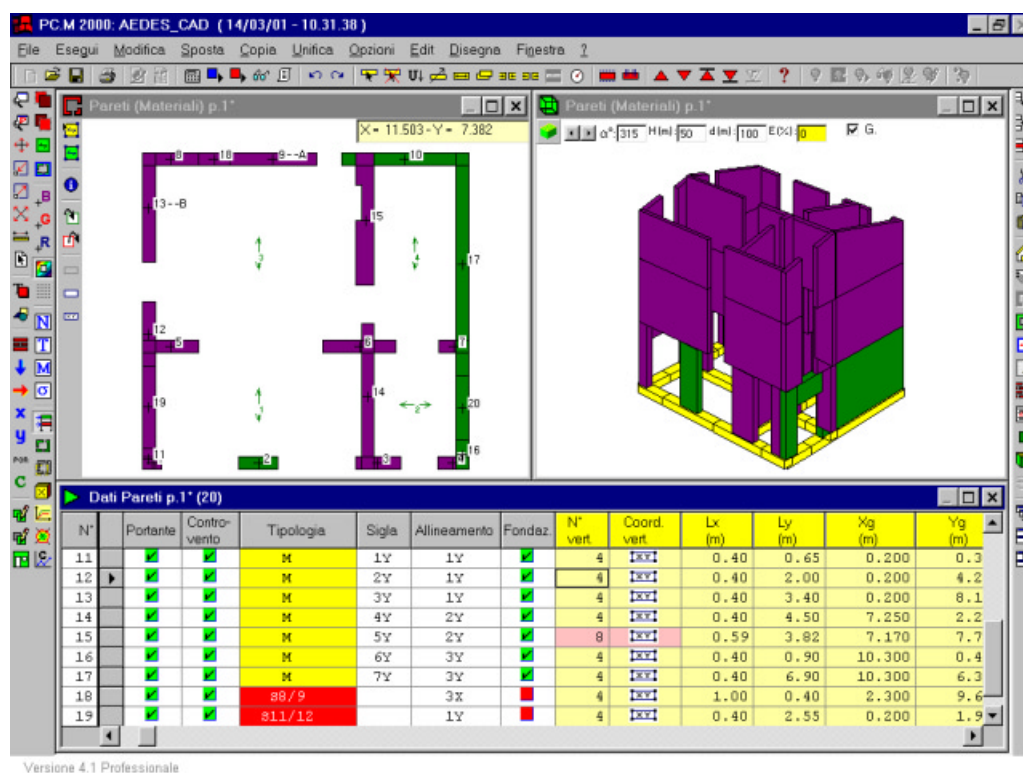



Fig. 12.

Facendo clic sul pulsante grafico  della finestra grafica 2D, si esporta la geometria verso AEDES-CAD, ottenendo la schermata riportata in fig. 13.

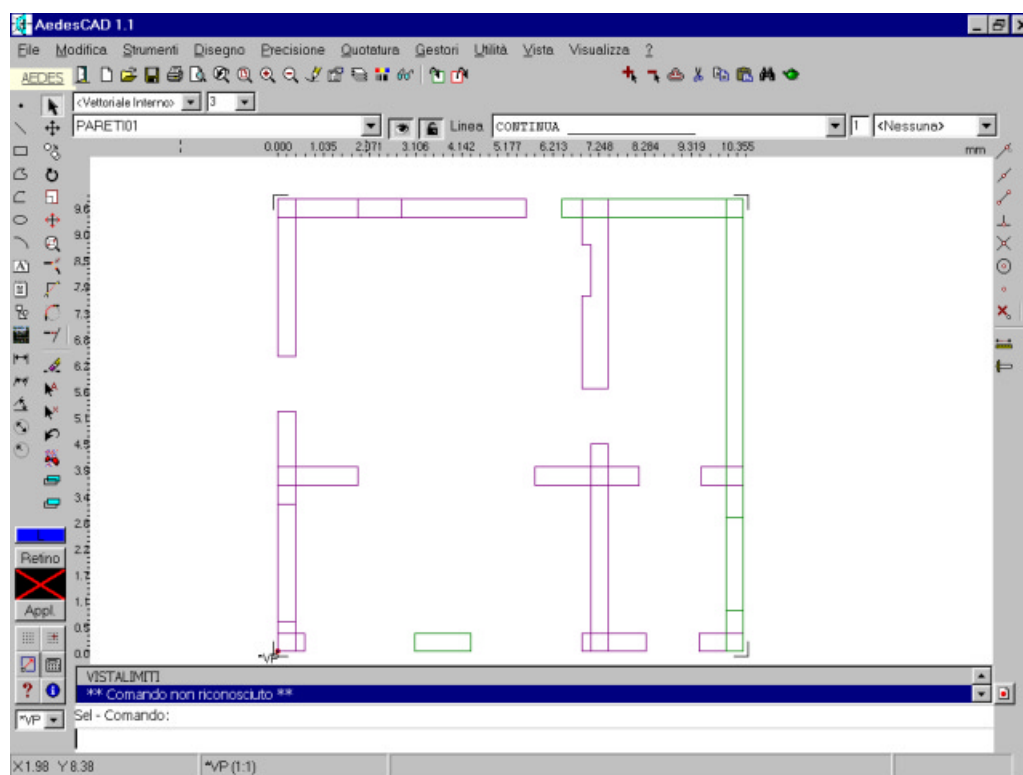



Fig. 13.

Si attivi la modalità di ‘Selezione oggetti’ facendo clic sul pulsante grafico della barra degli strumenti  (questa operazione deve sempre essere eseguita prima di selezionare oggetti). Si selezionino quindi le due polilinee rappresentative delle pareti 1 e 2 (fig. 14).

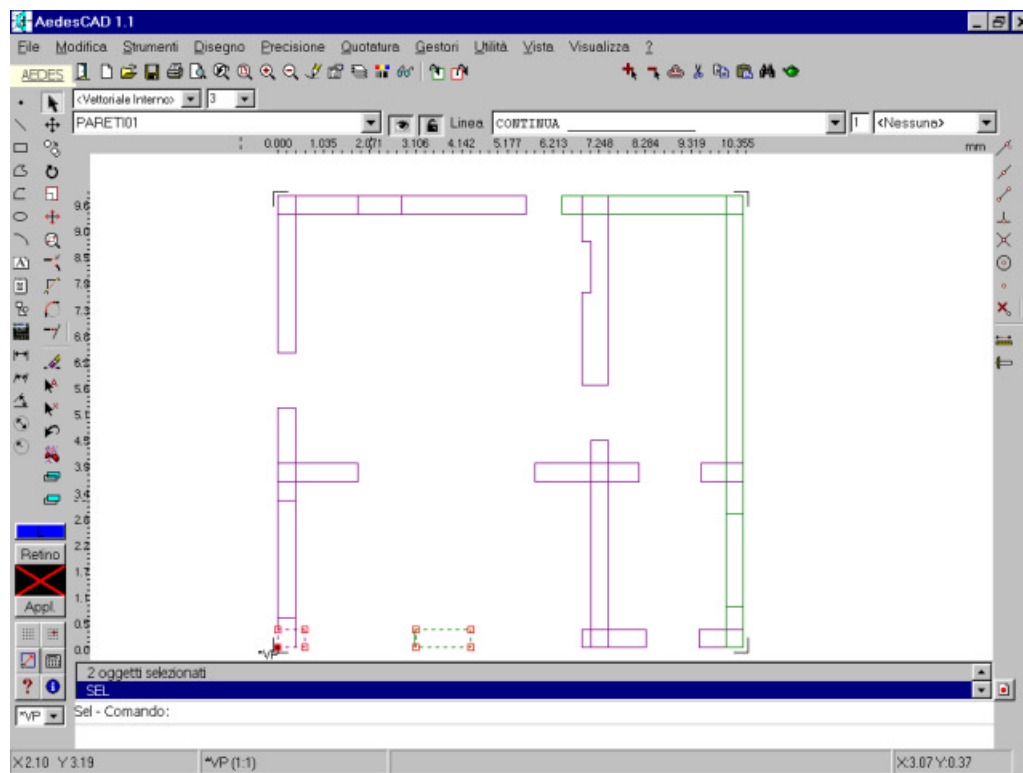


Fig. 14.

Per unire le due polilinee fondendole in una unica, anzitutto si ‘stira’ la polilinea-parete 1 fino a sovrapporre tutta la polilinea-parete 2.

Un primo metodo può essere quello di ‘catturare’ col mouse un vertice della prima e ‘trascinarlo’ sul vertice opposto della seconda, in modo da ‘sovrapporre’ la prima polilinea - stirandola - alla seconda; si ripete l’operazione con l’altro vertice interessato, e si ottiene quanto voluto.

Un altro metodo, sapendo la coordinata finale dei due vertici da stirare della polilinea-parete 1 (4.35 anziché l’iniziale 0.60), può essere quello di editare le proprietà dell’oggetto: a tal fine, fare clic col tasto destro del mouse in un punto qualunque del disegno, e scegliere ‘Annulla Selezioni’. Quindi, rieseguire la selezione solo della polilinea-parete 1. A questo punto scegliere il comando: menu Modifica, Proprietà: si apre la finestra di dialogo ‘Proprietà Oggetto’: scegliere la scheda ‘DataBase’. In questa scheda, si scorrono i 5 nodi della polilinea e si possono variare direttamente in via numerica le coordinate. Sarà sufficiente cambiare solo la X dei nodi 3 e 4 (da 0.60 a 4.35) [ricordiamo che in AEDES-CAD la polilinea chiusa rettangolare consta di 5 vertici, l’ultimo dei quali coincide con il primo]. Scegliendo i comandi Applica e Chiudi, il disegno viene aggiornato.

Il risultato è riportato in fig. 15.



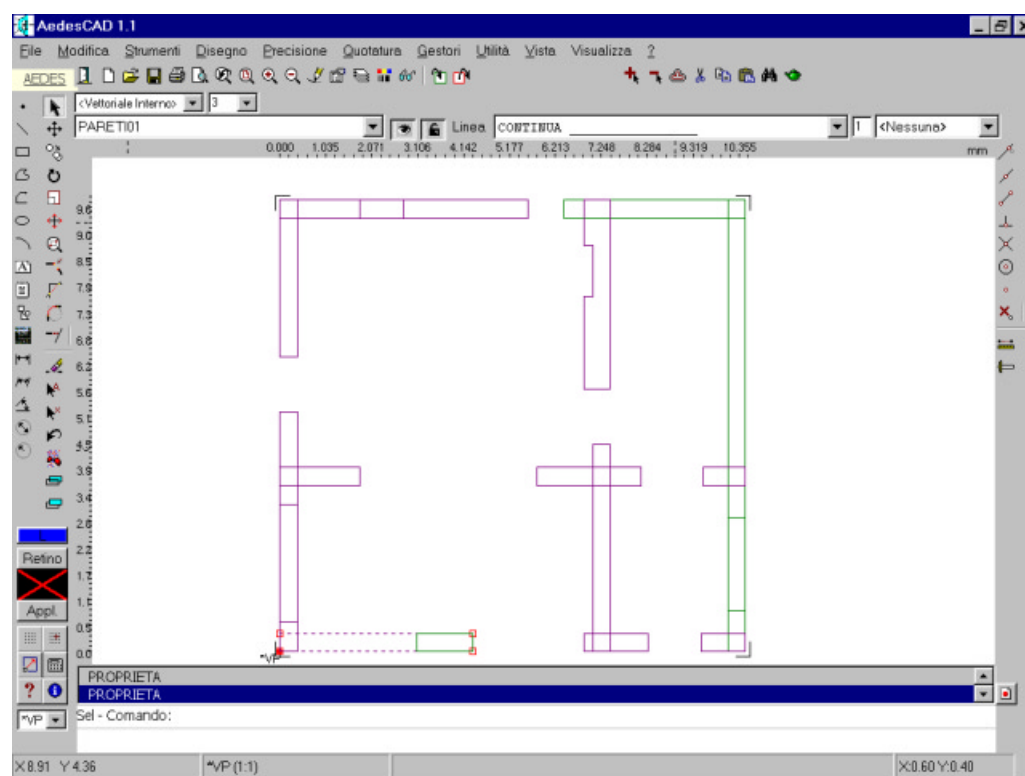


Fig. 15.

Ora, si deve eliminare la polilinea-parete 2, divenuta inutile: tasto destro mouse: Annulla Selezioni; poi si seleziona la polilinea da eliminare; quindi: menu Modifica, Elimina. Il risultato è riportato in fig. 16.

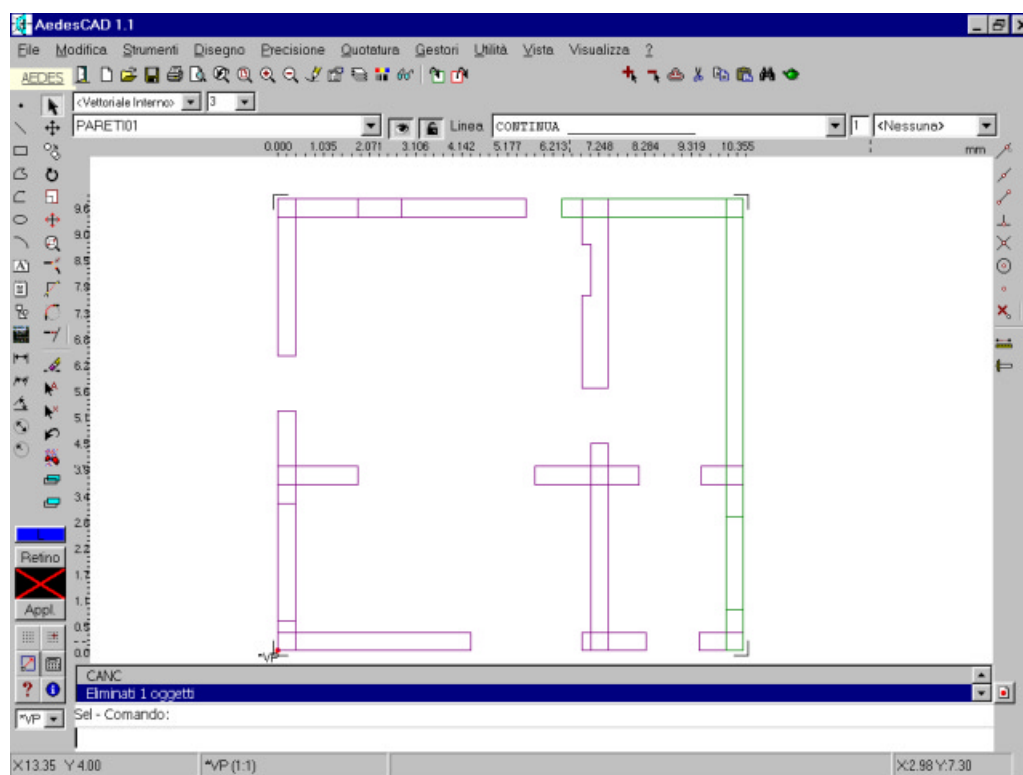


Fig. 16.

Si osservi ovviamente che la polilinea ‘stirata’ conserva il colore - cioè il materiale - della polilinea originaria. Prima di proseguire, proviamo a salvare il file in formato proprietario di AEDES-CAD (file DWA): dal menu File scegliere ‘Salva con nome’ e quindi specificare ad esempio: ‘ProvaPCM’.

Editiamo ora la polilinea-parete 15 della quale vogliamo eliminare la nicchia; ma prima, copiamola in una nuova polilinea che corrisponde ad una ipotetica nuova parete.

Selezionare la polilinea-parete 15, e quindi scegliere il comando: menu Modifica, Copia. Fare quindi clic sul nodo della polilinea in basso a sinistra, come punto di partenza, e sul nodo evidenziato in un quadratino in fig. 17 come punto di arrivo, avendo attivato la modalità Ortogonale (Orto On) con l’apposito pulsante grafico della barra degli strumenti. Si otterrà la copia rappresentata in fig. 17.

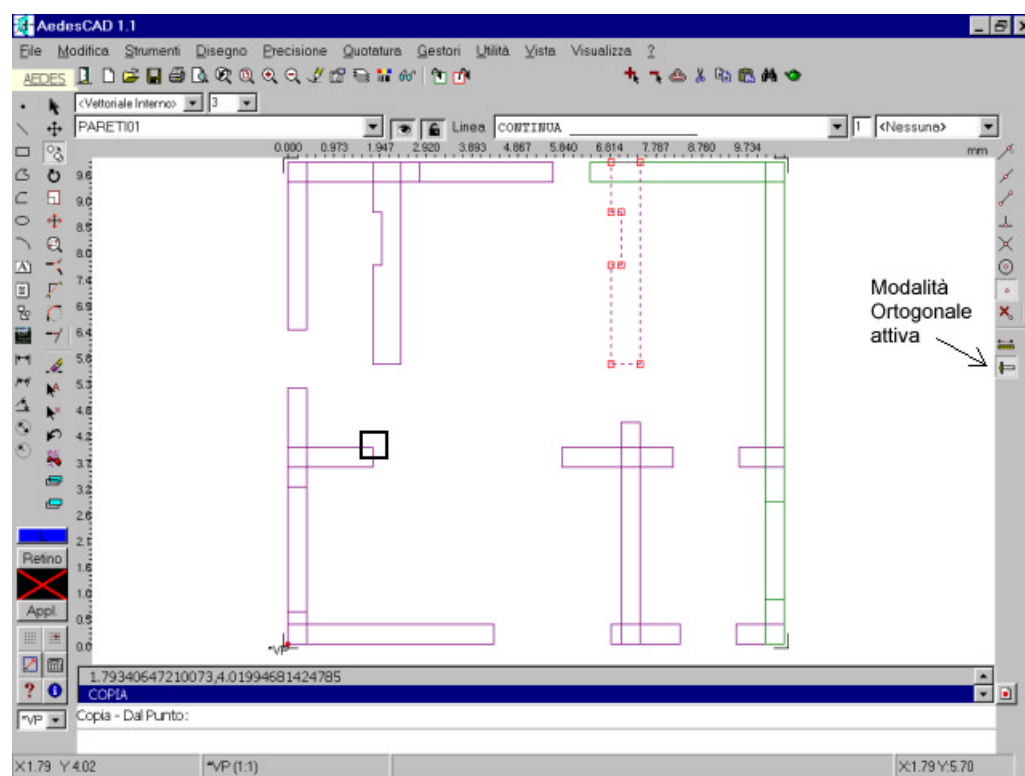


Fig. 17.

Per ‘chiudere’ la nicchia nella polilinea-parete 15, si uniscono i due nodi indicati in fig. 18 attraverso l’eliminazione dei 4 nodi della nicchia.

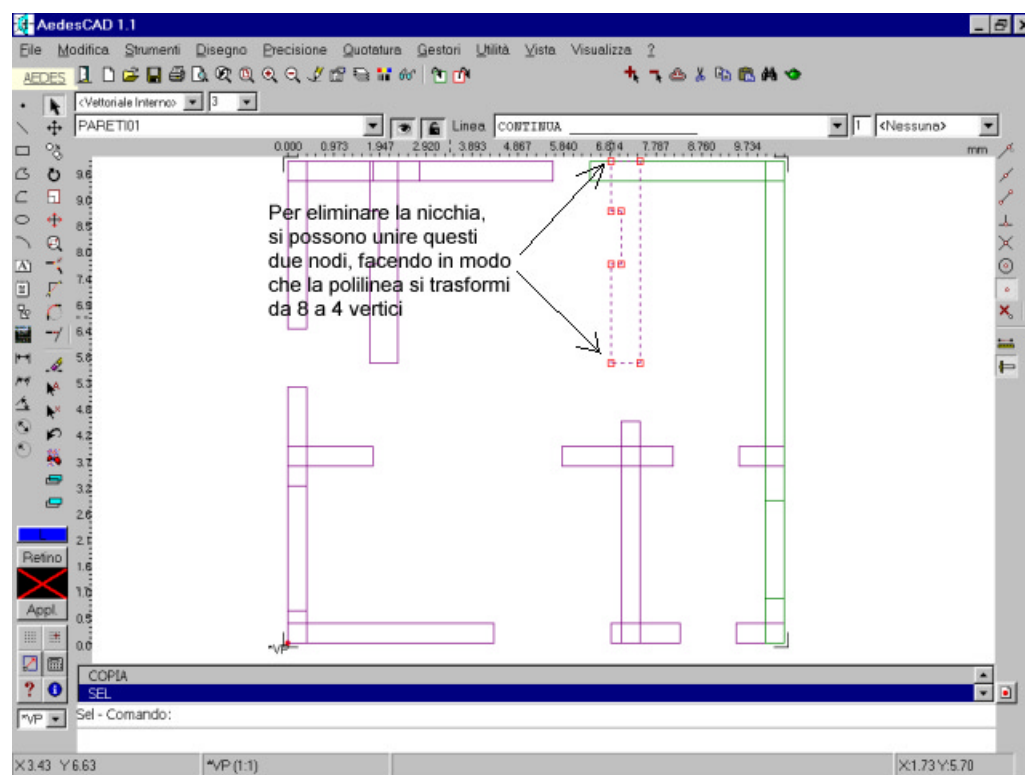


Fig. 18.

Per eliminare i 4 nodi della nicchia: menu Strumenti, comando Elimina nodo. Occorrerà poi puntare, uno per volta, sui 4 nodi detti. Infine, eseguire il comando Ridisegna del menu Vista per perfezionare la visualizzazione. Il risultato ottenuto è riportato in fig. 19.

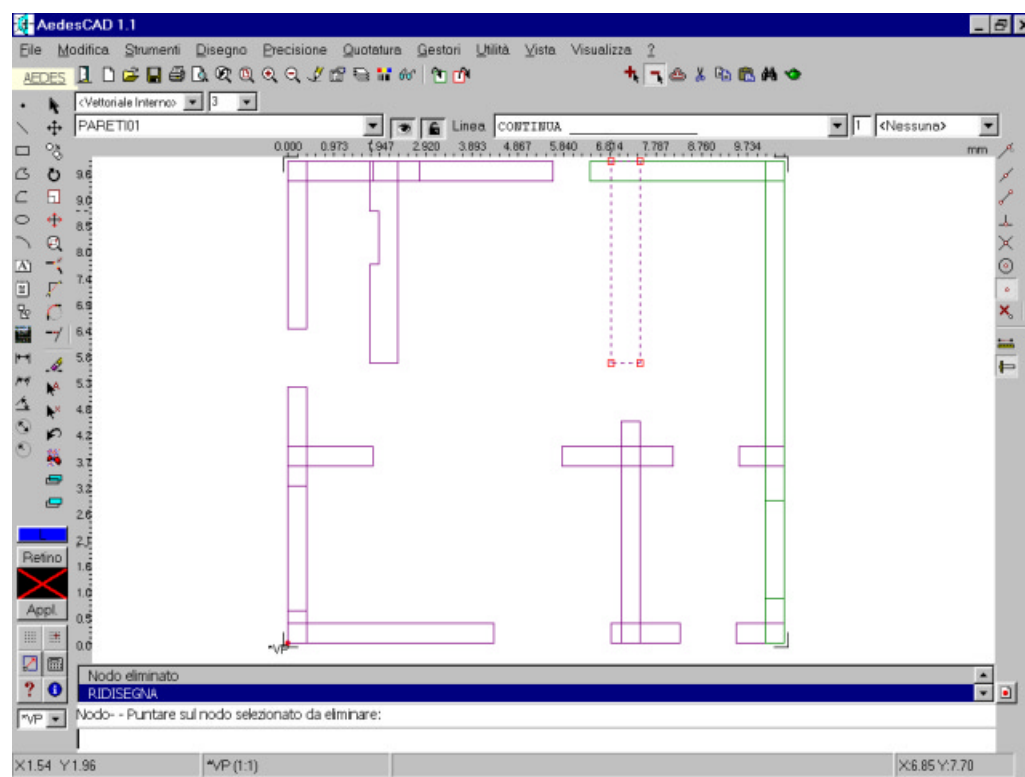




Fig. 19.

Salviamo nuovamente il file di disegno, e quindi esportiamo verso PC.M utilizzando l'apposito comando della barra degli strumenti . AEDES-CAD viene chiuso; sia quindi riattivata la finestra di PC.M. Eseguendo il comando di importazione da AEDES-CAD: , l'edificio viene aggiornato e la grafica in fig. 20 mostra chiaramente l'importazione delle modifiche effettuate in AEDES-CAD.

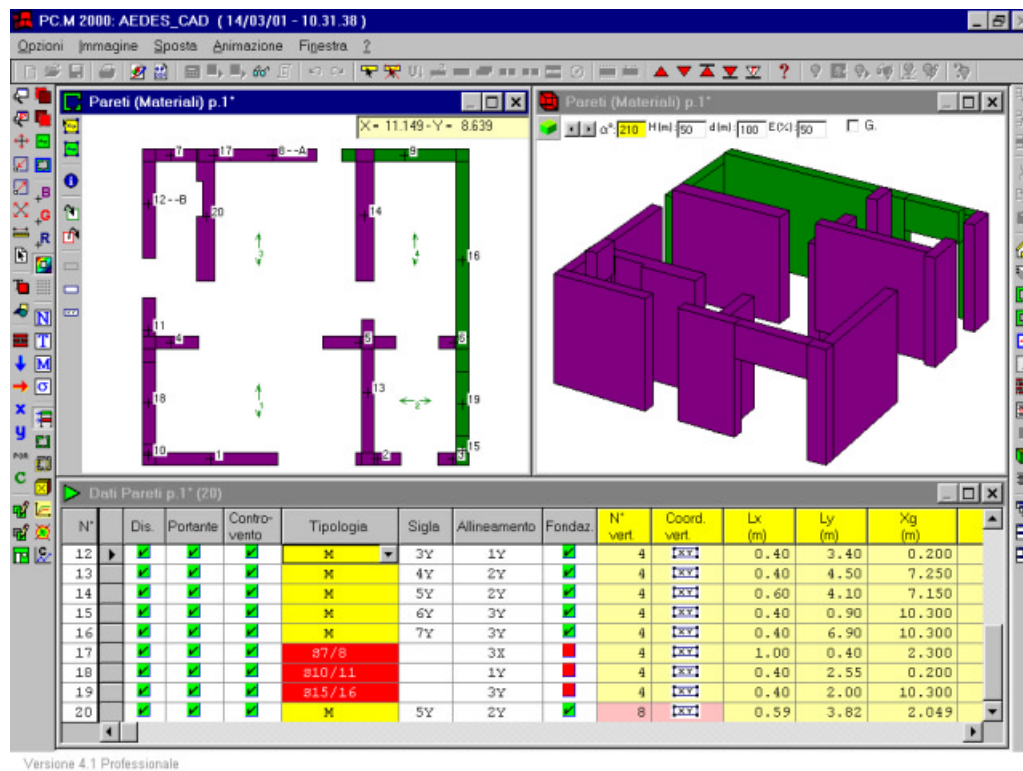



Fig. 20.

Le pareti del piano 1 sono ancora 20, ma la loro numerazione è cambiata. Infatti, è stata eliminata la ex parete 2 e ne è stata aggiunta una nuova, la nuova n°20, come copia della ex 15 (ora 14). In fig. 20, anche il tridimensionale del piano 1 mostra chiaramente le modifiche eseguite.

Un'osservazione riguarda quegli elementi che si riferiscono ad altri (strisce in questo caso, ma potrebbero anche essere travi o sottofinestra; queste tipologie infatti sono definite in appoggio a elementi verticali: per esempio la striscia S11/12 è una striscia che va dal maschio 11 al maschio 12): i riferimenti di questi elementi vengono aggiornati dalle eventuali modifiche condotte in AEDES-CAD. Quindi, ad esempio, in fig.20 la striscia n°19 ha correttamente la tipologia S15/16 (invece di striscia n° 20: tipologia S16/17).

Proseguiamo lo studio di alcune delle principali operazioni possibili in CAD, riaprendo AEDES-CAD attraverso ad esempio il comando di esportazione .

Supponiamo ora di voler ad esempio stirare la polilinea-parete 4 fino a darle una lunghezza pari alla polilinea-parete 1. Dalla 1 tracciamo una linea di riferimento, sempre in modalità 'Orto On'; quindi, selezioniamo la polilinea-parete 4 e, a partire dai due vertici più a destra, disegniamo due linee orizzontali parallele. Si selezionino anche le tre linee create (fig. 21).

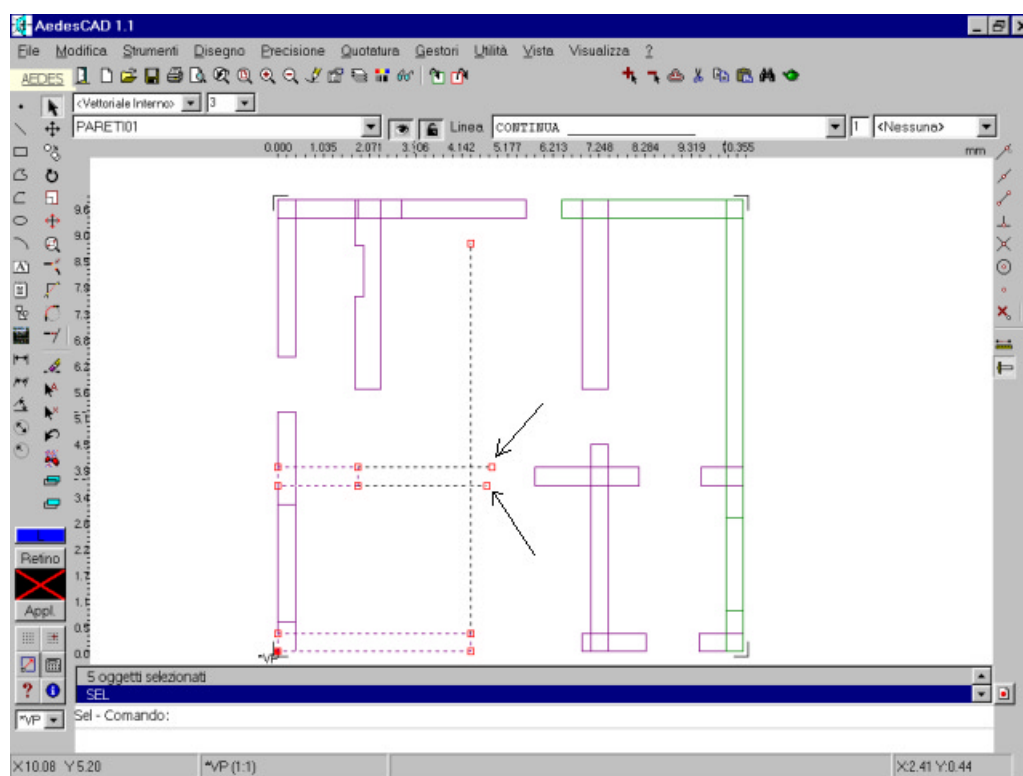


Fig. 21.

Dal menu Strumenti si scelga il comando 'Estendi / Accorcia linea' e si faccia clic sui due nodi indicati in fig. 21. Il risultato è riportato in fig. 22.

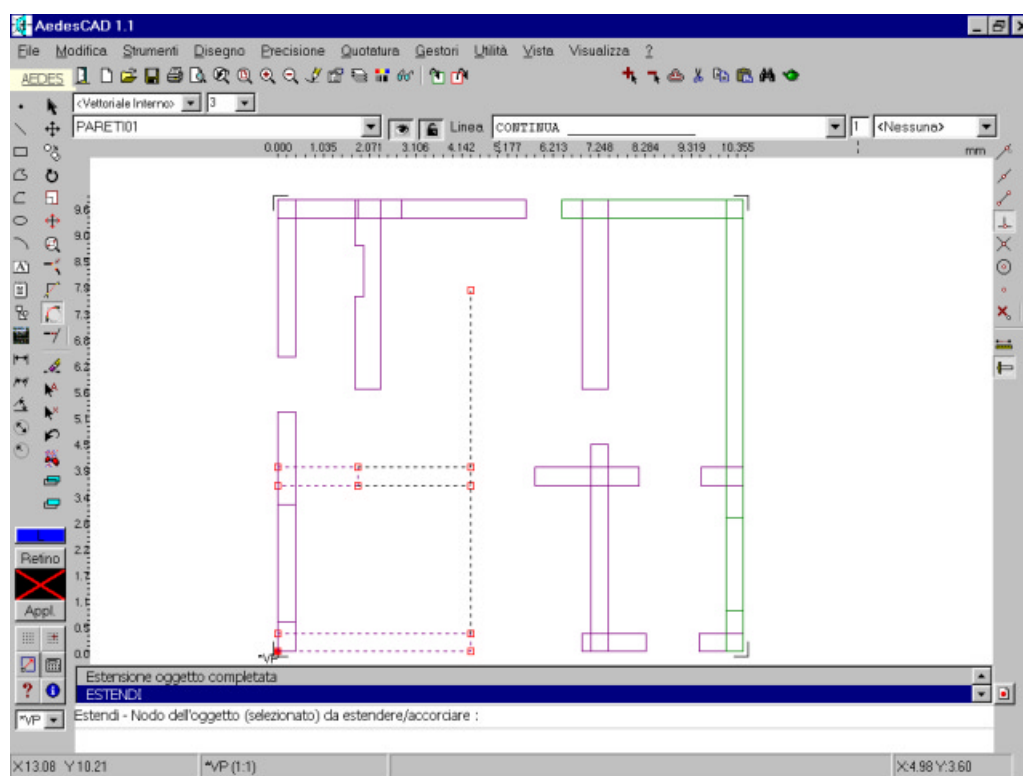


Fig. 22.



A questo punto, si deselezioni il comando Orto; si riattivi il comando Selezione; facendo clic su uno dei due vertici della polilinea-parete da stirare, lo si porti fino alla nuova posizione, e si ripeta questa operazione per l'altro vertice: la polilinea risulterà stirata come in fig. 23.

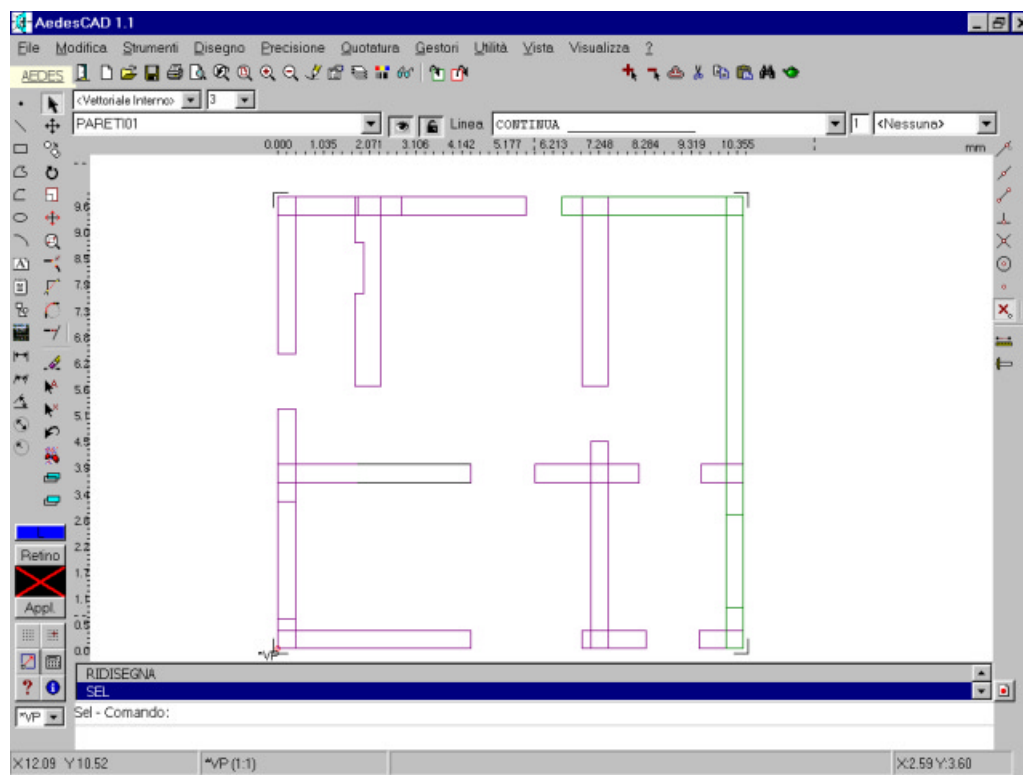


Fig. 23.

Esportando ora verso PC.M, ed in PC.M reimportando da AEDES-CAD, si ottiene la configurazione riportata in fig. 24.

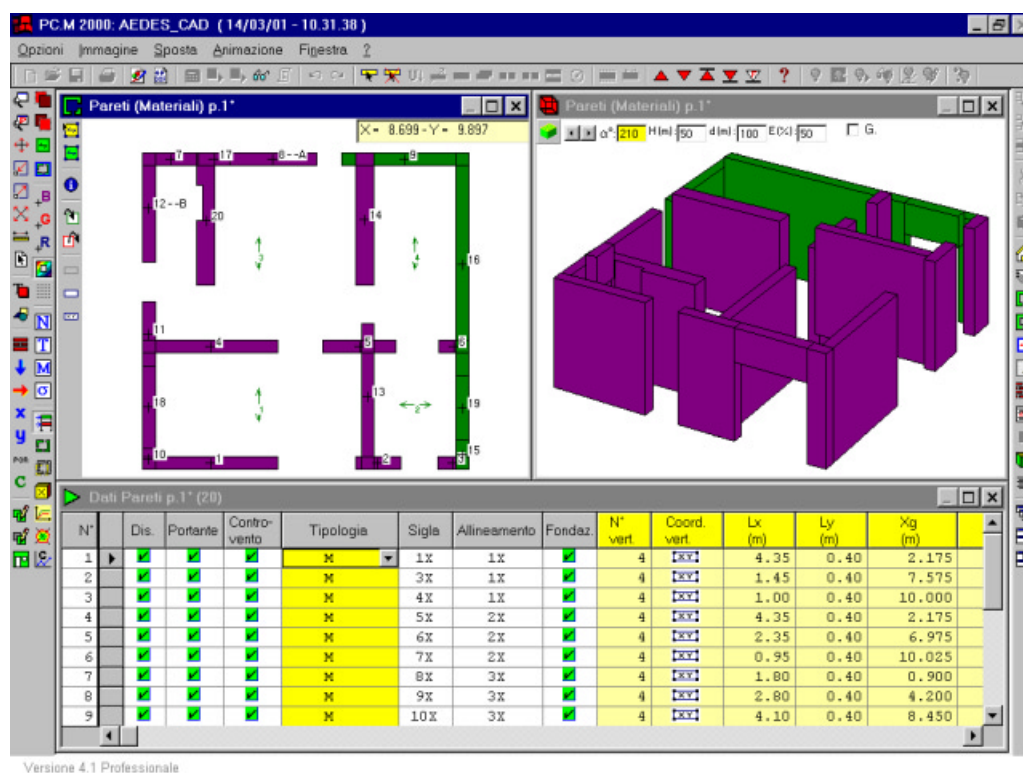


Fig. 24.


Si osservi che in AEDES-CAD l'edificio è completo: i piani sono tutti presenti, organizzati nei livelli (layers) PARETI01, PARETI02, PARETI03. Gli effetti sono stati ottenuti sul piano 1 perché le modifiche effettuate sono state condotte a layer corrente PARETI01.

### F.7.2.2. INSERIMENTO COMPLETO DI UN EDIFICIO

Si lanci PC.M, e se ne predispongano i dati per un nuovo file che sia contenuto nel percorso 'Edifici'.

Nella barra del titolo, in alto, comparirà il nome 'ANONIMO' tipico del nuovo file predisposto da PC.M; si salvi subito con nome (menu File, Salva con nome) la nuova struttura, ad esempio: PROVACAD. La barra del titolo si aggiorna con il nuovo nome.

Si farà riferimento allo stesso esempio riportato al paragrafo C.1.1. del volume 'Esempi Applicativi'; l'input in AEDES-CAD si condurrà ipotizzando di disporre di un architettonico (PROVACAD.DXF) sul quale si disegneranno le sezioni trasversali dei maschi murari.

Il primo dato da specificare è il numero di piani dell'edificio: 3. Confermato nella finestra Edificio questo dato, si faccia clic sul pulsante grafico  della finestra grafica 2D (che si sta presentando vuota) per esportare verso AEDES-CAD.

PC.M, per eseguire il comando di esportazione della struttura ancora da definire, richiede le dimensioni massime in pianta della struttura (fig. 25): ciò al fine di dimensionare correttamente la finestra CAD su cui verrà disegnato l'edificio.

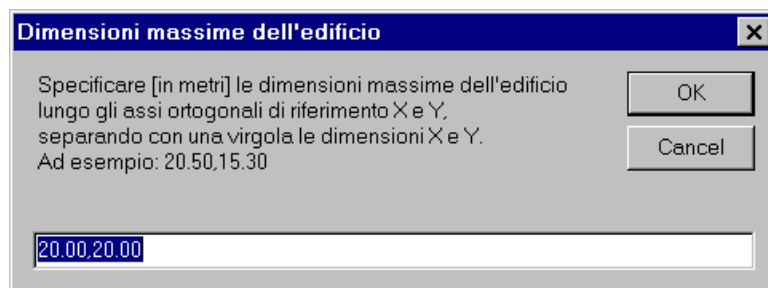


Fig. 25. Richiesta ingombro edificio per esportare verso AEDES-CAD.

Specificare le dimensioni: 10.50,9.80

AEDES-CAD viene lanciato, e ovviamente presenta un 'foglio' bianco.

Inseriamo il DXF architettonico dell'edificio scegliendo il comando 'Importa DXF' dal menu File.

Il file da importare è: C:\PCM2000\ES-APPRENDI\PROVACAD.DXF

Alla richiesta delle coordinate dei vertici che individuano il rettangolo di importazione, digitare:

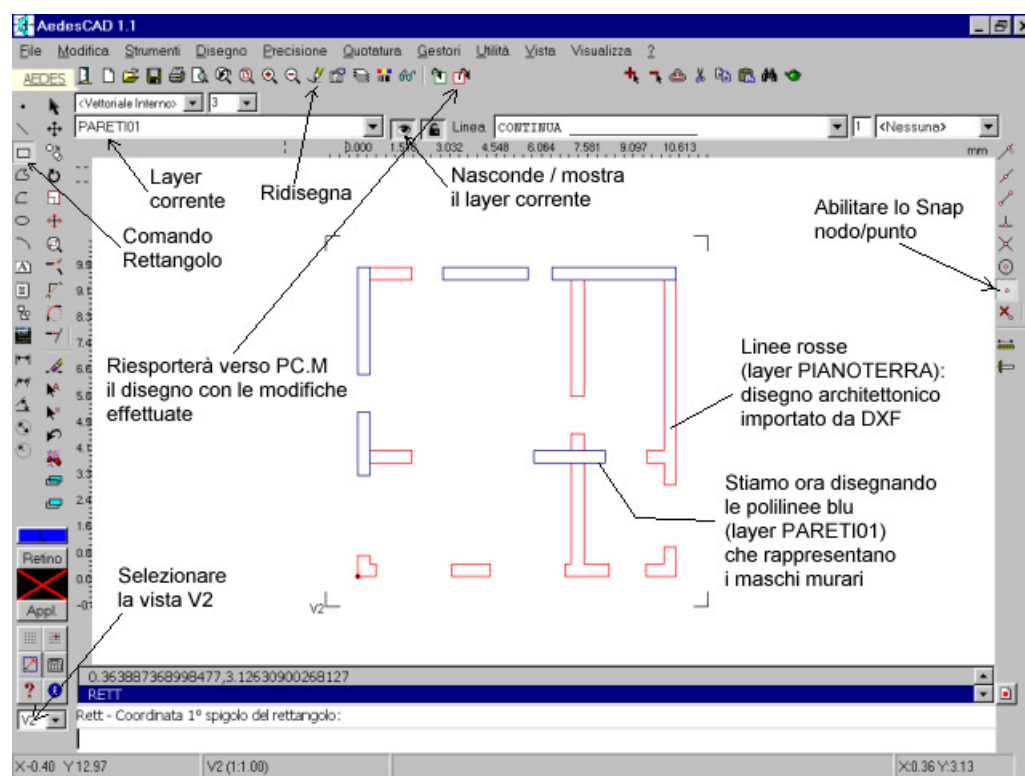
0,0

10.50,9.80

Le 'Viste' di AEDES-CAD consentono la gestione di disegni sia finalizzata alla rappresentazione finale per la stampa (per esempio, su un foglio di lavoro A4), sia per le modifiche nelle misure reali. In questo contesto, ci interessa operare sul disegno reale e quindi - a inserimento di DXF avvenuto - selezionare la vista V2 (vedi nota nella fig. 26).

Attraverso il menu Gestori, comando: Modifica Livelli, è possibile agire sulle impostazioni dei layers (=livelli). Poiché questo disegno 'proviene' da PC.M, esso contiene già i layers per i diversi piani dell'edificio (in questo caso: PARETI00, PARETI01, PARETI02, PARETI03), ed inoltre ci sono i layers del file DXF importato (PIANOTERRA, PIANOPRIMO, PIANOSECONDO). Per costruire quindi le polilinee-pareti del piano 1 di calcolo (=piano terra architettonico), renderemo corrente il layer PARETI01, magari lasciando visibile - fra i livelli architettonici - solo PIANOTERRA, al fine di agevolare il disegno dei maschi murari. Data la regolarità di questo esempio, si può usare convenientemente il comando 'Rettangolo' unitamente allo 'Snap nodo/punto'. Disegnando i rettangoli o le polilinee, le eventuali tracce intermedie di costruzione possono essere rimosse con il comando 'Ridisegna' del menu Vista (anche per aggiornare il disegno a seguito di modifiche di impostazioni varie, è spesso opportuno usare il comando Ridisegna).

La situazione operativa è rappresentata in fig. 26.



**Fig. 26.** Importazione di DXF in AEDES-CAD.

Esportando verso PC.M, e quindi importando da AEDES-CAD in PC.M, la struttura corrispondente alla fig. 26 è riportata in fig. 27. Le polilinee sono pareti del piano 1. Mancano ovviamente le altezze (e infatti nel 3D le pareti sono 'piatte', senza elevazione), nonché gli allineamenti: ma ciò è ovvio, in quanto l'input da AEDES-CAD sta sostituendo in modalità grafica la digitazione manuale numerica di dimensioni e coordinate. Completato il disegno in AEDES-CAD, all'interno di PC.M si eseguiranno le operazioni consuete per gli input numerici: definizione delle altezze; ottimizzazione dei dati con creazione degli allineamenti (finestra Pareti, menu Modifica, comando Ottimizza)

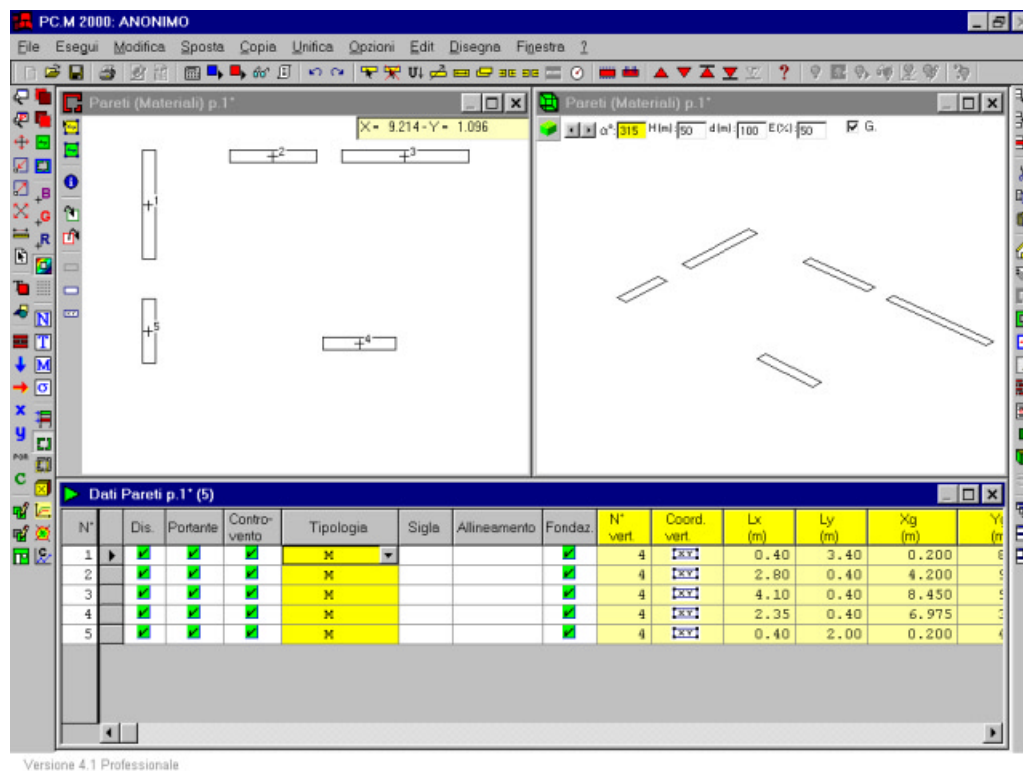


Fig. 27. Reimportazione in PC.M da AEDES-CAD.

A scopo didattico, è stata eseguita un'esportazione verso PC.M prima che il disegno delle polilinee-pareti fosse completato. Nella pratica operativa, l'esportazione verso PC.M sarà eseguita a polilinee-pareti completate. Il completamento delle polilinee-pareti dell'edificio può richiedere più sessioni di lavoro con AEDES-CAD prima di eseguire un'esportazione significativa verso PC.M: in tal caso, sono richiesti salvataggi intermedi nel formato proprio di AEDES-CAD (DWA); la procedura da seguire è descritta in dettaglio al punto F.7.2. (pagg. 384-385).

### F.7.3. MODIFICA IMPOSTAZIONI ESPORTAZIONI SU BMP E DXF

Fino a PC.M 2000 4.0, i nomi dei files predisposti per l'esportazione di bitmap e disegni vettoriali erano proposti attraverso sigle numeriche.


Questa impostazione viene cambiata e, a partire dalla versione 4.1, il nome proposto coincide con il titolo del disegno da esportare. Nel testo alfanumerico del nome del file, caratteri di sottolineatura \_ sostituiscono spazi bianchi.

In alternativa, è anche possibile semplificare i nomi dei files esportati: deselegnando infatti il comando 'Nomi di files BMP e DXF estesi' del menu Immagine delle finestre grafiche, il nome proposto è un numero progressivo, in aumento via via che vengono generati i files: ad esempio, 1.BMP, 2.BMP, ecc.

### F.7.4. NUOVI TIPI DI DISEGNO

PC.M 2000, versione 4.1, propone nuovi tipi di disegno, di varia utilità. Due nuovi tipi per le pareti distinguono, con l'opportuna colorazione, la resistenza a taglio e la snellezza; altri due nuovi tipi risultano utili per la consultazione delle verifiche a taglio: si tratta delle rigidezze e degli spostamenti. I nuovi tipi di disegno sono descritti ai paragrafi seguenti.

#### F.7.4.1. DATI PARETI: RESISTENZA A TAGLIO

Questo nuovo tipo di disegno, direttamente selezionabile dalla finestra di dialogo 'Tipo di disegno' (attivabile col comando: ) , distingue le pareti in base alla resistenza a taglio.

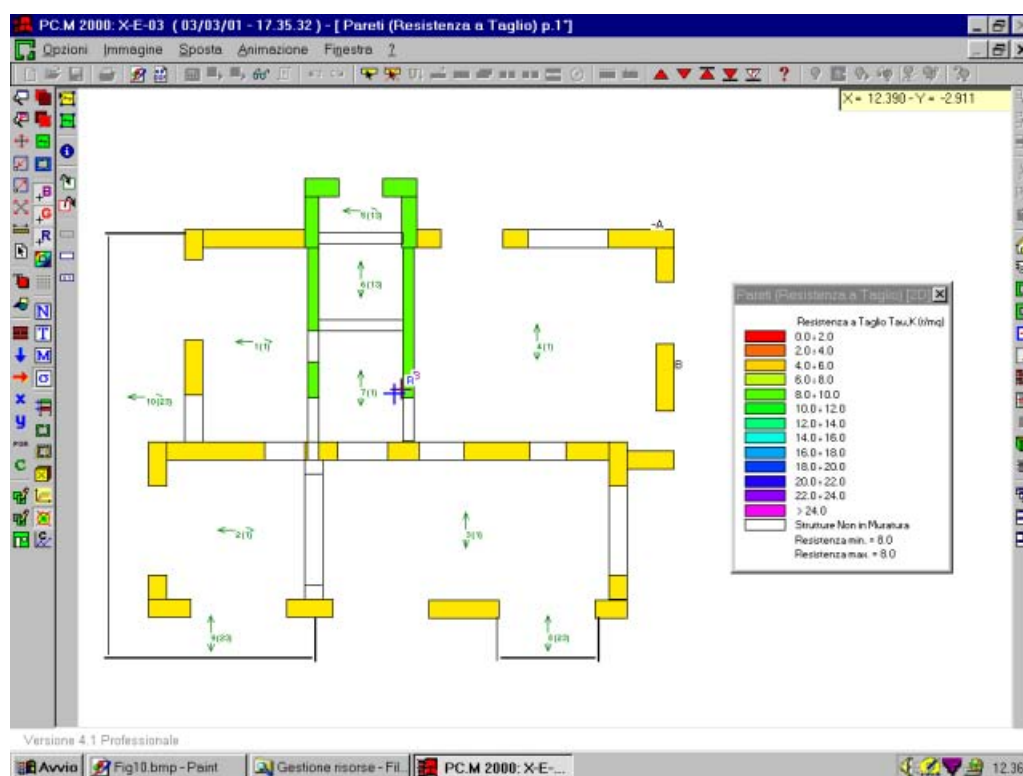



Fig. 28. Dati Pareti: Resistenza a Taglio.

In alternativa all'altro tipo di disegno che rappresenta le pareti in base al numero identificativo del materiale (e che viene proposto per default richiamando la rappresentazione grafica dei dati), in questo nuovo disegno la scala a colori è graduata sui valori della tensione tangenziale caratteristica. Si evidenziano quindi in modo opportuno le zone di materiale avente diversa resistenza a taglio. Può capitare ad esempio il caso di materiali aventi numero identificativo diverso, ma uguale resistenza a taglio: in questo tipo di disegno la colorazione è identica.

Viceversa, lasciando invariato il numero identificativo ma cambiando la  $\tau_k$ , si ha una variazione nel colore della parete: questo per esempio accade selezionando il nuovo comando 'Applica Iniezioni Cementizie' o 'Applica Intonaco Armato' del menu Opzioni della finestra Pareti.

#### F.7.4.2. DATI PARETI: SNELLEZZA (H/L)

Questo nuovo tipo di disegno, direttamente selezionabile dalla finestra di dialogo 'Tipo di disegno' (attivabile col comando: ) , distingue le pareti in base alla loro snellezza, data dal rapporto fra altezza H e 'base' L (cioè la massima dimensione in pianta).

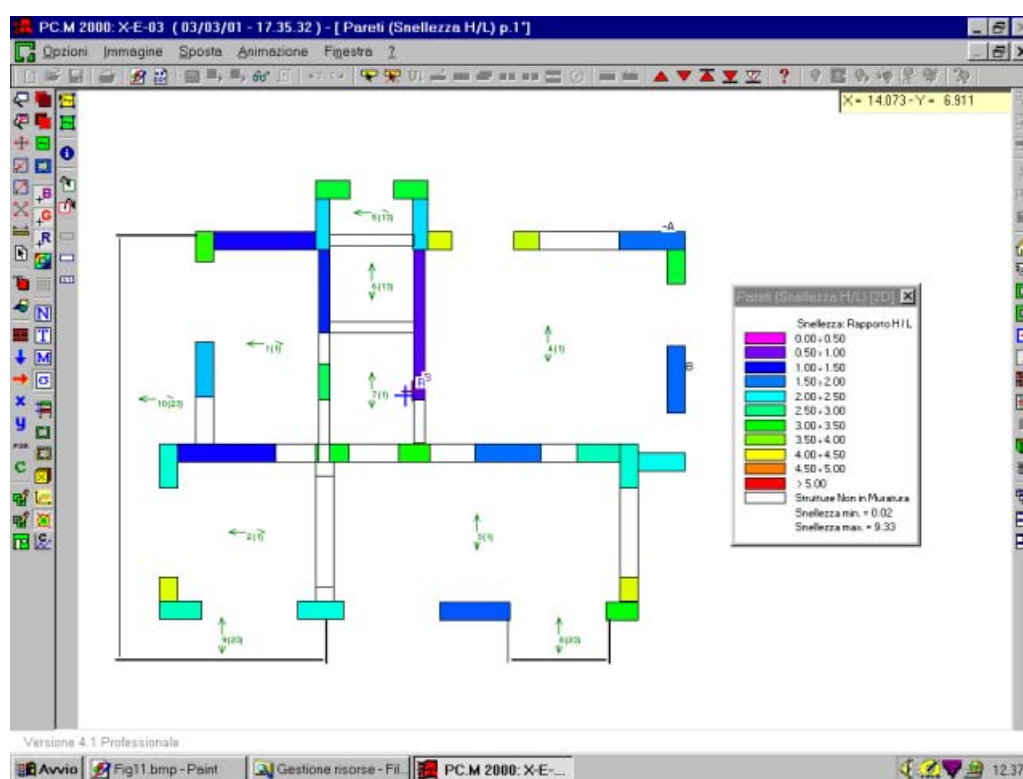


Fig. 29. Dati Pareti: Snellezza.

La conoscenza delle snellezze è interessante sotto l'aspetto della definizione del gruppo di pareti resistenti alle azioni orizzontali. Alcune considerazioni in merito sono le seguenti:







- nel dimensionamento semplificato di edifici nuovi (C.5.2., D.M. 16.1.1996) sono escluse dalla resistenza sismica le pareti con snellezza  $H/L > 3$ ;
- nelle analisi di edifici in muratura armata, non possono essere considerate sismicamente reagenti le pareti caratterizzate da  $H/L > 4$  (C.5.3.4., D.M. 16.1.1996);
- le verifiche a pressoflessione complanare vengono spesso 'limitate' alle sole pareti snelle (frequentemente: alle pareti tali che  $(H/L) > 2$ , vedi Parametri di Calcolo, Parametri Vari (2), Per Azioni Complanari).

### F.7.4.3. RISULTATI ANALISI A TAGLIO: RIGIDEZZE, SPOSTAMENTI, FORZE DA VENTO

Le modalità di visualizzazione dei risultati delle analisi a taglio sono varie. Queste analisi sono le seguenti:

- Taglio Statico (sotto l'azione del Vento) secondo D.M. 20.11.1987;
- Taglio Sismico: per piani rigidi: Circolare 21745 del 30.7.1981: Metodo Por o Metodo PorFlex;
- Taglio Sismico: per piani rigidi: D.M. 20.11.1987;
- Taglio Sismico: per piani deformabili: Circolare 21745 del 30.7.1981;
- Taglio Sismico: per piani deformabili: D.M. 20.11.1987.

Per ognuno di questi disegni, è possibile visualizzare l'elaborazione a taglio nel seguente aspetto (Parametri di Disegno, scheda Analisi, Per Verifiche a Taglio) [a lato è riportato il corrispondente comando grafico della nuova barra degli strumenti 'Grafica: Elaborazioni']:

- Forze e Coefficienti (schema dell'edificio) (  );
- Pareti (per Por e PorFlex: Stato Limite) (  ): per questo stesso tipo di disegno, se è attivo il nuovo check "rappresentazione delle rigidezze" della scheda Analisi, il disegno visualizzato si trasforma appunto nel disegno delle rigidezze: un esempio è riportato in fig. 30;
- Spostamento delle pareti (  ): questo nuovo tipo di disegno, di cui un esempio è riportato in fig. 31, presenta le pareti colorate in base al valore del loro spostamento assoluto. Lo stesso spostamento può generare il disegno della deformata, qualora il corrispondente check della scheda Analisi sia selezionato (il disegno della deformata era già disponibile nelle versioni precedenti; la rappresentazione a colori degli spostamenti è invece un nuovo disegno della versione 4.1);
- Lesioni Sismiche nelle Pareti (  );
- Diagramma Forza-Spostamento (solo per metodi Por e PorFlex) (  );
- Dominio di Resistenza (  ).



La fig. 30 mostra un disegno di rigidezze relative alla verifica a taglio Por, allo Stato Limite Elastico (le rigidezze, nei metodi Por e PorFlex, variano nei diversi Stati Limite; la rappresentazione si riferisce allo Stato Limite correntemente selezionato nella scheda Analisi dei Parametri di Disegno).

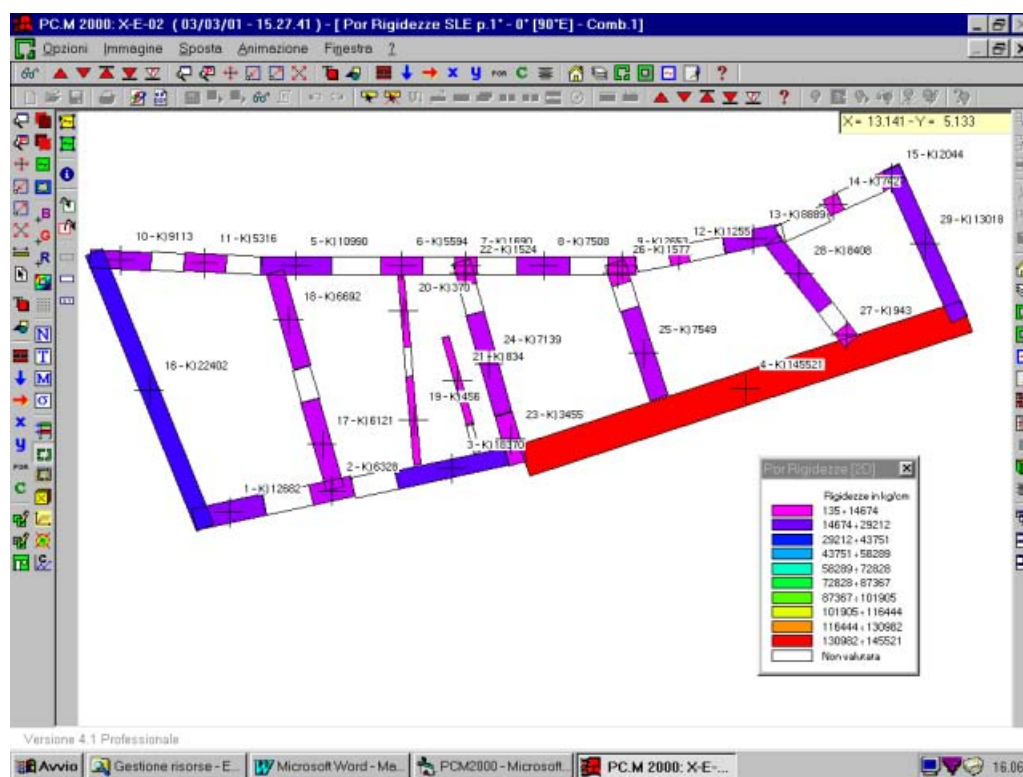



Fig. 30. Risultati analisi a Taglio: Rigidezze.



Il disegno di 'Forze e Coefficienti' può convenientemente essere sfruttato anche nel caso delle azioni dovute al Vento: in fig. 32 è riportato un esempio. Sono le forze del vento (parziali e taglienti totali) agenti in ogni piano, in direzione X; un disegno analogo si ottiene per la direzione Y, cambiando direzione. Per cambiare direzione, usare i pulsanti grafici , oppure selezionare le corrispondenti opzioni nella scheda Analisi dei Parametri di Disegno.

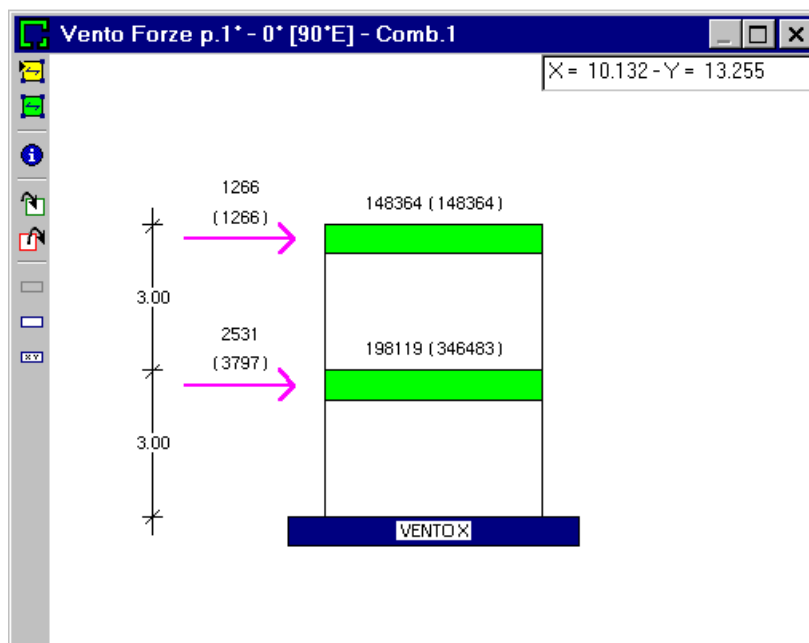




Fig. 32. Forze del Vento.

Per ottenere il disegno di fig. 32 (purché ovviamente l'edificio sia stato calcolato a vento secondo il D.M. 20.11.1987), scegliere il Tipo di Disegno "Verifica a Taglio: Forze Orizzontali" (Analisi Statica), e quindi la modalità Forze e Coefficienti (usando, come già consigliato, il pulsante grafico: ).

#### F.7.5. BARRE DEGLI STRUMENTI DELLE FINESTRE GRAFICHE 2D E 3D

Come illustrato con evidenza dalla fig. 32, la barra degli strumenti della finestra **grafica 2D** è ora posta in verticale, a sinistra della finestra stessa. Ciò consente una migliore visualizzazione nelle diverse risoluzioni video. I comandi coincidono con i corrispondenti comandi della stessa barra nella versione 4.0.

Come mostrato dalla fig. 31, la barra degli strumenti della finestra **grafica 3D** è sostanzialmente invariata rispetto alle versioni precedenti. Per modificare un parametro (ad esempio, l'angolo di visualizzazione della prospettiva: 315, in giallo, in fig. 31), fare clic sulla corrispondente casella di testo, in modo tale da attivarla (viene colorata di giallo, mentre le caselle di testo degli altri parametri sono bianche), e digitare direttamente il nuovo valore oppure utilizzare le freccette di incremento / decremento .

## F.8. ANALISI

### F.8.1. ESTENSIONE DEI CONTROLLI DEL CHECK-UP

Il potenziamento della fase di check-up eseguita prima di iniziare l'elaborazione, consente un maggior controllo della validità dei dati inseriti.

In particolare, sono stati estesi i controlli sulla effettiva presenza degli allineamenti, al piano interessato, per le maglie di solaio. Le segnalazioni mostrate in tal senso aiuteranno verso la correzione di dati inavvertitamente inseriti in modo non corretto.

### F.8.2. NUOVI PULSANTI “R V C” PER I RISULTATI DELLA LEGGE 61/98

La selezione del comando ‘Sismica: Attuazione Legge 61/98’ della finestra di dialogo ‘Rapporto di Elaborazione’ (mostrata generalmente al termine dell'esecuzione dei calcoli), produce la visualizzazione della finestra riportata in fig. 33. Con la versione 4.1, sono stati introdotti tre pulsanti di comando:

**R** mostra direttamente le ‘Condizioni di Regolarità’;

**V** mostra il calcolo del ‘C’ convenzionale: ‘Vulnerabilità’;

**C** mostra il ‘Riepilogo Coefficienti C’ sui coefficienti sismici complessivi dell'edificio.

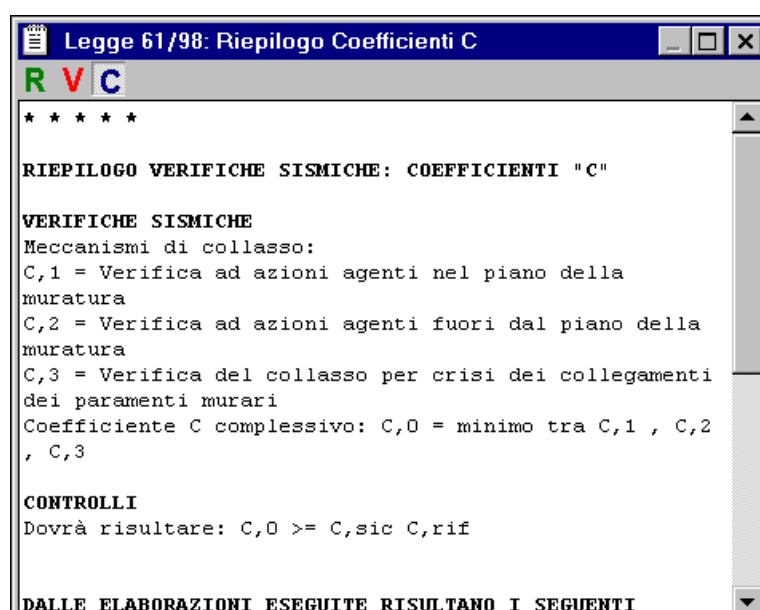


Fig. 33. Sismica: attuazione Legge 61/98.

L'utilizzo dei nuovi pulsanti rende immediata la consultazione dei diversi aspetti applicativi della Legge 61/98; esso comunque corrisponde alla scelta dei comandi del menu Opzioni della finestra di testo visualizzata in fig. 33.

### **F.8.3. ESTENSIONE DELL'INFLUENZA DELLA PRECOMPRESSIONE VERTICALE**

A partire da PC.M 2000, versione 4.1, la precompressione verticale eventualmente inserita quale intervento di consolidamento nelle pareti murarie (campo in input nella tabella Pareti: S,pv, nella zona riservata ai materiali), viene considerata ai fini di tutte le verifiche che considerano i carichi verticali agenti sulle pareti stesse, e non soltanto nella valutazione della resistenza a taglio (che comunque viene, come noto, incrementata per effetto della precompressione).

Ne consegue, ad esempio, una stabilizzazione delle verifiche a pressoflessione ortogonale, dove la 'ricentratura' dello sforzo normale può così essere perseguita anche con questa tecnica di consolidamento (consistente nell'utilizzo di tiranti verticali posti nel piano della parete, che di fatto la 'precomprimono' inserendo una tensione verticale di compressione aggiuntiva).

## F.9. APPENDICE

### F.9.1. ASSOCIAZIONE DEI FILES PCM A “PC.M 2000”

L’associazione dell’applicazione PC.M ai files aventi estensione PCM (cioè agli archivi di PC.M) consente il lancio diretto dell’applicazione facendo doppio clic sul file di un edificio posto in C:\PCM2000\EDIFICI. Le modalità per associare ai files PCM l’applicazione “PC.M” (coincidente con il file eseguibile: PCM2000.EXE posto in C:\PCM2000) in Windows 95 sono le seguenti.

Avvio -> Programmi -> Gestione Risorse

Menu Visualizza -> Opzioni

Scheda: Tipo file

Nuovo tipo...

Nella finestra di dialogo: *Aggiungi nuovo tipo di file*, digitare:

Descrizione del tipo: **Edificio di PC.M**

Estensione associata: **PCM**


Fare clic sul pulsante Nuovo...

Operazione: **open**

Applicazione utilizzata per eseguire l’operazione: **C:\PCM2000\PCM2000.EXE**

(la situazione operativa è rappresentata in fig. 34)

Confermare con OK, Chiudi, Chiudi.

Accanto ai files aventi estensione PCM comparirà l’icona di PC.M 2000:  e la descrizione: “Edificio di PC.M”.

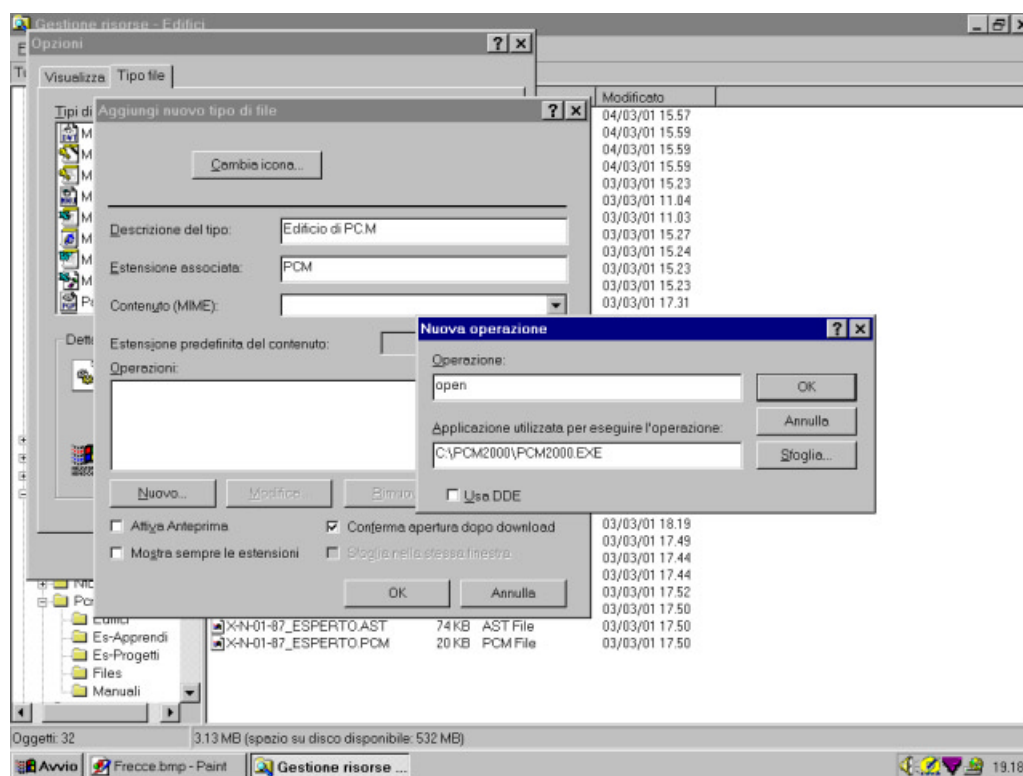


Fig. 34. Associazione dei files PCM all’applicazione PC.M 2000, in Windows 95.

Eseguita l’associazione, il doppio clic su un file di un edificio posto in C:\PCM2000\EDIFICI lancerà immediatamente PC.M con già aperto il file dell’edificio stesso.

## F.9.2. NOVITA' DI PC.M 2000 RISPETTO ALLE VERSIONI PRECEDENTI

L'ordine cronologico a ritroso delle versioni di PC.M è il seguente:

**PC.M 2000** (vers. 4.0: ottobre 2000; vers. 4.1: marzo 2001)

**PC.M 98** (vers. 3.2: ottobre 1999; vers. 3.22: febbraio 2000)

**PC.M 98** (vers. 3.0: ottobre 1998; vers. 3.1: aprile 1999)

**PC.M 97** (vers. 1.0: ottobre 1997; vers. 2.0: maggio 1998).

Nel paragrafo F.9.2.1. sono elencate le novità di PC.M 2000 rispetto alla versione precedente; nel paragrafo F.9.2.2. sono riportate le novità che PC.M 98, vers. 3.2, presentava rispetto alle versioni precedenti. I due paragrafi forniscono quindi utili informazioni sulle operazioni cronologicamente successive di aggiornamento di PC.M, in modo che le caratteristiche prestazionali di PC.M 2000 siano chiare a tutti gli Utenti.

### F.9.2.1. NOVITA' DI PC.M 2000 RISPETTO A PC.M 98, versione 3.2

**1.** Nuovo libro: “Progettazione di Costruzioni in Muratura”, con la teoria completa ed il riferimento a numerosi esempi di progetti concreti svolti da Utenti del software (fig. 35).

Al nuovo libro viene affiancata la revisione completa del [Manuale d'uso](#) e degli [Esempi Applicativi](#), ora forniti in veste editoriale su file PDF per Acrobat Reader, con organizzazione degli esempi in ‘Esempi di Apprendimento’ ed ‘Esempi di Studio e Progettazione’: ben 28 edifici di esempio, alcuni dei quali sviluppati da Utenti di PC.M, per un'approfondita conoscenza delle caratteristiche operative del software. Ampio riferimento ad un aspetto molto importante, che non dovrebbe mai essere trascurato nei programmi di Analisi Strutturale, soprattutto nell'ambito dei progetti di consolidamento: l'apprendimento delle corrette modalità di interpretazione dei risultati.

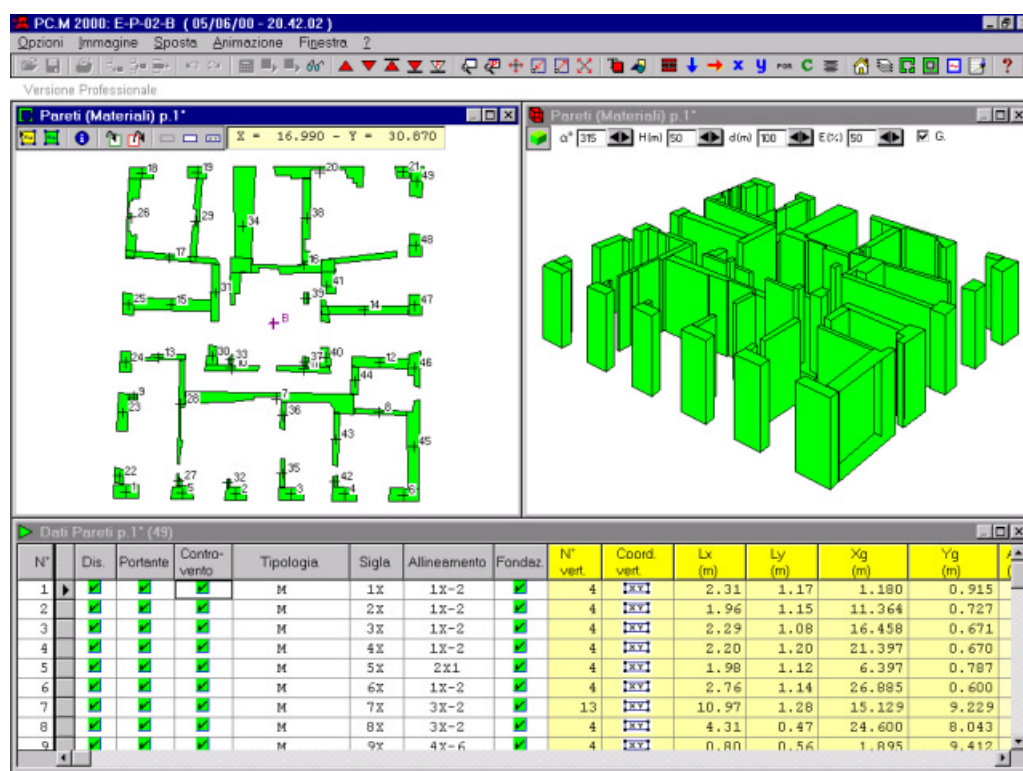


**Fig. 35.** Il nuovo libro “Progettazione di Costruzioni in Muratura”, fornito a corredo del pacchetto AEDES 2000.



## 2. Possibilità di definire pareti poligonali (come polilinee) e non soltanto rettangolari.

Sia via CAD, sia internamente ai Dati Pareti è possibile attribuire ad una parete un numero di vertici  $\geq 4$ , e quindi darle forma di polilinea, più o meno regolare. In tal modo possono essere descritti anche elementi murari a L, a croce o comunque complessi senza necessariamente doverli suddividere in porzioni semplificate.





**Fig. 36.** Schematizzazione di pareti irregolari tramite polilinee non rettangolari (quadrilateri o, più in generale, poligonali).

Ogni parete è rappresentata da una poligonale quadrilatera (4 vertici) o a più vertici. Ad esempio, la parete 7 è una polilinea a 13 vertici. La gestione dati può eseguirsi in modo del tutto analogo a pareti rettangolari; l'opzione di disegno dei 'rettangoli rappresentativi' mostra i rettangoli che dovranno necessariamente essere considerati dai metodi di calcolo e che 'ottimizzano' con criterio oggettivo (e quindi non più a carico dell'utente) la reale configurazione resistente.

E' possibile editare i singoli vertici; nella finestra grafica, si possono misurare distanze anche fra vertici specifici. Questa opportunità vale sia per le pareti, sia per le fondazioni. La gestione di polilinee consente, a livello delle fondazioni, consente la schematizzazione effettiva di una platea, il cui contorno poligonale (non necessariamente rettangolare) può essere descritto con un unico elemento di fondazione.

## 3. Inserimento grafico delle maglie di solaio.

I nuovi pulsanti grafici della finestra grafica 2D (vedi ad esempio la fig. 36)  e  consentono, rispettivamente, l'inizio e la fine dell'inserimento grafico delle maglie di solaio. L'inserimento grafico delle maglie di solaio è un'operazione molto utile, alternativa alla digitazione diretta delle maglie stesse.

E' sufficiente fare clic progressivamente su pareti che definiscono la maglia, percorrendola in senso orario o antiorario. Non è necessario fare clic sul baricentro: è sufficiente in una 'zona' vicina.

Per il riempimento della tabella dei Dati Solai, si possono usare - nella stessa sessione - sia il comando di inserimento grafico, sia l'inserimento tradizionale con la digitazione del testo.



#### 4. Informazioni dirette, in formato testo, sui risultati.

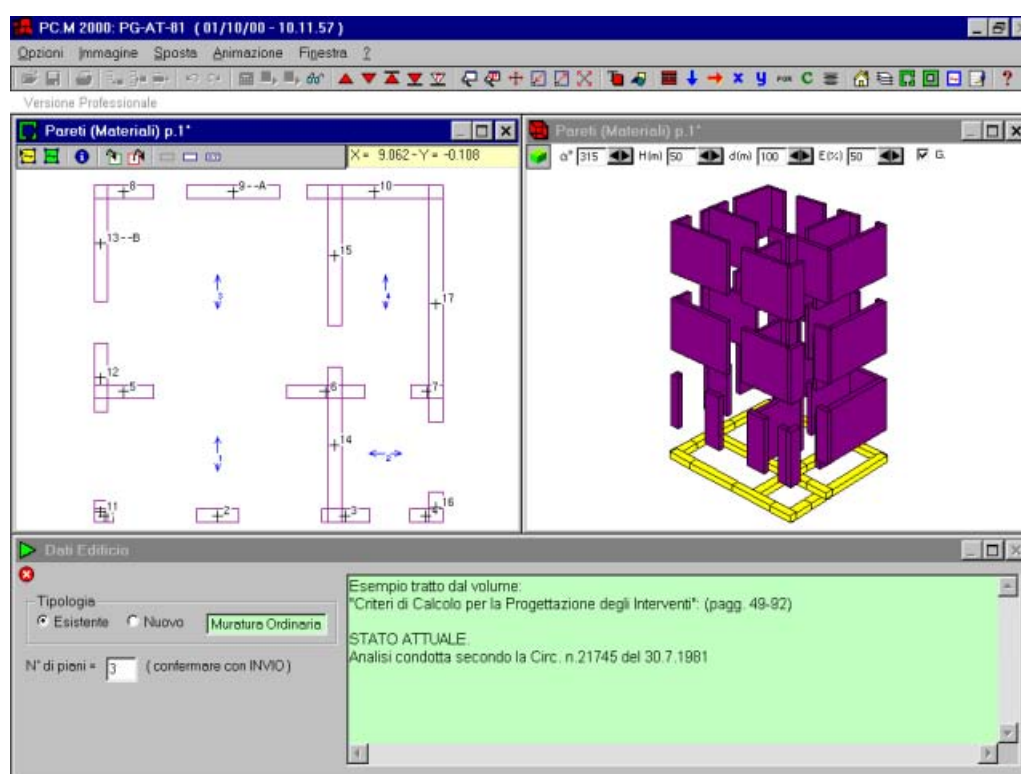
Il pulsante grafico della finestra 2D ⓘ (vedi ad esempio la fig. 36) apre la finestra di Relazione per la visualizzazione delle informazioni relative al tipo di disegno corrente.

La finestra Relazione viene così utilizzata per la **visualizzazione di informazioni dettagliate riguardanti dati e risultati**, operazione estremamente utile nel corso della sessione di lavoro con PC.M.

Anziché produrre la relazione di calcolo estesa (per la quale è necessario creare, come già detto, il file RTF), è così possibile visualizzare direttamente i risultati corrispondenti al tipo di disegno visualizzato. In questo modo, la consultazione dei risultati è diventata immediata e quindi più efficace per individuare, ad esempio, gli elementi in crisi ed i valori dei corrispondenti parametri.

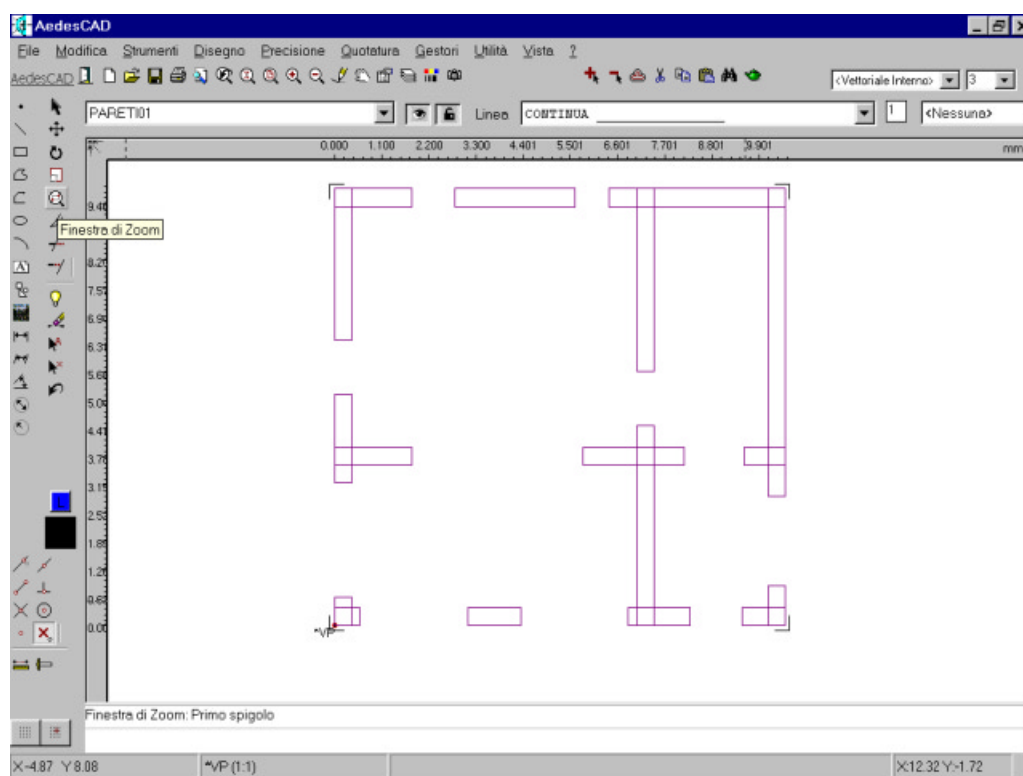
#### 5. Importazione ed esportazione verso AEDES-CAD per la modifica grafica interattiva su CAD.

A partire dalla versione 2000, PC.M colloquia direttamente con un nuovo software di CAD autonomo (e quindi in grado di fornire le prestazioni consuete di un CAD, anche indipendentemente da PC.M) ed interfacciato con PC.M. E' così possibile esportare la grafica da PC.M verso AEDES-CAD per le modifiche grafiche desiderate (condotte sfruttando tutte le potenzialità di un vero e proprio CAD) e quindi reimportare la struttura modificata. Il modulo AEDES-CAD è un programma a sé stante che in ogni momento può essere acquistato dall'Utente (vd. Listino AEDES 2000) e affiancato a PC.M 2000.



**Fig. 37.** Struttura di esempio in PC.M.

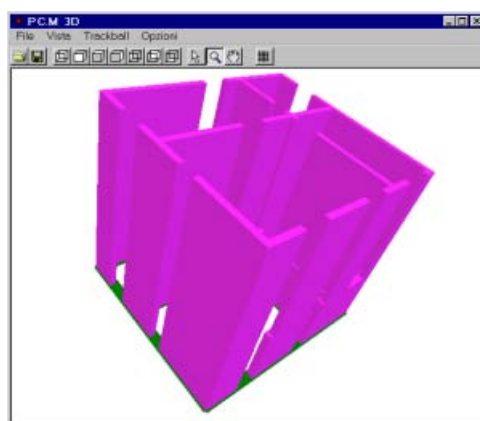
La struttura di fig. 37 può essere esportata su AEDES-CAD ottenendo quanto riportato in fig. 38, al fine di eseguire le modifiche desiderate in ambiente CAD; poi, sarà riesportata verso PC.M. Quest'operazione è ripetibile a piacere nel corso dell'input / modifica dei dati, e costituisce una valida alternativa grafica alla gestione numerica dei dati della tabella Dati Pareti (che comunque può essere contemporanea).



**Fig. 38.** Esportazione verso AEDES-CAD per la modifica grafica della struttura.

## 6. Rendering tridimensionale dell'edificio.

Un'altra importante nuova opportunità grafica riguarda il rendering su 3D per la rappresentazione spaziale della struttura, ottenuto attraverso le potenti librerie grafiche OpenGL. Anche in questo caso è necessario il modulo AEDES-CAD; l'elaborazione della finestra tridimensionale di fig. 37, ad esempio, fornisce il risultato riportato in fig. 39.

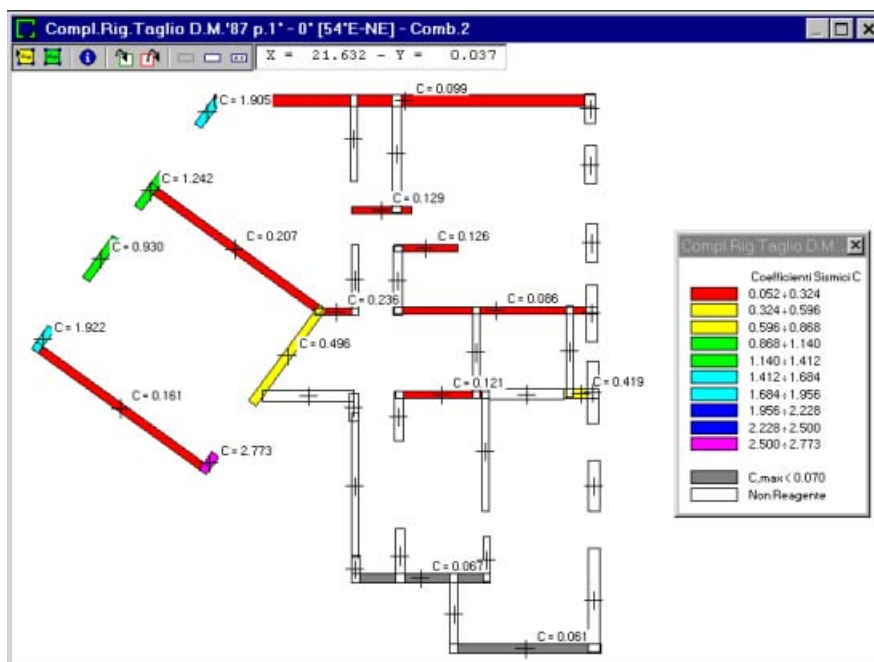


**Fig. 39.** Rendering tridimensionale della struttura tramite OpenGL.

## 7. Rappresentazione grafica del calcolo dei coefficienti sismici C.

Per ogni metodo per il quale è stata eseguita la valutazione del coefficiente 'C', per ogni parete viene riportato in grafica il valore di C corrispondente, in modo da evidenziare più facilmente le pareti che danno origine ai valori più critici.

Ricordiamo che il coefficiente 'C' di una parete non è altro che il coefficiente sismico corrispondente alla massima forza sismica che la parete può sostenere senza collassare. Questo modo di rivedere la resistenza sismica dell'edificio è particolarmente idoneo per l'approfondimento del comportamento sismico delle pareti murarie resistenti, e corrisponde alle più recenti impostazioni dell'analisi antisismica emanate in applicazione della Legge 61/98 per la ricostruzione in Umbria e Marche.



**Fig. 40.** Rappresentazione grafica dei Coefficienti Sismici 'C' per le varie pareti analizzate.

Nella fig. 40 è rappresentato il disegno dell'analisi sismica globale a taglio per piani rigidi secondo il D.M. 20.11.1987, condotta per un edificio nuovo, con evidenziazione dei coefficienti sismici C per le singole pareti. Come si vede dal disegno, per alcune pareti i valori di C possono anche essere molto elevati (il C corrispondente a una seconda categoria: zona sismica S=9, vale 0.070), mentre altre risultano assai più deboli: questo comportamento è analogo a ciò che accade nel Por, dove - allo Stato Limite Ultimo - una o più pareti sono al collasso mentre altre sono magari ancora in fase elastica. E' evidente che le pareti in situazione più sfavorevole saranno oggetto di particolare attenzione per un consolidamento (nel caso di un edificio esistente) o per una corretta (ri)progettazione (nel caso di studio della struttura per un edificio nuovo).

## 8. Disegni delle post-elaborazioni: Forze e Coefficienti, Deformata, Dominio di Resistenza per tutti i metodi globali di analisi a taglio.

E' ora possibile eseguire queste post-elaborazioni non soltanto per i metodi Por e PorFlex, ma anche nel caso di applicazione dei metodi secondo D.M. 20.11.1987 e del calcolo della Muratura Armata.

## 9. Definizione della 'Quota di riferimento' per le forze sismiche.

E' ora consentita la specifica di una 'Quota di riferimento' per il calcolo dei coefficienti di distribuzione delle forze di piano rispetto allo 0.00 assoluto = intradosso del piano di fondazione.

Nelle versioni precedenti, essa era assunta automaticamente pari a 0.00, ossia coincidente con l'intradosso delle fondazioni.

Se si desidera, ad esempio, far iniziare il computo delle azioni sismiche a partire dal piano terra (in presenza di un piano interrato alto 2.70 m.), sarà sufficiente specificare: 2.70 per la Quota di riferimento.

## 10. Input da DXF completato con la possibilità di input di fondazioni e di solai di fondazione.

E' ora possibile inserire via file DXF, per l'input dati, non soltanto le pareti in elevazione ma anche le fondazioni, inclusi i solai di fondazione. In PC.M 2000 è stato effettuato inoltre un miglioramento della corrispondenza fra pareti e fondazioni: infatti, non è più necessario associare a ogni fondazione la parete sovrastante; il programma procederà scaricando il carico delle pareti del piano 1 sulle fondazioni con gli stessi criteri con cui procede per i piani in elevazione (quando il carico di un piano sovrastante viene trasmesso al sottostante);

## 11. Visualizzazione dei valori delle aree e dei perimetri di solaio, e delle risultanti dei carichi.

E' sufficiente scegliere l'opzione 'Carichi dai solai e pesi propri', durante la procedura di stampa della relazione in Analisi Statica.

Per visualizzare direttamente nella nuova finestra di relazione, premere 'Informazioni' (finestra grafica 2D) quando il disegno corrente è: 'Tensioni medie di compressione' (vd. fig. 41).

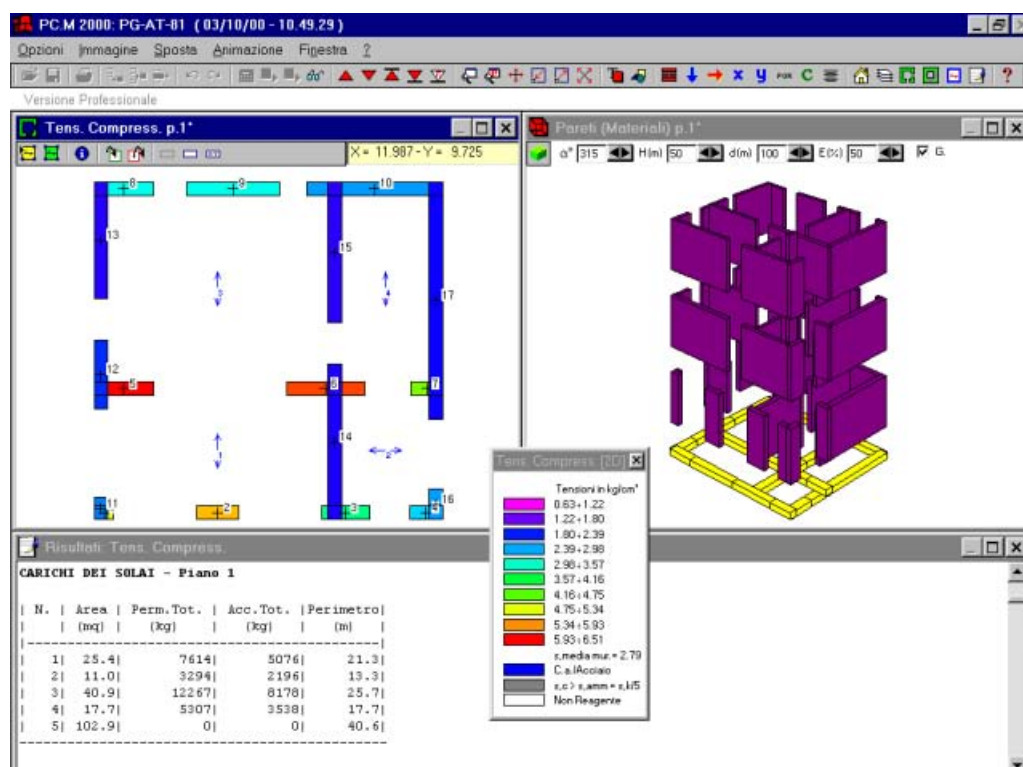


Fig. 41. Visualizzazione di aree, perimetri e risultanti di carico delle maglie di solaio.

**12.** Possibilità di distribuire uniformemente la tensione in fondazione per gruppi di pareti.

Nei Parametri di Calcolo, è possibile selezionare la nuova opzione: “Tensioni uniformi sotto fondazioni con uguale Sigla”. L’attribuzione della stessa Sigla a più elementi di fondazione, e la contemporanea selezione di questo parametro, consentono l’uniformizzazione della tensione sotto tali fondazioni.

**13.** Miglioramento di numerose opzioni e di vari comandi, tra cui:

- procedura di lancio del programma più veloce, grazie al nuovo metodo di protezione;
- barra degli strumenti ampliata e migliorata;
- selezione e modifica delle pareti: proprietà ampliate;
- riposizionamento ai vari piani delle rette rappresentative degli allineamenti, in modo da interpretare ancora più correttamente le rastremazioni di spessore e quindi le aree di solaio;
- in grafica 2D: rappresentazione delle coordinate corrispondenti alla posizione del mouse;
- possibilità di definire elementi portanti verticali a sezione circolare;
- in grafica: tratteggio del piano sovrastante e/o del sottostante per meglio verificare l’incidenza dei muri fra le piante in elevazione;
- nell’output su file DXF: salvataggio della vista corrente, anche nella prospettiva 3D.

**14.** Guida su file PDF per Acrobat Reader.

Adobe © Acrobat Reader è incluso nel CD AEDES 2000. I files PDF per Acrobat rappresentano la migliore rappresentazione della manualistica, consentendo stampe di tipo editoriale (si ottiene veramente un libro!) e consultazioni avanzate (comando ‘Trova’, collegamenti ipertestuali e tramite segnalibri, ecc.)

**F.9.2.2. NOVITA' DI PC.M 98, vers. 3.2, RISPETTO A PC.M 98 3.1, PC.M 97****1. Verifiche a PressoFlessione Ortogonale.****Caratteristiche:**

a) Possibilità di considerare il comportamento a piastra delle pareti sollecitate da azioni orizzontali agenti ortogonalmente rispetto al piano medio della parete. Lo schema a piastra, generato dal considerare la parete vincolata non solo superiormente e inferiormente, ma anche ai lati (nel caso siano presenti gli irrigidimenti trasversali), conduce a una riduzione dell'eccentricità convenzionale del carico agente o equivalentemente a una riduzione del momento in direzione verticale.

b) L'analisi del dominio di resistenza della PressoFlessione Ortogonale dei Setti (in altre parole: il calcolo del coefficiente C limite corrispondente) viene ora condotta utilizzando il metodo per incrementi successivi del coefficiente sismico C, fino ad individuare la prima configurazione non verificata.

E' inoltre possibile analizzare Setti definiti non a partire dal piano 1, ma da quote superiori: ciò rende possibile un'analisi più efficace degli edifici a piani sfalsati.

c) A partire dalla versione 3.21, anche per le verifiche sismiche ad azioni ortogonali condotte sulle pareti di interpiano viene considerato l'effetto della spinta di eventuali volte che insistono sulle pareti stesse.

Nel caso di contemporanea presenza di spinta delle volte e di spinta del terreno, poiché queste sono considerate non equiverse (il terreno agisce dall'esterno verso l'edificio, mentre la volta spinge con azione ribaltante verso l'esterno), viene utilizzata l'azione che determina la massima sollecitazione nelle sezioni di riferimento (mezzeria o anche base e sommità).

Per quanto riguarda i Setti, la spinta del terreno rimane - a favore di sicurezza - esclusa dalle verifiche sia a Ribaltamento, sia a PressoFlessione Ortogonale, in quanto costituente azione stabilizzante.

d) Possibilità di escludere singole pareti dalle verifiche a pressoflessione ortogonale eseguite sulle pareti d'interpiano. Le verifiche vengono sempre svolte su tutte le pareti di controvento, poiché - anche se le verifiche a pressoflessione ortogonale investono la parete ortogonalmente al suo piano medio - sono le pareti di controvento che si considerano reagenti alle sollecitazioni orizzontali.

A partire dalla versione 3.21, se tuttavia si vuole escludere da questo tipo di verifica locale alcune pareti è sufficiente digitare 0 nel campo del 'Denominatore del momento per Azioni Ortogonali' presente nei Dati Pareti ( $qh^2/x$ , con  $x=0$ ).

**Conseguenze sui Risultati:**

a) Dal punto di vista statico, si ottengono Verifiche Statiche a Compressione secondo il D.M. 20.11.1987 più facilmente soddisfatte.

Dal punto di vista sismico, i coefficienti C corrispondenti ai domini di resistenza delle Verifiche a PressoFlessione per Azioni Ortogonali (secondo il D.M. 20.11.1987 o la Circolare n.21745 del 30.7.1981) aumentano, conducendo a risultati più favorevoli.

b) Rispetto al metodo analitico adottato fino alla versione 3.20 inclusa, questa tecnica è più efficace: il metodo analitico, infatti, basandosi sulle sezioni di massime sollecitazioni, può condurre a risultati un po' diversi qualora le sezioni, nelle varie configurazioni analizzate, non si corrispondano perfettamente (ad esempio, cambiando il coefficiente di sicurezza 0.65 in 1.00 o in altri valori, è possibile ottenere risultati non perfettamente concordi, mentre ci si attende che il C limite sia una caratteristica intrinseca della struttura).

c) Migliore gestione dei risultati nel caso di presenza di azioni ortogonali di altra origine rispetto a quelle di natura sismica.

d) Risultati più appropriati per le verifiche delle pareti ad altezza di interpiano, potendo limitare questo tipo di verifica alle sole pareti ritenute significative.

## **2. Verifiche a PressoFlessione Complanare.**

### **Caratteristiche:**

- a) Possibilità di condurre la verifica solo sulle pareti aventi una snellezza superiore a un minimo fissato dall'Utente. Un valore consigliato per il minimo di snellezza che possa generare effetti flessionali è: 2.00 (Tassios).
- b) Miglioramento dell'algoritmo per sezioni parzializzate parzialmente reagenti a trazione. A partire dalla versione 3.21, rimozione del limite di 0.5 per il rapporto tra eccentricità e base della sezione verificata (base = dimensione nella direzione complanare).  
Questo limite viene sostituito dal valore corrispondente al tipo di verifica effettuata (sezione parzialmente o non resistente a trazione).

### **Conseguenze sui Risultati:**

- a) Dal punto di vista statico, si ottengono Verifiche Statiche a PressoFlessione secondo il D.M. 20.11.1987 più facilmente soddisfatte, perché estese a un numero limitato di pareti.  
Dal punto di vista sismico, i coefficienti C corrispondenti ai domini di resistenza delle Verifiche a PressoFlessione per Azioni Complanari (secondo il D.M. 20.11.1987 o la Circolare n.21745 del 30.7.1981, per entrambi nei casi di piani rigidi o deformabili) aumentano, conducendo a risultati più favorevoli e aiutando così a superare l'ostacolo dell'intrinseca difficoltà di soddisfazione di questa verifica, peraltro prevista esplicitamente dall'attuazione della Legge 61/98.
- b) Migliore gestione dei risultati.

## **3. Assemblaggio delle Rigidezze.**

### **Caratteristiche:**

Miglioramento dell'algoritmo di assemblaggio delle rigidezze, ora applicato più efficacemente ai diversi casi possibili di configurazioni geometriche e statiche.

### **Conseguenze sui Risultati:**

Ampliamento della stabilità numerica delle Verifiche ai casi più complessi di edifici.

## **4. Vulnerabilità e 'C' convenzionale.**

### **Caratteristiche:**

- a) Perfezionamento del calcolo del C convenzionale per edifici irregolari in elevazione.
- b) Inserimento nella Tabella Materiali di default di tutte le tipologie murarie previste nell'Allegato A alla Legge 61/98, ivi espressamente indicate ai fini del calcolo della vulnerabilità (valutazione del coefficiente C convenzionale).

### **Conseguenze sui Risultati:**

- a) Il risultato di C convenzionale viene reso oggettivo per tutti gli edifici, anche per quelli caratterizzati da irregolarità in elevazione. Il criterio di 'media' adottato per i casi irregolari permette l'uso della formula semplificata della Normativa - e quindi la compilazione di schede con tutti i parametri richiesti - conducendo a un risultato coincidente con la formulazione teoricamente esatta per il calcolo di C conv.
- b) I valori di C<sub>conv</sub> possono essere completamente coerenti con le indicazioni dell'Allegato A alla Legge 61/98. Ciò era possibile anche con PC.M 98, versione 3.1, ma l'Utente doveva provvedere ad inserire nuove murature aventi le tipologie necessarie a questo calcolo, ora presenti di default negli archivi di PC.M.



## 5. Muratura Armata.

### Caratteristiche:

a) Attribuzione delle condizioni di carico coerenti con il metodo alle tensioni ammissibili, alle due combinazioni previste per la Verifica Sismica dell'edificio in muratura armata. In versioni precedenti di PC.M 98 si faceva riferimento al paragrafo B.8.2. del D.M. 16.1.1996 esplicitamente presente in Normativa per la definizione delle combinazioni di carico sismiche da applicare all'analisi degli edifici.

Poiché tale paragrafo si riferisce ai metodi di verifica agli Stati Limite, ed essendo invece la Muratura Armata calcolata con il metodo alle tensioni ammissibili ('beta'=1.5 o 1.4, anziché 4, e riferimento - per le verifiche dei materiali - alle tensioni ammissibili della muratura e dell'acciaio), a partire dalla versione 3.2 PC.M 98 verifica le pareti armate combinando le forze sismiche, ottenute dalla ripartizione sulle pareti stesse, con i carichi verticali competenti al solo permanente oppure alla combinazione di (permanente + accidentale), senza ulteriori amplificazioni.

Le forze sismiche sono calcolate senza utilizzare i coefficienti di combinazione  $\psi$  per Stati Limite, ossia adottando carichi accidentali non ridotti secondo  $\psi$ , a cui viene applicato ovviamente il coefficiente di riduzione sismica "s".

b) A partire dalla versione 3.21, viene operata la distinzione delle verifiche sismiche degli edifici in muratura armata fra "Verifiche a PressoFlessione" e "Verifiche a Taglio". Le verifiche a PressoFlessione consentono il calcolo delle tensioni normali massime nella muratura e nelle barre di acciaio per effetto combinato dello sforzo normale e del momento sismico; le verifiche a Taglio consentono il calcolo della tensione tangenziale, valutata sulla sezione trasversale (con possibilità di considerare o meno la parzializzazione dovuta alla pressoflessione che agisce nella sezione di riferimento per il calcolo a taglio, secondo le specifiche dei 'Parametri di Calcolo').

c) A partire dalla versione 3.21, viene soppressa la possibilità di calcolare pannelli armati isolatamente, inseriti in un contesto di muratura ordinaria (ex Verifica Locale per edifici in Muratura Armata). In casi di tale tipo, si consiglia di procedere inserendo l'informazione di miglioramento del comportamento strutturale sotto forma di aumento della duttilità e della resistenza a taglio. Eventuali verifiche a pressoflessione e a taglio con i criteri del cemento armato non sono disponibili in PC.M 98, ma possono essere eseguite a parte, rilevando i valori delle sollecitazioni agenti (Sforzo Normale, Taglio, Momento) dall'analisi sismica globale eseguita secondo il D.M. 20.11.1987 o la Circ.21745 del 30.7.1981.

## 6. Grafica: Superfici nascoste.

### Caratteristiche:

Possibilità di attivare la visualizzazione in 3D con Superfici Nascoste.

E' previsto l'uso di un algoritmo di semplice elaborazione, efficace nella maggior parte dei casi, tale da non rallentare l'esecuzione del programma.

Per elaborazioni più complesse è ovviamente sempre possibile esportare la vista in prospettiva dell'edificio su DXF per CAD, utilizzando successivamente i comandi specializzati dei programmi di CAD per rimozione di superfici nascoste, ombreggiature, ecc.



## **7. Ampliamenti e miglioramenti vari.**

### **Caratteristiche:**

In PC.M 98, versione 3.2, sono stati implementati ampliamenti e miglioramenti vari, fra i quali evidenziamo i seguenti:

1. identificazione del tipo di edificio corrente;
2. possibilità di non visualizzare i messaggi intermedi durante la fase di elaborazione;
3. possibilità di ripetere automaticamente l'ultima stampa effettuata, per aggiornare rapidamente la relazione di calcolo;
4. possibilità di visualizzare automaticamente la relazione di calcolo al termine dell'operazione di stampa;
5. ampliamento dei messaggi di errore nel controllo dati prima dell'analisi;
6. impostazione dei colori associati alle verifiche nel Rapporto di Elaborazione;
7. ottimizzazione automatica dell'origine degli assi XY;
8. possibilità di spostare o copiare gruppi (una o più) pareti selezionate nel piano corrente;
9. reimpostazione della tensione ammissibile in fondazione per edifici nuovi;
10. visualizzazione dei carichi in fondazione;
11. visualizzazione dell'elenco degli allineamenti correntemente utilizzati nell'intero edificio;
12. possibilità di usare il filtro 'pareti assemblate' per il disegno delle pareti;
13. possibilità di deselezionare singole pareti;
14. stampa di area, perimetro e carichi totali per ogni maglia di solaio;
15. possibilità di visualizzare le forze agenti sugli elementi in cemento armato o acciaio per qualunque caso di ripartizione delle forze orizzontali;
16. inserimento maglie di solaio (finestra Dati Solai) direttamente per allineamenti o per pareti.

**PC.M 2000** (c) 1997-2001 AEDES Software per Ingegneria Civile s.a.s.

## **PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI IN MMURATURA**

### **G. AGGIORNAMENTO A PC.M 2000, versione 4.2 423**

- G.1. GENERALITA' 423
- G.2. GENERAZIONE AUTOMATICA DELLE IMMAGINI 425
- G.3. FINESTRA GALLERIA 426
- G.4. ESPORTAZIONE E IMPORTAZIONE DI PARETI E FONDAZIONI  
TRA PROGETTI DIVERSI. UTILIZZO DI "PC.M VIEWER".  
CONFRONTO FRA EDIFICI DISTINTI 428
- G.5. MURATURE NUOVE IN EDIFICI ESISTENTI 429
- G.6. RIEPILOGO DEI RISULTATI SISMICI PER AZIONI COMPLANARI 430
- G.7. OUTPUT DELLA LEGENDA SU FILE DXF 431
- G.8. CARATTERISTICHE DELLE DIVERSE VERSIONI DI PC.M 433

## G. AGGIORNAMENTO A PC.M 2000, versione 4.2

### G.1. GENERALITA'

Questo volume è dedicato alle novità di PC.M 2000, versione 4.2. Il suo contenuto deve essere considerato integrativo rispetto alla documentazione:

- A. LA TEORIA (pubblicata su volume ALINEA Editrice e allegata al pacchetto AEDES 2000);
- B. MANUALE D'USO - C. ESEMPI APPLICATIVI (include: D. APPENDICE) (forniti su supporto informatico);
- E. SISTEMA ESPERTO (anch'esso fornito su supporto informatico);
- F. AGGIORNAMENTO (a versioni precedenti).

La documentazione completa di PC.M 2000, versione 4.2, si compone quindi dei seguenti manuali:

LA TEORIA (libro)

MANUALE D'USO (file Manuale2.PDF per Adobe Acrobat ® Reader)

ESEMPI APPLICATIVI (file Manuale3.PDF per Adobe Acrobat ® Reader)

SISTEMA ESPERTO (file Manuale4.PDF per Adobe Acrobat ® Reader)

AGGIORNAMENTO alla Versione 4.1 (file Manuale5.PDF per Adobe Acrobat ® Reader).

AGGIORNAMENTO alla Versione 4.2 (file Manuale6.PDF per Adobe Acrobat ® Reader).

I documenti su supporto informatico sono anche richiamabili direttamente dalla Guida in linea di PC.M.

Fra le funzionalità descritte in questo volume di 'Aggiornamento', alcune sono totalmente nuove e quindi sono assenti nel resto della documentazione; per altre, sono state apportate modifiche: in ogni caso, le nuove caratteristiche sono tutte descritte in dettaglio.

Grazie alle nuove funzioni offerte da PC.M 2000, versione 4.2, è davvero più facile scoprire le tante potenzialità del software. Le **principali novità di PC.M 2000, versione 4.2**, sono le seguenti:

- La **Generazione Automatica delle Immagini** consente la creazione automatica dei disegni più significativi del Progetto. Dati e Risultati delle analisi Statica e Sismica sono ora immediatamente visualizzabili sui grafici prodotti dal software, senza la necessità di dover rintracciare i vari disegni uno per volta. Durante la Generazione Automatica, la sequenza animata dei vari disegni nella finestra Grafica provvede anche alla loro archiviazione su files bitmap, per la successiva visualizzazione nella nuova Finestra Galleria.
- La **Finestra Galleria** (fig. 1) consente la comoda visualizzazione di tutte le immagini associate al Progetto, sia di quelle salvate automaticamente dalla nuova Generazione Automatica, sia delle immagini elaborate e salvate su file dall'Utente. Tutti i disegni sono consultabili facilmente anche attraverso la **Sequenza Automatica** che anima la finestra, mostrandoli uno dopo l'altro secondo l'intervallo di tempo desiderato. *Con un solo comando si visualizzano gli aspetti più importanti del Progetto!*
- Nuove funzionalità per PC.M consentono **lo scambio di elementi strutturali fra edifici distinti**. Con le operazioni di 'Esportazione all'esterno' ed 'Importazione dall'esterno' è immediato inserire in un edificio "B", pareti e fondazioni esportate da un edificio "A". Ed è possibile eseguire l'operazione visualizzando contemporaneamente i due edifici! Infatti: con PC.M Viewer, si apre l'edificio "A" e si esportano gli elementi strutturali; con PC.M 2000 si tiene aperto l'edificio "B", e si importano tali elementi (fig. 2).
- L'utilizzo di PC.M Viewer insieme a PC.M 2000 consente la **visualizzazione contemporanea di due progetti**: può trattarsi ad esempio dello Stato Attuale e dello Stato di Progetto dello stesso Edificio. E' molto comodo poterli consultare assieme, per poter effettuare tutti i confronti desiderati (fig. 2).

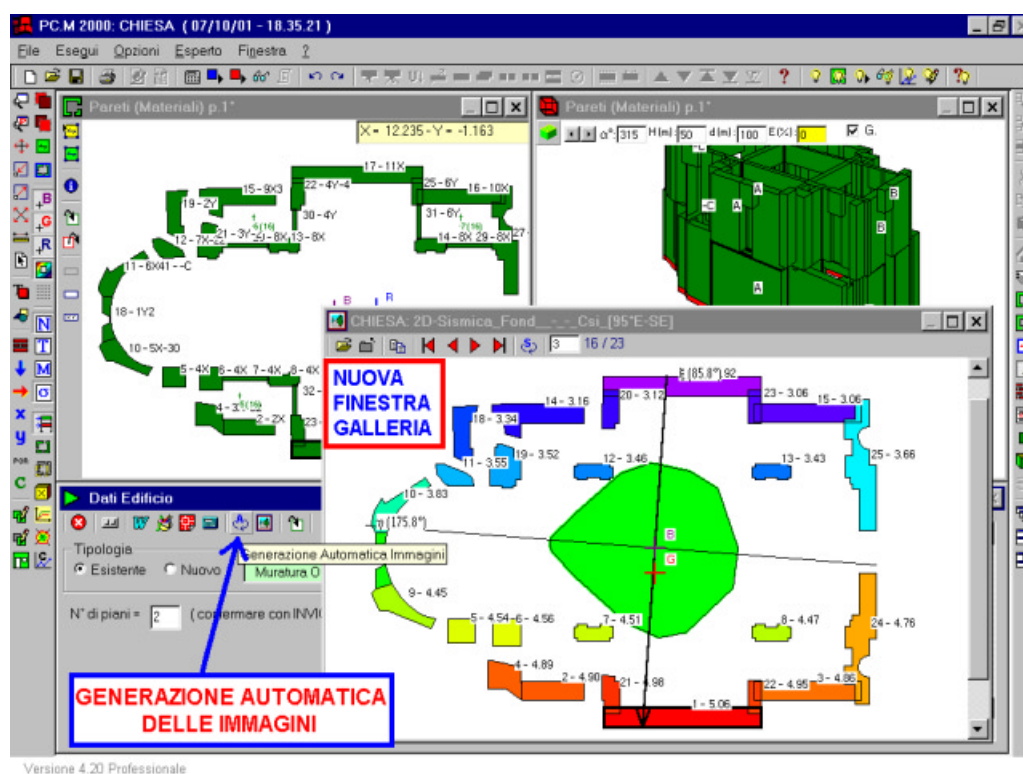


Fig. 1. La nuova Finestra Galleria.

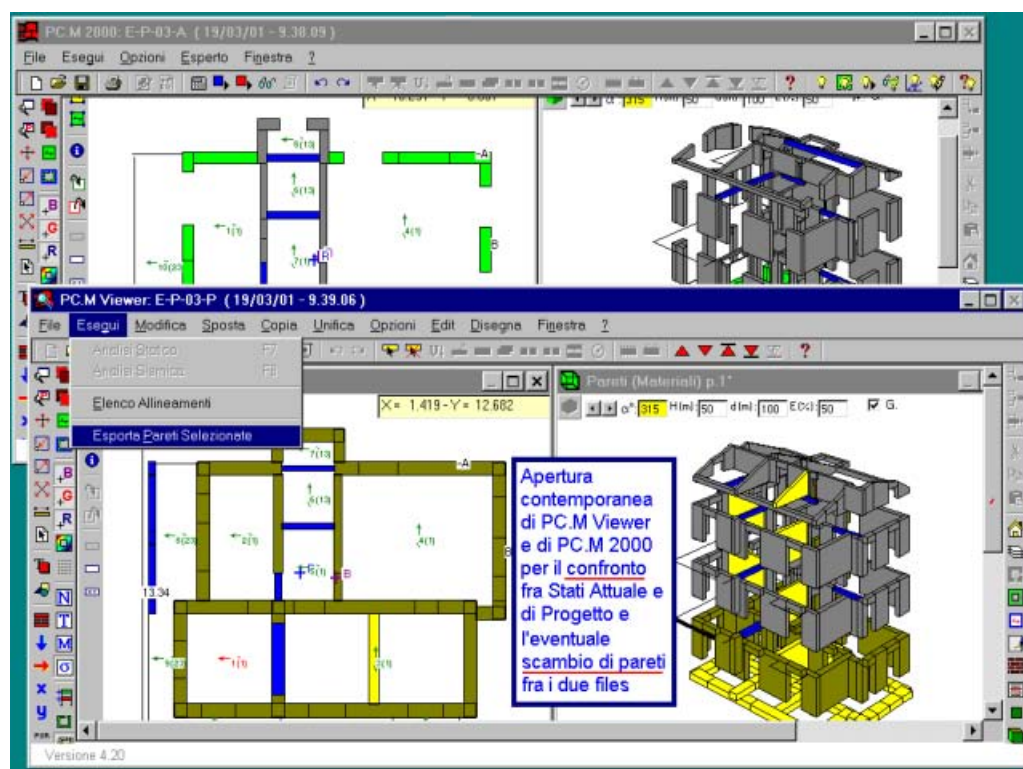


Fig. 2. Apertura contemporanea di edifici per il confronto. Possibilità di scambio di pareti e fondazioni attraverso Esportazione / Importazione tra files distinti.


- Un apposito comando di Informazione evidenzia ora **tutti i risultati dei Coefficienti 'C' alle Azioni Complanari**: per ogni piano, per ogni direzione di analisi e per tutte le Combinazioni di Carico. Viene quindi fornita un'informazione più completa che aiuta a comprendere il comportamento dell'edificio. E, per i disegni in output, è ora prevista la possibilità di includere la **Legenda nel file DXF** per CAD: un'utilità grafica importante per gli elaborati di progetto.
- La nuova **Versione Micro**, disponibile per **PC.M** insieme ad **AC.M** e **PC.S** in un'unica soluzione, nel caso di ulteriori licenze d'uso estende le capacità delle installazioni del software consentendo lo svolgimento di un'ampia classe di progetti con un ottimo rapporto qualità / prezzo.

## G.2. GENERAZIONE AUTOMATICA DELLE IMMAGINI


La **Generazione Automatica delle Immagini** consente la creazione automatica dei disegni più significativi del Progetto. Dati e Risultati delle analisi Statica e Sismica sono ora immediatamente visualizzabili sui grafici prodotti dal software, senza la necessità di dover rintracciare i vari disegni uno per volta. Durante la Generazione Automatica, la sequenza animata dei vari disegni nella finestra Grafica provvede anche alla loro archiviazione su files bitmap, per la successiva visualizzazione nella nuova Finestra Galleria.

I disegni generati automaticamente sono i seguenti:

- **Viste 2D e 3D correnti dei Dati**;
- **Risultati Analisi Statica**: Fondazioni, Tensioni di compressione ai piani in elevazione;
- **Risultati Analisi Sismica**: Fondazioni, Verifiche a Taglio per i piani in elevazione (Piante e schemi di Forze e Coefficienti). I risultati sismici vengono generati per entrambe le direzioni di riferimento per la verifica (la X e la Y) e per entrambe le Combinazioni di Carico considerate (massimo e minimo carico verticale). I disegni degli schemi delle Forze e Coefficienti, comprendenti il riassunto complessivo sull'intero edificio delle forze sismiche, delle forze reattive e dei coefficienti di sicurezza, vengono rieseguiti più volte se ai vari piani in elevazione sono stati scelti diversi metodi di verifica a taglio.

Ovviamente, tutti gli altri disegni che possono essere elaborati da PC.M, relativi sia alle varie rappresentazioni dei Dati sia ad altri metodi di analisi (per esempio, le PressoFlessioni ortogonale e Complanare, oppure le Verifiche Statiche del D.M. 20.11.1987), possono essere normalmente generati dai comandi consueti (attraverso la scelta del Tipo di Disegno ) , e salvati su files: l'operazione di salvataggio su bitmap può essere condotta anche al fine di arricchire il gruppo di immagini registrate (diapositive) disponibili per una rapida e agevole consultazione nella nuova finestra Galleria.


La generazione automatica dei disegni è comandata dalla finestra Edificio, dove nella barra degli Strumenti compare il nuovo pulsante grafico:

 **Generazione Automatica Immagini** (comando eseguibile anche dal menu Opzioni della finestra Edificio stessa)

L'esecuzione del comando informa preventivamente sullo spazio in bytes occupato dai files bitmap che saranno prodotti dalla generazione automatica. Il messaggio informativo precede la generazione delle immagini relative ai Dati 2D, ai Risultati Statici, ai Risultati Sismici, ai Dati 3D, permettendo, prima di ognuna di queste quattro fasi, l'interruzione della generazione automatica qualora non si ritenga idonea l'occupazione di spazio dei files. Ovviamente, la generazione dei disegni Statici e Sismici sarà possibile solo se le corrispondenti analisi sono state eseguite.

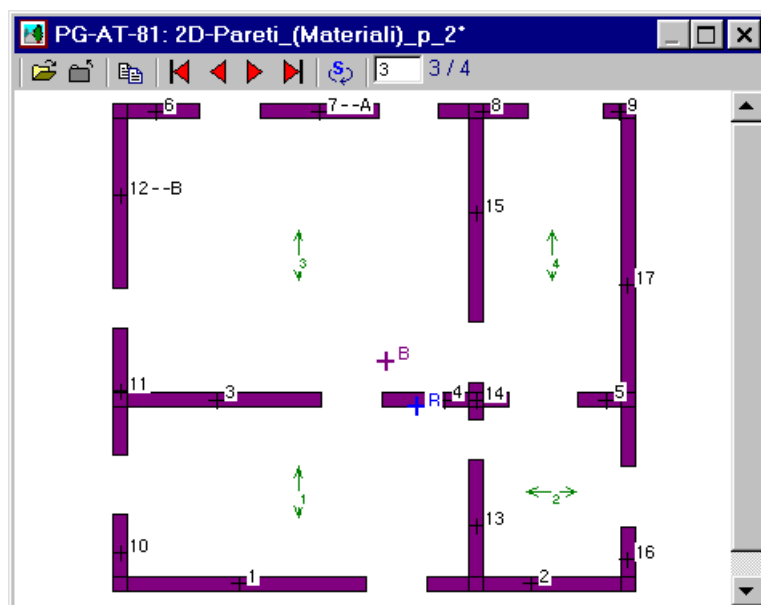
**Suggerimento.** Le immagini generate automaticamente vengono mostrate in sequenza nelle finestre grafiche, ed essendo salvate su bitmap avranno le stesse dimensioni (fisse) dei disegni visualizzati. Quando tali bitmap saranno consultate (ad esempio, attraverso la finestra Galleria descritta al paragrafo seguente), esse non saranno più ridimensionabili e quindi è opportuno eventualmente dimensionare come desiderato le finestre grafiche 2D e/o 3D prima di generare le immagini su bitmap (osservazione peraltro valida anche per il semplice salvataggio manuale su bitmap della grafica corrente, attraverso i comandi consueti delle finestre grafiche di PC.M).

### G.3. FINESTRA GALLERIA

La **finestra Galleria** (fig. 1) viene aperta dal nuovo pulsante grafico  della barra degli strumenti della finestra Edificio, o equivalentemente dall'apposito comando del menu Opzioni della finestra Edificio.

La finestra Galleria consente la comoda visualizzazione di tutte le immagini associate al Progetto, sia di quelle salvate automaticamente dalla nuova Generazione Automatica, sia delle immagini elaborate e salvate su file dall'Utente. In pratica, vengono rilevati tutti i files bitmap (ad estensione *.bmp*) presenti nella cartella C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificio

Le immagini possono essere scorse a piacere, attraverso gli opportuni tasti di comando descritti nel seguito, oppure automaticamente, tramite il comando di **Sequenza Automatica** che anima la finestra, mostrando i disegni uno dopo l'altro secondo l'intervallo di tempo desiderato. Con un solo comando è così possibile visualizzare tutte le rappresentazioni grafiche fino a quel momento salvate per il Progetto corrente.




**Fig. 3.** Finestra Galleria.

La finestra Galleria ha in realtà una funzione più ampia rispetto alla semplice visualizzazione delle immagini associate al progetto corrente: **in essa infatti possono essere aperte le immagini** (precedentemente elaborate) **di qualunque progetto, anche distinto dal progetto corrente**. Questa opportunità permette ad esempio il confronto diretto fra due edifici distinti, quello attualmente in linea come progetto corrente di PC.M, e quello le cui immagini sono mostrate nella finestra Galleria. Tale funzionalità assume un ruolo importante ad esempio nel confronto fra lo Stato Attuale di un edificio (archiviato su file con un certo nome) e lo Stato di Progetto (archiviato su file con un altro nome).

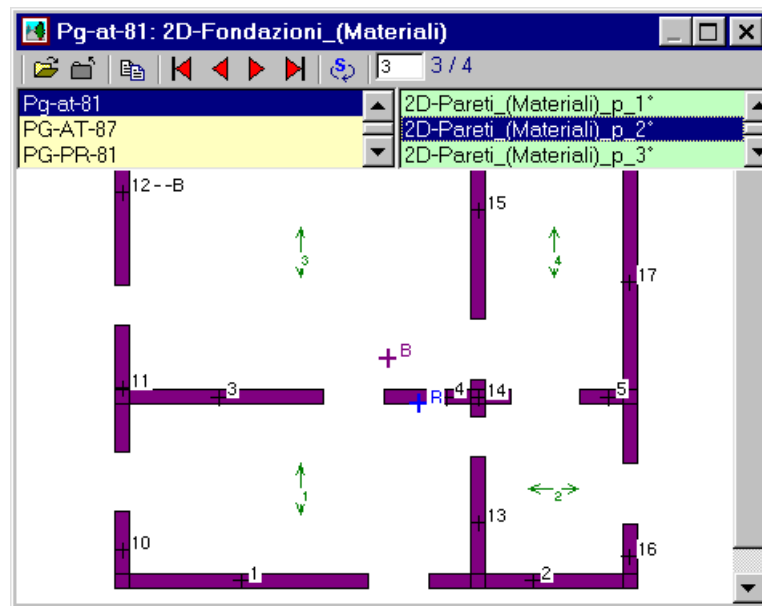
Da opportune caselle di riepilogo può essere scelto sia il nome del Progetto di cui si vogliono visualizzare le immagini, sia la particolare immagine (fra quelle disponibili) che si vuole effettivamente visualizzare nella Galleria.

Le immagini della finestra Galleria, diversamente dalle finestre Grafiche 2D e 3D, sono immagini bitmap e quindi 'fisse': esse non possono essere ridimensionate; anche se la finestra Galleria viene ingrandita, sono sempre mostrate con le loro dimensioni reali. Per visualizzare immagini a scale diverse, magari ingrandite al fine di visualizzare un maggior numero di dettagli nel disegno, occorre ridimensionare adeguatamente le rappresentazioni grafiche nelle finestre 2D e 3D prima di generare le bitmap.

La **Barra degli Strumenti** della finestra Galleria presenta i seguenti comandi:

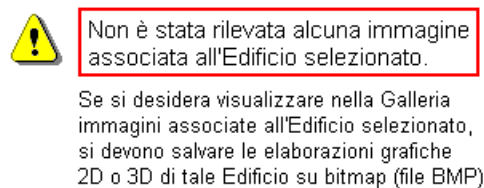
 **Apri Elenchi Progetti e Immagini.** Questo comando ha l'effetto di visualizzare le caselle di riepilogo dove sono mostrati in elenco a sinistra i Progetti disponibili, ed in elenco a destra le immagini disponibili per il Progetto selezionato. E' sufficiente fare clic sul nome del progetto e sul nome del file bitmap dell'immagine, per visualizzarla immediatamente. Un esempio è riportato in fig. 4.

Si comprende quindi come l'accesso ad una qualunque immagine salvata di un qualunque progetto elaborato con PC.M, è un'operazione immediata. Si osservi inoltre che nell'elenco delle immagini compaiono tutti i files *bmp* presenti in C:\PCM2000\OUTPUT\NomeEdificioSelezionato, quindi anche gli eventuali files elaborati dall'Utente esternamente a PC.M (per esempio, possono essere state generate e modificate altre bitmap contenenti commenti o annotazioni).





**Fig. 4.** Selezione di Progetti e di Immagini negli elenchi dei files e delle bitmap disponibili.

Qualora per un dato Progetto nessuna bitmap sia disponibile, nella finestra Galleria viene mostrato il messaggio riportato in fig. 5.



**Fig. 5.** Assenza di immagini per l'edificio correntemente selezionato.

 **Chiudi Elenchi.** Il comando nasconde le caselle di riepilogo contenente i nomi dei Progetti e delle corrispondenti bitmap disponibili. Chiusi gli elenchi, non è possibile variare il progetto di cui sono mostrate le immagini nella Galleria, tuttavia è possibile scorrerne a piacere le immagini disponibili attraverso gli appositi pulsanti, descritti qui di seguito.

 **Copia negli Appunti.** Copia l'immagine corrente negli Appunti, ad esempio al fine di incollarla in un documento di Word contenente una relazione.



◀, ◀, ▶, ▶ Scorrimento delle immagini, rispettivamente: **Prima Immagine, Immagine Precedente, Immagine Successiva, Ultima Immagine**. E' così possibile visualizzare le diverse immagini disponibili per il progetto correntemente selezionato. Un indicatore sulla destra della barra degli strumenti mostra il numero attuale dell'immagine nell'elenco rilevato; per esempio, in fig. 4, l'immagine mostrata è la terza su un totale di 4 disponibili: 3/4.

🌀 **Sequenza automatica.** Questo comando ha l'effetto di iniziare la visualizzazione automatica delle immagini, mostrate in sequenza una dopo l'altra (dopo l'ultima, la sequenza riprende dalla prima immagine). Il **tempo di visualizzazione** di ogni singola immagine (intervallo) è specificato, in secondi, nella casella di testo immediatamente a lato, sulla destra; l'intervallo è modificabile a piacere. Un tempo più lungo consente una comoda visualizzazione di tutta la sequenza, rendendo possibile la consultazione approfondita dell'immagine. Attivando per esempio la sequenza automatica nella configurazione di fig.4, le immagini saranno mostrare in successione ad intervalli di 3 secondi.

**Altre osservazioni sulla finestra Galleria.** La finestra Galleria è una finestra di primo piano, che resta quindi visualizzata in Windows anche se viene attivato un altro programma caricato contemporaneamente (per esempio, Word per gestire la relazione). Per chiuderla, è sufficiente fare clic sul consueto pulsante di Windows per la chiusura delle finestre. La finestra è inoltre ridimensionabile; ricordiamo che dal momento che le figure visualizzate sono bitmap, esse non vengono 'adattate' alla dimensione della finestra, ma restano di dimensioni fisse. Quando la bitmap eccede le dimensioni fisiche della finestra, opportune barre di scorrimento consentono comunque la visualizzazione di ogni parte dell'immagine corrente.

#### G.4. ESPORTAZIONE E IMPORTAZIONE DI PARETI E FONDAZIONI TRA PROGETTI DIVERSI. UTILIZZO DI PC.M VIEWER. CONFRONTO FRA EDIFICI DISTINTI

A partire dalla versione 4.2 di PC.M è possibile 'scambiare' informazioni fra progetti distinti, esportando pareti e/o fondazioni da un primo progetto, ed importando in un secondo progetto.

Questa operazione può essere molto utile per il completamento delle fasi di input geometrico.

Unitamente all'importazione da file DXF, consente anche modifiche su CAD via file DXF.

Ad esempio, supponiamo di aver importato da DXF un edificio, e quindi di averci lavorato sopra per definire altezze e materiali.

Successivamente, ipotizziamo di voler importare un nuovo piano nello stesso Progetto, oppure altre pareti di un piano già presente, senza per questo ricominciare da capo con l'importazione da DXF (operazione che avrebbe l'effetto di reinizializzare tutto l'edificio).

Si potrà allora creare un nuovo edificio, contenente ai vari piani le nuove geometrie, attraverso un disegno in CAD che verrà poi importato in PC.M via DXF. A questo punto, si selezionino le pareti che si vuole inserire nel primo edificio, e quindi si esegua il comando di Esportazione verso l'esterno (vedi descrizione nei capoversi seguenti).

Tornando poi all'edificio di partenza, sarà sufficiente importarvi le pareti anzidette, che andranno a sostituire le corrispondenti (se si effettua l'Importazione con la numerazione invariata) oppure ad aggiungersi a quelle già presenti.

Poiché il comando di Esportazione è possibile anche in PC.M Viewer, questo fatto - **unitamente alla possibilità di PC.M Viewer di aprire direttamente edifici da PC.M** - consente le operazioni di 'scambio' di pareti mentre si visualizzano sia l'edificio di partenza (in PC.M) in cui si importa, sia l'edificio ausiliario (in PC.M Viewer) da cui si esporta.

L'Utente può studiare altre combinazioni di utilizzo della procedura; gli aspetti fondamentali da tenere presente per lo scambio di pareti e/o fondazioni tra edifici distinti sono in ogni caso i seguenti:

- **sia con PC.M, sia con PC.M Viewer** (purché sia installato sullo stesso sistema di PC.M), è **possibile esportare** le pareti (o le fondazioni) selezionate, all'esterno dell'edificio corrente;
- **con PC.M è possibile importare** pareti e fondazioni dall'esterno dell'edificio corrente, con una duplice possibilità:

o lasciando inalterata la numerazione originaria (e così verranno anche create altre pareti di default laddove la numerazione lo richieda);



o aggiungendo gli elementi a quelli già presenti nell'edificio.

I comandi che consentono l'esportazione e l'importazione sono i seguenti:

menu Esegui della finestra Pareti (PC.M e PC.M Viewer): **Esporta Pareti Selezionate**;

menu Esegui della finestra Fondazioni (PC.M e PC.M Viewer): **Esporta Fondazioni Selezionate**;

menu Esegui della finestra Edificio (PC.M): **Importa dall'esterno**

- **numerazione invariata per pareti e fondazioni importate**: se attivato (un segno di spunta appare alla sinistra del comando, nel menu) consente l'importazione col rispetto della numerazione originaria che le pareti e le fondazioni avevano quando sono state esportate; diversamente, gli elementi importati verranno aggiunti a quelli già presenti.

In base alle osservazioni precedentemente fatte in questo paragrafo, **PC.M Viewer** può essere uno strumento di valido aiuto anche nello stesso sistema dove è installato PC.M.

Se PC.M Viewer riconosce la presenza di PC.M sullo stesso sistema, consente l'apertura di files direttamente da PC.M e quindi agevola notevolmente il confronto fra edifici diversi.

**Suggerimento.** Si consiglia di sfruttare la nuove potenzialità di PC.M 2000 v.4.2 per **confrontare edifici distinti**, ad esempio uno Stato Attuale e uno Stato di Progetto. Pur non essendo possibile aprire più di un'istanza di PC.M, il confronto si può invero svolgere molto agevolmente:

- sia attraverso l'uso della finestra Galleria, con cui si possono visualizzare - all'interno del progetto corrente - le immagini associate ad un qualsiasi altro progetto,
- sia attraverso l'uso combinato di PC.M e PC.M Viewer, come precedentemente illustrato.

## G.5. MURATURE NUOVE IN EDIFICI ESISTENTI

In qualunque versione di PC.M è possibile definire opportunamente materiali personalizzati dall'Utente che presentino le caratteristiche fisico-meccaniche desiderate. A parte l'esigenza di descrivere murature esistenti non direttamente riconoscibili in quelle presenti nella Normativa di riferimento, talvolta la definizione di ulteriori materiali dipende da un'altra motivazione: la descrizione delle proprietà note di murature nuove inserite come consolidamento all'interno di edifici esistenti.

E' noto che nelle tabelle di riferimento (Circ. Min.LL.PP. 21745 del 30.7.1981) le murature nuove sono generiche: si trovano infatti le seguenti due tipologie.

### 1. Mattoni pieni, malta cementizia:

$\tau_K = 20 \text{ t/mq}$ ,  $G = 1100 \text{ t/mq}$ ,  $E = 6G = 132000 \text{ t/mq}$ ,  $\sigma_K = 500 \text{ t/mq}$ ; usando i kg/cmq:

$\tau_K = 2 \text{ kg/cmq}$ ,  $G = 2200 \text{ kg/cmq}$ ,  $E = 6G = 13200 \text{ kg/cmq}$ ,  $\sigma_K = 50 \text{ kg/cmq}$

### 2. Forati doppio UNI, malta cementizia:

$\tau_K = 24 \text{ t/mq}$ ,  $G = 1100 \text{ t/mq}$ ,  $E = 6G = 158400 \text{ t/mq}$ ,  $\sigma_K = 500 \text{ t/mq}$ ; usando i kg/cmq:

$\tau_K = 2.4 \text{ kg/cmq}$ ,  $G = 2640 \text{ kg/cmq}$ ,  $E = 6G = 15840 \text{ kg/cmq}$ ,  $\sigma_K = 50 \text{ kg/cmq}$

Come consuetudine dei calcoli Por fino dagli anni '80, si usa introdurre questi valori per i nuovi pannelli inseriti in edifici esistenti anche se in realtà le caratteristiche fisiche e meccaniche delle nuove murature utilizzate sono perfettamente conosciute.

Pertanto, **alcuni Autori ritengono più logico attribuire a tali murature i reali valori conosciuti**, anche se i pannelli nuovi vengono calcolati insieme a murature esistenti.

Le murature nuove hanno caratteristiche fisiche e meccaniche determinate tramite le formulazioni indicate nel D.M. 20.11.1987, dove si rilevano sostanziali diversità rispetto alle relazioni presenti nella Circ. 21745 del 30.7.1981.

In particolare:

$f_{vko}$  è la resistenza a taglio puro, che può essere equiparata alla  $\tau_K$ ;

$f_k$  è la resistenza a compressione, dipendente dalla resistenza a compressione  $f_{bk}$  del blocco e dal tipo di malta, e può essere equiparata a  $\sigma_k$ ;

E è legato alla  $f_k$  dalla relazione:  $E = 1000 f_k$  (invece che:  $E = 6600 \tau_k$ );

G è legato ad E dalla relazione:  $G = 0.4 E$  (invece che:  $G = 1100 \tau_k$ ).


E' dunque possibile definire materiali murari 'nuovi' nel rispetto della tabellazione dei materiali tipica degli edifici esistenti. **In PC.M, vers. 4.2, la Tabella Materiali di default per gli edifici esistenti è stata pertanto estesa con tutti i materiali presenti nella tabella valida per edifici nuovi**, effettuando le equiparazioni indicate.

Una **nuova parete in Poroton** inserita in un edificio esistente potrà ad esempio essere caratterizzata da:

$\tau_k = 2 \text{ kg/cmq}$ ,  $G = 20000 \text{ kg/cmq}$ ,  $E = 50000 \text{ kg/cmq}$ ,  $\sigma_k = 50 \text{ kg/cmq}$

La differenza rispetto alla formulazione della Circ.21745 del 30.7.1981 si riscontra soprattutto nei moduli di elasticità G ed E: G è circa 10 volte superiore, E circa 5. Di conseguenza, le rigidezze a taglio delle pareti nuove aumentano dello stesso fattore di G, e ciò significa che la parete nuova assumerà molta più forza orizzontale, scaricando le pareti murarie esistenti contemporaneamente presenti nel piano di calcolo considerato nell'edificio. L'osservazione quindi ha effetti importanti sul risultato, effetti che ovviamente possono variare da caso a caso (in dipendenza della configurazione geometrica e resistente delle pareti nel loro complesso).

## G.6. RIEPILOGO DEI RISULTATI SISMICI PER AZIONI COMPLANARI

Nella maschera del Rapporto di Elaborazione, in corrispondenza della Verifica di Resistenza alle Azioni nel Piano, è ora disponibile il nuovo pulsante di comando  per il riepilogo dei risultati sismici per Azioni Complanari.

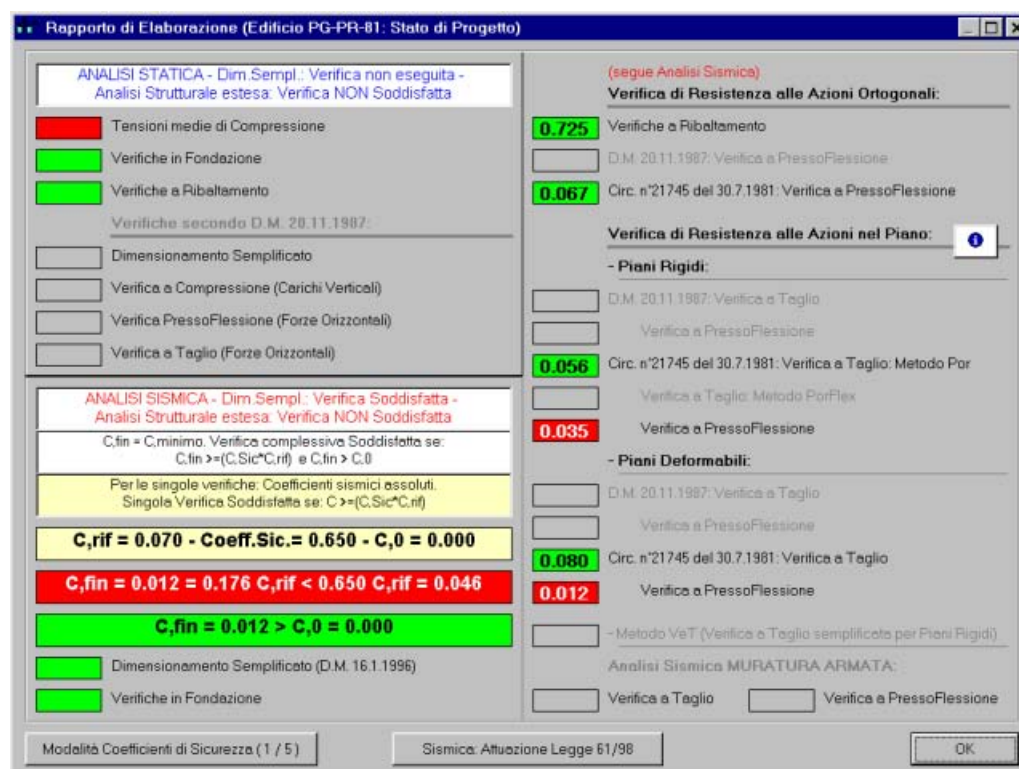


Fig. 6. Nuovo pulsante di comando: "Riepilogo Risultati Sismici per Azioni Complanari".

Il comando di Informazione evidenzia **tutti i risultati dei Coefficienti 'C' alle Azioni Complanari**: per ogni piano, per ogni direzione di analisi e per tutte le Combinazioni di Carico. Viene quindi fornita un'informazione più completa che aiuta a comprendere il comportamento dell'edificio; nella maschera del Rapporto di Elaborazione, infatti, compaiono direttamente solo i valori minimi (quelli che determinano la resistenza complessiva dell'edificio).

Il riepilogo dei risultati sismici per Azioni Complanari viene mostrato in una finestra di testo; per esempio, per il caso riportato in fig. 6, si ha:

#### Riepilogo Coefficienti 'C'

Piano-Direz.-Comb.Car.-Azione

```
1 - X - 1 : Taglio: 0.104
1 - X - 2 : Taglio: 0.087
1 - Y - 1 : Taglio: 0.086
1 - Y - 2 : Taglio: 0.078
1 - X - 1 : PressoFlessione: 0.088
1 - X - 2 : PressoFlessione: 0.063
1 - Y - 1 : PressoFlessione: 0.079
1 - Y - 2 : PressoFlessione: 0.058
```

```
2 - X - 1 : Taglio: 0.081
2 - X - 2 : Taglio: 0.067
2 - Y - 1 : Taglio: 0.062
2 - Y - 2 : Taglio: 0.056
2 - X - 1 : PressoFlessione: 0.090
2 - X - 2 : PressoFlessione: 0.059
2 - Y - 1 : PressoFlessione: 0.047
2 - Y - 2 : PressoFlessione: 0.035
```

```
3 - X - 1 : Taglio: 0.096
3 - X - 2 : Taglio: 0.081
3 - Y - 1 : Taglio: 0.086
3 - Y - 2 : Taglio: 0.080
3 - X - 1 : PressoFlessione: 0.034
3 - X - 2 : PressoFlessione: 0.021
3 - Y - 1 : PressoFlessione: 0.017
3 - Y - 2 : PressoFlessione: 0.012
```

dove in grassetto sono riportati i valori che trovano riferimento anche direttamente nella maschera del Rapporto di Elaborazione (colore verde, se la verifica è soddisfatta; rosso, altrimenti). Ricordiamo che i meccanismi per Azioni Complanari sono in generale 2: Taglio e PressoFlessione (quest'ultima talvolta viene ignorata nei calcoli, per le note considerazioni circa la sua effettiva capacità di rappresentare un meccanismo di collasso reale nell'edificio analizzato).


## G.7. OUTPUT DELLA LEGENDA SU FILE DXF

A partire dalla versione 4.2 di PC.M, è possibile inserire la Legenda all'interno dei disegni DXF della finestra Grafica 2D in output.

E' sufficiente che risulti spuntato il comando di menu: **Legenda nel file DXF**, del menu Immagine della finestra Grafica 2D. In tal caso, durante la scrittura del file la legenda viene automaticamente incorporata.

Ad esempio, consideriamo il disegno delle Tensioni di Compressione dell'edificio riportato in fig. 7.

Insieme al disegno, si visualizzi anche la Legenda (la visualizzazione a video non è comunque necessaria per il suo incorporamento nel file DXF).

Eseguendo il salvataggio su file DXF (pulsante grafico della barra degli strumenti: ) , se il comando 'Legenda nel file DXF' del menu Immagine della finestra grafica 2D risulta selezionato, il disegno in output ottenuto assume l'aspetto di fig. 8, dove la figura è tratta dal CAD in cui il disegno esportato su DXF è stato aperto.

Nel caso di scala continua di colori (caratteristica della legenda di alcuni disegni, come appunto le Tensioni di compressione) i riquadri della legenda su DXF rispettano il più possibile la scala stessa.

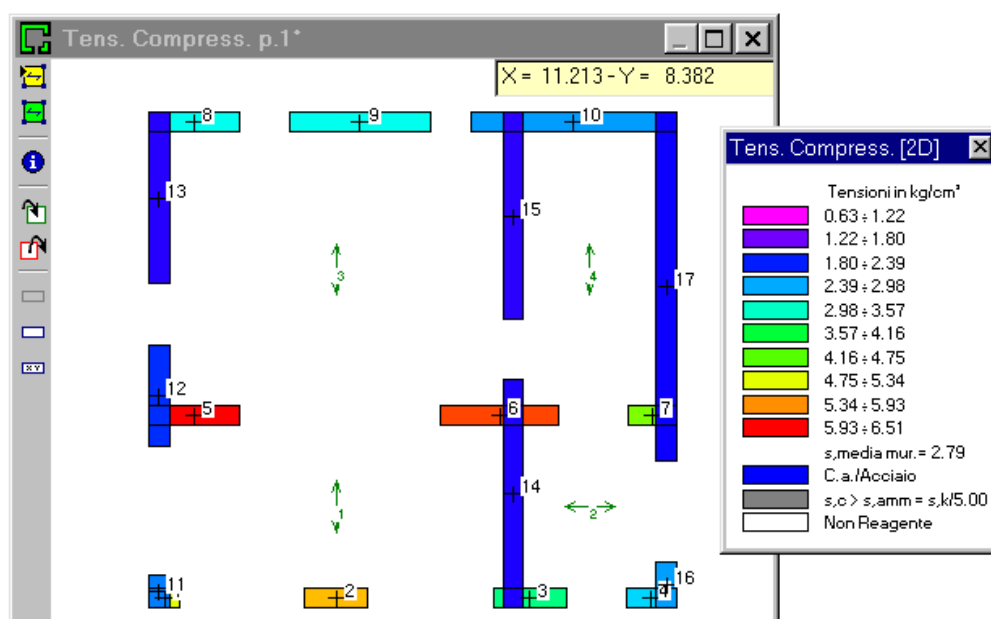


Fig. 7. Esempio di disegno con legenda per l'output su file DXF.

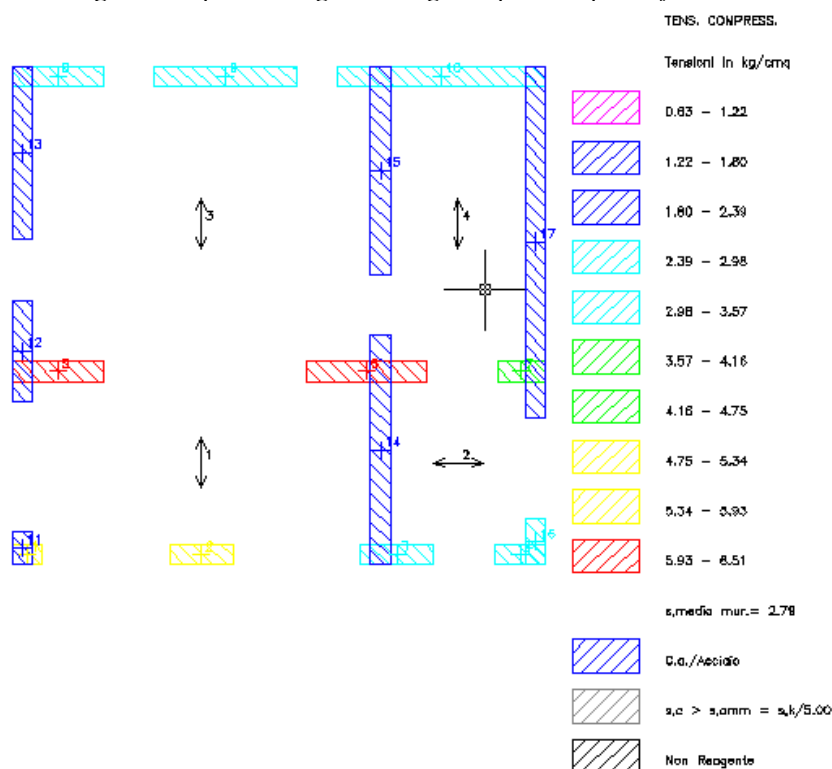


Fig. 8. Output su file DXF del disegno di fig. 7, con legenda incorporata.

Ricordiamo invece che per il salvataggio su bitmap della Legenda occorre prima renderla finestra attiva (è sufficiente farvi sopra clic), quindi porla in memoria con ALT+STAMP, infine incollarla ad esempio in Paint (il programma pittorico in dotazione a Windows) per poi salvarla su bitmap. Non è possibile, infatti, effettuare un salvataggio della legenda su bitmap direttamente con i comandi di PC.M.

## G.8. CARATTERISTICHE DELLE DIVERSE VERSIONI DI PC.M

Con la versione 4.2, la gamma di versioni disponibili per PC.M si arricchisce della nuova Versione Micro. Ricapitolando, le varie versioni, ognuna con le proprie caratteristiche, generano il seguente prospetto.

**Versione Professionale Completa con Sistema Esperto:** funzionalità complete.

**Versione Professionale Base:** tutte le funzionalità, escluso il Sistema Esperto.

**Versione Light:** nessun limite per la modellazione. Per quanto riguarda il calcolo, è consentita la sola Analisi Statica.

**Versione Micro:** nessun limite per la modellazione. L'analisi statica e sismica è consentita per edifici caratterizzati da: numero di pareti: non superiore a 30; numero di piani: non superiore a 2; materiale: muratura ordinaria (non consentiti: muratura armata, strutture miste con elementi di cemento armato e/o di acciaio). Non è disponibile il Sistema Esperto.

**Versione Didattica Professionale Completa con Sistema Esperto:** come la Versione Professionale Completa con Sistema Esperto, ma destinata al solo uso scolastico e quindi è vietato l'uso professionale.

**Versione Didattica Base:** come la Versione Professionale Base, ma destinata al solo uso scolastico e quindi è vietato l'uso professionale.

**Versione Viewer (PC.M Viewer):** versione freeware di PC.M contenente tutte le funzionalità, esclusi l'input e la modifica dei dati e l'esecuzione di calcoli.

**PC.M 2000 (c) 1997-2002 AEDES Software per Ingegneria Civile s.a.s.**

## **PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI IN MMURATURA**

### **H. AGGIORNAMENTO A PC.M 2000, versione 4.3 435**

**H.1. GENERALITA' 435**

**H.2. RINFORZO DI PARETI CON BARRE IN ACCIAIO O LAMINATI IN FRP 437**

H.2.1. PARAMETRI DI CALCOLO 439

H.2.1.1. VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO 441

H.2.2. FINESTRA RINFORZI 443

H.2.2.1. DATI RINFORZI 444

H.2.3. ESEMPI DI CALCOLO 446

H.2.4. BIBLIOGRAFIA 449

**H.3. PARETI ARMATE 450**

H.3.1. TIPI DI STRUTTURE MISTE 451

H.3.2. ANALISI DEGLI EDIFICI A PARETI PORTANTI 454

H.3.3. EDIFICI A PANNELLI PORTANTI IN C.A. 457

H.3.3.1. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO 461

H.3.4. ESEMPIO DI CALCOLO 462

**H.4. FONDAZIONI SU PALI 463**

H.4.1. RISULTATI DELLE ELABORAZIONI 465

H.4.2. ESEMPI DI CALCOLO 466

**H.5. GRAFICA 476**

H.5.1. INSERIMENTO GRAFICO DI PARETI RETTANGOLARI E POLIGONALI 476

H.5.2. COLLOQUIO CON AUTOCAD® PER LA MODIFICA DEI DATI 480

H.5.3. COMANDO 'AREA' 480

H.5.4. PARAMETRI DI DISEGNO 481

H.5.5. INPUT DA FILE DXF 481

**H.6. ALTRE FUNZIONALITA' 482**

H.6.1. CHECK-UP DATI 482

H.6.2. CALCOLO DEL  $C_{max}$  PER L'ANALISI SISMICA DELLE FONDAZIONI 484

H.6.3. NUOVE BARRE DEGLI STRUMENTI E NUOVI COMANDI DI MENU 484

H.6.4. COPIA IMMAGINE TABELLA 487

H.6.5. NUOVI COMANDI DELLA FINESTRA PARETI 487

H.6.6. VARIE 488

## H. AGGIORNAMENTO A PC.M 2000, versione 4.3

### H.1. GENERALITA'

Questo volume è dedicato alle novità di PC.M 2000, versione 4.3. Il suo contenuto deve essere considerato integrativo rispetto alla documentazione:

- A. LA TEORIA (pubblicata su volume ALINEA Editrice e allegata al pacchetto AEDES 2000);
- B. MANUALE D'USO - C. ESEMPI APPLICATIVI (include: D. APPENDICE) (forniti su supporto informatico);
- E. SISTEMA ESPERTO (anch'esso fornito su supporto informatico);
- F. AGGIORNAMENTO alla versione 4.1;
- G. AGGIORNAMENTO alla versione 4.2.

La **documentazione completa** di PC.M 2000, versione 4.3, si compone quindi dei seguenti manuali:

#### Documentazione di base:

- LA TEORIA (libro)
- MANUALE D'USO (file Manuale2.PDF per Adobe Acrobat ® Reader)
- ESEMPI APPLICATIVI (file Manuale3.PDF per Adobe Acrobat ® Reader)

#### Documentazione relativa al Sistema Esperto:

- SISTEMA ESPERTO (file Manuale4.PDF per Adobe Acrobat ® Reader)

#### Documentazione di Aggiornamento alle più recenti versioni del software:

- AGGIORNAMENTO alla Versione 4.1 (file Manuale5.PDF per Adobe Acrobat ® Reader)
- AGGIORNAMENTO alla Versione 4.2 (file Manuale6.PDF per Adobe Acrobat ® Reader)
- AGGIORNAMENTO alla Versione 4.3 (file Manuale7.PDF per Adobe Acrobat ® Reader).

#### Documentazione aggiuntiva su particolari argomenti:

- SOLUZIONI DI AVANGUARDIA CON MATERIALI COMPOSITI FRP, a cura della Tec.Inn. srl di Perugia (file Manuale8.PDF per Adobe Acrobat ® Reader).

I documenti su supporto informatico sono anche richiamabili direttamente dalla Guida in linea di PC.M. Fra le funzionalità descritte in questo volume di 'Aggiornamento', alcune sono totalmente nuove e quindi sono assenti nel resto della documentazione; per altre, sono state apportate modifiche: in ogni caso, le nuove caratteristiche sono tutte descritte in dettaglio.

Le nuove funzioni offerte da PC.M 2000, versione 4.3, estendono il campo di applicazione del software e consentono una più efficace gestione dei dati. Le **principali novità di PC.M 2000, versione 4.3**, sono le seguenti:

- E' disponibile l'analisi strutturale dei **Rinforzi di pareti con barre in acciaio o laminati in FRP**. In particolare, il rinforzo con laminati in FRP è un tipo di intervento innovativo che consente l'incremento della resistenza e della duttilità di pareti murarie con interventi di esecuzione relativamente semplice ed efficace. E' già disponibile una vasta letteratura su questa metodologia; PC.M accoglie alcune indicazioni fondamentali per il calcolo della resistenza a taglio delle pareti così rinforzate, permettendo quindi la valutazione degli effetti finali sui coefficienti di sicurezza dell'edificio.
- Le strutture con pareti armate: in **Muratura Ordinaria Miste, in Muratura Armata, a Pannelli Portanti in C.a.** sono oggetto di nuovi approfondimenti specifici, che consentono la corretta impostazione del calcolo ed il collegamento con il software CSE © AEDES per la verifica di resistenza delle sezioni in c.a.
- Sono disponibili, oltre alle fondazioni superficiali, anche **Fondazioni su Pali e Micropali**: PC.M fornisce le azioni in sommità a tali elementi, consistenti nello sforzo normale e nel taglio sismico, dati indispensabili per i dimensionamenti e le verifiche di resistenza.

- Nuove funzionalità grafiche di PC.M consentono: **il colloquio con** il disegno eseguito su **AutoCAD** per l'input da DXF, anche in fase di modifica dei dati, e l'**inserimento grafico** diretto nella finestra 2D di pareti, strisce, travi: diviene estremamente semplice inserire ad esempio una striscia compresa fra due maschi murari.
- Il nuovo comando di esecuzione del **Check-up Dati** permette un controllo approfondito sulla correttezza delle schematizzazioni adottate, in particolare per quanto riguarda gli allineamenti (vengono facilmente individuate pareti con allineamento non correttamente definito) e la corrispondenza strisce-travi-sottofinestra / maschi murari-pilastri. E' possibile eseguire il Check-up Dati anche indipendentemente dall'elaborazione statica o sismica, ad esempio durante la modifica dei dati. In ogni caso, l'Utente può scegliere o meno la correzione automatica proposta dal Check-up.
- Accogliendo i futuri sviluppi dei metodi di analisi dell'edificio, anche per la Verifica Sismica delle **Fondazioni** viene indicato il '**C max**', ossia il massimo input sismico sostenibile. Divengono così quattro i 'meccanismi' resistenti dell'edificio ai quali si associa il massimo valore di C sostenibile: Ribaltamento, Azioni Ortogonali, Azioni Complanari (Taglio e PressoFlessione), Fondazioni.



## H.2. RINFORZO DI PARETI CON BARRE IN ACCIAIO O LAMINATI IN FRP

L'utilizzo dei laminati in FRP ha storicamente origine in Giappone, con la finalità del rinforzo antisismico di strutture in cemento armato, circa nei primi anni '90. La tecnica, poi ripresa e sviluppata negli Stati Uniti, è oramai matura anche per il consolidamento delle costruzioni storiche. La particolarità italiana è la contemporanea presenza sia degli eventi sismici, sia del patrimonio architettonico: è in corso quindi lo sviluppo di conoscenze e tecnologie specifiche per questo settore.

Più in generale, i campi applicativi dei laminati in FRP sono due:

1) consolidamento di edifici con dissesti lenti in atto, o in smorzamento (dovuti a cedimenti di fondazioni o ad eccessivi sovraccarichi);

2) prevenzione nelle zone sismiche: i compositi aiutano in tal caso ad incrementare la resistenza antisismica; in condizioni normali non lavorano, ma saranno chiamati in causa appunto dall'evento sismico.

Nelle strutture in muratura, l'applicazione dei laminati in FRP può avvenire nel consolidamento delle volte; nel rinforzo a taglio e a pressoflessione dei maschi murari; nella cerchiatura di pilastri; nel confinamento dell'edificio a livello di impalcato (intervento alternativo alla cordolatura di piano).

L'uso di questa tecnologia può rispondere ad alcune esigenze architettoniche fondamentali per gli interventi sugli edifici storici: removibilità, assenza di acqua nelle lavorazioni, assenza di vibrazioni, rispetto delle preesistenze (per esempio, gli affreschi nel caso delle volte); tutti requisiti praticamente impossibili con varie tecniche tradizionali (ad esempio: iniezioni cementizie, intonaci armati).

Altri vantaggi consistono nella diffusione dell'azione, utilizzando per esempio fasce in carbonio per il confinamento dell'edificio in corrispondenza di un impalcato, anziché cordolature in c.a.; un intervento alternativo, che prevede l'utilizzo di tiranti in acciaio, comporta una concentrazione di tensioni nei capichave. Nella pratica, l'intervento, calibrato caso per caso sia nelle dimensioni sia nella scelta della fibra, prevede la messa a nudo della struttura principale da rinforzare; la ricostituzione di una superficie planare (malte a ritiro compensato, stucchi, ecc.); l'applicazione dei rinforzi, con resine.

Prove sperimentali finali (controlli di qualità) dimostrano l'efficacia dell'intervento. Ad esempio, le prove termografiche prevedono il riscaldamento della superficie e quindi il successivo raffreddamento; 'leggendo' i flussi di calore è possibile rilevare eventuali bolle d'aria, zone cioè ove la resina epossidica non ha aderito al supporto: le dimensioni di tali 'bolle' ne determinano l'accettabilità o meno. Altre prove utilizzano ultrasuoni: la misura della velocità dell'onda permette di capire se la sottostruttura è stata modificata dall'intervento ad esempio eliminando lo stato fessurativo e ridando quindi continuità alla massa. Queste prove ed indagini strumentali forniscono la necessaria garanzia, soprattutto nell'attuale assenza di Normative specifiche.

Più in dettaglio, l'intervento sulla parete muraria consiste nell'applicazione di strisce di FRP aventi una certa larghezza, mediante apposite resine, sulla superficie regolarizzata (previa livellatura, con scarti preferibilmente non superiori al millimetro, e pulizia) della parete; è necessaria la rimozione degli strati ricoprenti non portanti (intonaci) poiché il rinforzo deve aderire alla struttura portante (solidarizzazione fibra-muratura).

Sulla superficie regolarizzata, vengono stesi - tramite pennello o rullo - uno o più strati di prodotto impregnante e di stucco epossidico allo scopo di uniformare la superficie di applicazione delle fibre; successivamente, viene steso lo strato di adesivo su cui sono poste le strisce di fibra, prima fatte aderire con pressione manuale e poi con passaggio di un rullo in grado di eliminare le eventuali bolle d'aria. Sopra le strisce, viene posto un nuovo strato di adesivo allo scopo di impregnare completamente di resina la fibra. Eventuali altri strati successivi verranno applicati al di sopra dei precedenti, avendo ovviamente cura di non spostare le strisce sottostanti e di rispettare i tempi necessari per l'adesione.

L'applicazione dei rinforzi può avvenire su una o entrambe le facce della parete, e con disposizione dei laminati secondo una griglia ortogonale o diagonale (fig. 1).

Campagne sperimentali [1] [3] hanno dimostrato l'efficacia dei rinforzi in FRP soprattutto quando le strisce vengono poste su entrambe le facce della parete, ed hanno una adeguata larghezza. La resistenza ultima a taglio conseguita risulta sperimentalmente maggiore nel caso di disposizione diagonale rispetto alla griglia ortogonale:

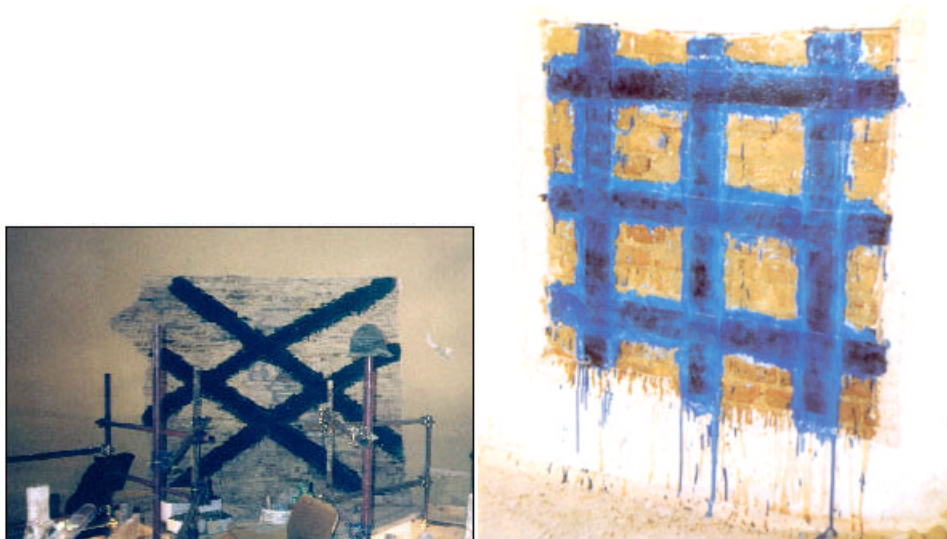
quest'ultima offre però una migliore diffusione delle tensioni con conseguente distribuzione più omogenea delle fessurazioni e con rottura finale meno improvvisa. In ogni caso, il comportamento della parete risulta significativamente meno fragile: la presenza del rinforzo consente infatti di mantenere 'legati' gli elementi resistenti fino anche alla configurazione di collasso.

Dal punto di vista dei vari parametri in gioco, la rigidezza della parete rinforzata con FRP non risulta in generale sensibilmente incrementata: questo fatto può essere considerato favorevole, in quanto la redistribuzione delle rigidzze, a interventi effettuati, non risulta significativamente modificata, e quindi il consolidamento dell'edificio non ne altera, da questo punto di vista, il suo comportamento originario. E' invece la resistenza ultima a taglio che viene incrementata in maniera sensibile, grazie al contributo della resistenza a trazione dei rinforzi.

Il comportamento strutturale conseguito per la parete muraria rinforzata dipende da numerosi fattori:

- il tipo di fibra scelta (carbonio, vetro, aramide, polivinilalcol, ecc.), cui corrispondono diverse caratteristiche fisiche e meccaniche;
- il tipo di resina utilizzata per la solidarizzazione della fibra alla parete;
- il tipo di muratura portante da rinforzare;
- la disposizione geometrica del rinforzo (su una o entrambe le facce; a griglia ortogonale o diagonale; con uno o più strati di strisce; il numero totale di strisce).

Ovviamente, la scelta di una configurazione operativa piuttosto che un'altra determina un diverso dimensionamento del rinforzo al fine di raggiungere il miglioramento desiderato della prestazione strutturale della parete muraria.



**Fig. 1.** *Rinforzi di maschi murari strisce di laminati in FRP: disposizione diagonale (a sinistra) e a griglia ortogonale (a destra).*

La progettazione dell'intervento con fibre in FRP per il rinforzo delle pareti murarie deve ovviamente basarsi su un modello teorico che, tenendo conto delle variabili in gioco, permetta la valutazione dei parametri meccanici conseguiti: rigidezza, duttilità, resistenza a taglio complanare, resistenza ad azioni ortogonali. Applicando quindi gli algoritmi di analisi strutturale all'insieme delle pareti resistenti, dove una o più possono essere state rinforzate con questa tecnica, si ottiene la risposta complessiva dell'organismo murario, dimostrando così l'avvenuto miglioramento o adeguamento sismico. In pratica, si tratta del consueto procedimento di progetto-verifica, dove ad un'ipotesi di intervento segue la valutazione del risultato conseguito, fino all'individuazione della soluzione desiderata.

Si comprende quindi che, ipotizzato un certo tipo di intervento, il punto fondamentale consiste nella valutazione dei parametri meccanici caratterizzanti la parete rinforzata.

Attualmente, non esistono formulazioni univoche: a livello internazionale, viene fatto riferimento a modelli teorici adottati per le strutture in cemento armato; sono in corso prove sperimentali su solidi murari volte ad individuare l'influenza del rinforzo sui meccanismi di collasso, al fine di ottenere schemi in grado di definire i contributi resistenti forniti dalla muratura e dalla struttura di rinforzo.

In letteratura sono comunque disponibili alcuni modelli analitici per la valutazione della resistenza a taglio di pareti rinforzate, che vengono adottati anche in PC.M; al paragrafo H.2.1.1. questi modelli sono trattati in dettaglio. Nel paragrafo H.2.1. vengono illustrati i Parametri di Calcolo messi a punto in PC.M per la descrizione delle caratteristiche generali dei rinforzi in FRP; in H.2.2. sono descritti i parametri caratteristici di ogni parete rinforzata utilizzati in PC.M per la schematizzazione dell'intervento e la successiva valutazione della sua influenza sulla capacità resistente dell'organismo murario.

Per ulteriori approfondimenti sulle tecniche di rinforzo con FRP si rimanda alla bibliografia (H.2.4.).

### H.2.1. PARAMETRI DI CALCOLO

PC.M tratta i rinforzi di pareti murarie con laminati in FRP mediante due aspetti complementari:

- nei **Parametri di Calcolo**, vengono definiti il tipo di fibre utilizzate e le loro caratteristiche fisiche e meccaniche; si ipotizza che nell'ambito dell'intervento su un edificio, il tipo di fibra sia la stessa per tutte le pareti interessate da questa modalità di consolidamento;
- sempre nei Parametri di Calcolo, si seleziona la modalità di valutazione della resistenza a taglio complanare, secondo i modelli teorici attualmente disponibili;
- nella nuova finestra **Rinforzi Pareti** (par. H.2.2.), alle singole pareti oggetto di intervento con laminati in FRP vengono associate le caratteristiche geometriche dell'intervento stesso, ed è comunque possibile specificare l'incremento percentuale previsto per: rigidità, forza ultima complanare e ortogonale, nonché il valore conseguito per la duttilità. L'insieme di questi dati determina il comportamento meccanico della parete nell'ambito dell'organismo resistente, e quindi, in ultima istanza, il coefficiente sismico sostenibile conseguito dalla struttura nel suo insieme.

**Parametri di Calcolo**

Analisi Statica | Analisi Sismica | Parametri Vari (1) | Parametri Vari (2) | **Armature - FRP** | Avanzate

**Muratura armata - Pannelli portanti in c.a.**

Acciaio di tipo FeB 44 k controllato in stabilimento

Armatura ad ognuno dei due bordi (se non diversamente specificata nei Dati Pareti) =  d.

Copriferro (cm) =

☐ Muratura Armata: Armatura diffusa aggiuntiva

**Strutture miste: Piani in c.a./acciaio**

Piani interamente in c.a./acciaio inseriti in Edifici in Muratura Ordinaria:

Applicare alla Forza Sismica del piano in c.a./acciaio gli stessi coefficienti di struttura [(beta),1 e (beta),2] dei piani in Muratura

Applicare alla Forza Sismica del piano in c.a./acciaio il coefficiente di struttura (beta) = 1 (o 1.2 nel caso di presenza di irrigidimenti, o 1.4 nel caso di piano in Pannelli Portanti)

**Rinforzi con laminati in FRP**

**Fibre: Caratteristiche fisiche e meccaniche**

Tipo di laminato:  **1) Carbonio alta resistenza**

Densità (kgm/mc) =  Spessore (mm) =  Densità Superficiale D,s = 0.300 kgm / mq

Modulo di elasticità a trazione E (GPa) =  E = 230 GPa = 230 000 MPa = 2 300 000 kgf / cmq

Resistenza caratteristica a trazione f,tk (MPa) =  f,tk = 3 430 MPa = 34 300 kgf / cmq

Deformazione ultima (eps),u (%) =

**Valutazione della Resistenza a Taglio**

Riferimento teorico per la valutazione della Resistenza a Taglio (taglio ultimo complanare, agente cioè nel piano della parete) :

☒ 1. EuroCodice 6 ☐ 3. Triantafillou

☐ 2. Tomazevic ☐ 4. Valore medio

Indipendentemente dal metodo qui selezionato, per ogni parete rinforzata (con barre in acciaio o laminati in FRP), la Resistenza a Taglio può direttamente essere specificata come Incremento Percentuale rispetto al valore corrispondente alla sola parete in muratura non rinforzata (vd. input nella finestra: Rinforzi Pareti).

OK Annulla

Fig. 2. Scheda 'Armature - FRP' dei Parametri di Calcolo.

**\* Rinforzi con laminati in FRP:**

**- Fibre: Caratteristiche fisiche e meccaniche:**

**Tipo di laminato** = tipo di laminato utilizzato nei rinforzi con FRP. La scelta avviene tramite una casella a discesa, dove sono riportati alcuni tipi disponibili per default in PC.M. L'elenco fa capo al file di testo:

Pcm\Files\Frp.txt

che contiene tutte le informazioni relative alle tipologie di fibre; l'elenco è ampliabile a piacere, semplicemente editando il file di testo e rispettandone la struttura. E' così possibile aggiungere altri materiali o altri valori che caratterizzano le fibre di particolari produttori. I valori proposti da PC.M possono essere considerati standard; è comunque possibile modificarli direttamente in input nei Parametri di Calcolo.

Il contenuto di default del file Frp.txt è il seguente (in verde le indicazioni per eventuali modifiche del file di testo, da eseguirsi in un normale editor quale NotePad di Windows):

**TABELLA CARATTERISTICHE FRP** ← lasciare invariata questa riga

**3** ← modificare il numero totale di tipologie nel caso si aggiungano altre righe

**1,"Carbonio alta resistenza",1820,0.165,230,3430,1.5**

**2,"Vetro",2600,0.115,65,1700,2.8**

**3,"Polivinilalcol (PVA)",1300,0.070,29,1400,6.0**

Aggiungere eventuali altre righe, rispettando la sintassi delle precedenti (la stringa alfanumerica racchiusa fra virgolette è il nome della tipologia, che PC.M presenta nella casella a discesa).

In sequenza, i valori numerici (coincidenti con i corrispondenti parametri di calcolo) sono i seguenti: densità (kgm/mc); spessore (mm); E (GPa); resistenza caratteristica a trazione (MPa); deformazione ultima (%).

**Densità, Spessore, Modulo di elasticità a trazione, Resistenza caratteristica a trazione, Deformazione ultima** = elenco dei parametri fisici e meccanici riguardanti il tipo di laminato utilizzato. I valori proposti per default da PC.M provengono dal file Pcm\Files\Frp.txt.

**- Valutazione della Resistenza a Taglio** = Consente la specifica del metodo scelto per il calcolo del taglio ultimo di progetto. Nel paragrafo seguente (H.2.1.1.) vengono illustrati alcuni approfondimenti teorici riguardanti la valutazione della resistenza a taglio.

Indipendentemente dal metodo qui selezionato, per ogni parete rinforzata (con barre in acciaio o laminati in FRP), la Resistenza a Taglio può direttamente essere specificata come Incremento Percentuale rispetto al valore corrispondente alla sola parete in muratura non rinforzata (parametro in input nella finestra Rinforzi Pareti, vd. par. H.2.2.1.).

### H.2.1.1. VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO

In questo paragrafo si considerano murature rinforzate, sia con barre in acciaio FeB44k, sia con strisce di laminati in FRP. In entrambi i casi, si tratta di 'pareti armate' nel senso che opportuni rinforzi capaci di resistere a trazione (l'acciaio o l'FRP) integrano il comportamento strutturale della muratura, migliorandolo.

Le principali formulazioni presenti in letteratura per il calcolo della resistenza a taglio complanare di pareti armate sono le seguenti:

1) **EuroCodice 6:**  $V_{Rd} = f_{vk} t d + 0.9 d p t f_{tk} (\sin \alpha + \cos \alpha)$ , con:  $f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_o$

Come tutte le formulazioni, la resistenza a taglio è vista come somma di un termine di resistenza attribuibile alla sola muratura, con un termine corrispondente all'armatura di rinforzo.

L'impostazione dell'EuroCodice 6, similmente al D.M. 20.11.1987, prevede una resistenza a taglio della muratura dipendente, tramite il coefficiente d'attrito, dalla tensione normale.

Il significato della simbologia è il seguente:

$f_{vk}$  = resistenza caratteristica a taglio della muratura;

$f_{vko}, \tau_k$  = resistenza caratteristica a taglio della muratura in assenza di compressione;

per  $f_{vko}, f_{vk}, \tau_k$  la resistenza di progetto viene calcolata applicando il coefficiente  $\gamma_m = 1$  nel caso di edifici esistenti,  $\gamma_m = 3$  per edifici nuovi;

$\sigma_o$  = tensione di compressione agente (variabile in dipendenza della condizione di carico);

$\rho$  = percentuale di rinforzo computata sulla sezione. Con riferimento alla fig. 3, la percentuale di rinforzo è data da:  $\rho t = A_r / s$

dove:  $A_r$  = nel caso di rinforzi con barre in acciaio: area della singola barra orizzontale; nel caso di rinforzi in FRP: area della singola striscia (nel caso di strisce sovrapposte, occorre moltiplicare per il numero delle strisce);

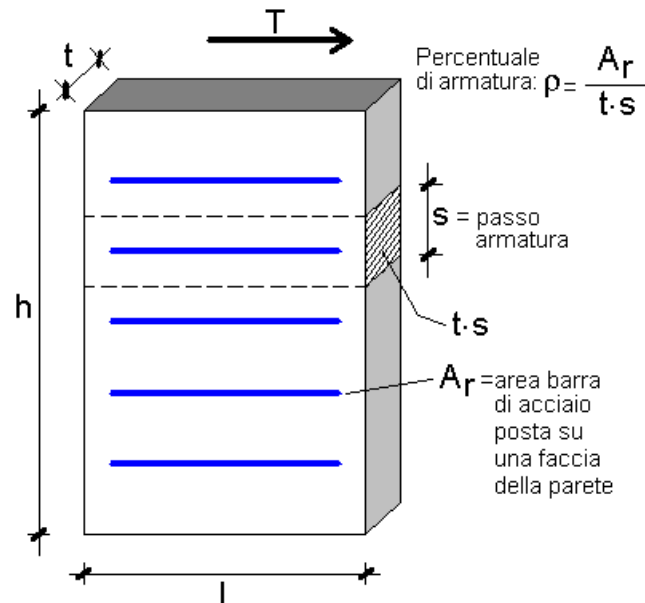
$s$  = passo dell'armatura a taglio (distanza fra le barre orizzontali o fra le strisce di FRP);

$\alpha$  = angolo dell'armatura di rinforzo rispetto alla verticale ( $90^\circ$  nel caso di fig.3;  $45^\circ$  nel caso di disposizione diagonale). Si osservi che la formula dell'EuroCodice è l'unica [fra quelle considerate in questa sede] che varia in dipendenza di  $\alpha$ , e che quindi conduce a valori diversi per diverse giaciture dei rinforzi;

$f_{tk}$  = resistenza caratteristica del rinforzo: acciaio o FRP;

parametri geometrici della parete rinforzata:

$t$  = spessore;  $l$  = lunghezza;  $d = 0.8 l$  = lunghezza effettiva (lunghezza utile).



**Fig. 3.** Armatura di rinforzo e Percentuale  $\rho$  di armatura nel caso di barre di acciaio.  
Nel caso dei rinforzi in FRP, la barra di acciaio è sostituita dalla striscia di laminato in FRP.

2) **Tomazevic:**  $V_{Rd} = (0.9 t l \tau_k \sqrt{[1 + \sigma_o / (1.5 \tau_k)]}) + 0.4 A_r f_{tk}$

La formulazione di Tomazevic, analogamente all'EuroCodice 6, fa riferimento esplicitamente ad armature in acciaio, ma può essere estesa anche ai rinforzi in FRP, essendo concettualmente simile il significato del rinforzo.

3) **Triantafillou:**  $V_{Rd} = f_{vk} t d + 0.9 \rho E \epsilon_e t$ , con:

$\epsilon_e = r \epsilon_u$ , dove:  $r = 0.5622 (\rho E)^2 - 1.2188 (\rho E) + 0.778 \leq 0.50$  (E in GPa)

Significato della simbologia:

$E$  = modulo di elasticità del rinforzo;

$\epsilon_e, \epsilon_u$  = deformazione effettiva e deformazione ultima del rinforzo;

$r$  = fattore di efficienza (rapporto fra deformazione effettiva e deformazione ultima).

Questa formulazione è stata ricavata sperimentalmente in modo specifico per le strutture rinforzate con FRP, in particolare, per strutture in cemento armato. La formula originaria di Triantafillou è stata parzialmente corretta [5], introducendo un massimo valore per la deformazione effettiva (o equivalentemente, un limite massimo di 0.50 per l'efficienza) giustificato dal fatto che per valori maggiori di deformazione del laminato in FRP si verificano fenomeni di distacco tali da compromettere la solidarizzazione muratura-fibra.

Applicando questa formula alla muratura, il valore della resistenza a taglio tende ad essere sottostimato [1]; tuttavia, in attesa delle opportune correzioni, essa può essere utilizzata per ottenere una stima comunque a favore

di sicurezza.

PC.M propone nei Parametri di Calcolo (vd. par. H.2.1.) la scelta di uno dei tre metodi teorici di valutazione della resistenza a taglio; in alternativa è anche possibile fare riferimento al valor medio fra i tre indicati. E' inoltre possibile per ogni singola parete definire un incremento percentuale di resistenza a taglio complanare: in questo caso, tale valore è assunto direttamente nel calcolo, indipendentemente dalla resistenza valutata secondo il metodo teorico scelto.

Per quanto riguarda le verifiche globali per azioni complanari eseguite da PC.M, la resistenza a taglio determinata dall'intervento di rinforzo viene considerata nelle verifiche a Taglio; per il comportamento a Pressoflessione complanare non sono attualmente disponibili formulazioni specifiche che indichino gli incrementi di resistenza della parete consolidata a cui fare riferimento per lo svolgimento delle verifiche: in PC.M, la pressoflessione complanare viene automaticamente ignorata per tutte le pareti consolidate con barre in acciaio o laminati in FRP.

## H.2.2. FINESTRA RINFORZI

Nella finestra **Rinforzi Pareti**, alle singole pareti oggetto di intervento con barre in acciaio o laminati in FRP vengono associate le caratteristiche geometriche dell'intervento stesso, ed è comunque possibile specificare l'incremento percentuale previsto per: rigidità, forza ultima complanare e ortogonale, nonché il valore conseguito per la duttilità. L'insieme di questi dati determina il comportamento meccanico della parete nell'ambito dell'organismo resistente, e quindi, in ultima istanza, il coefficiente sismico sostenibile conseguito dalla struttura nel suo insieme.

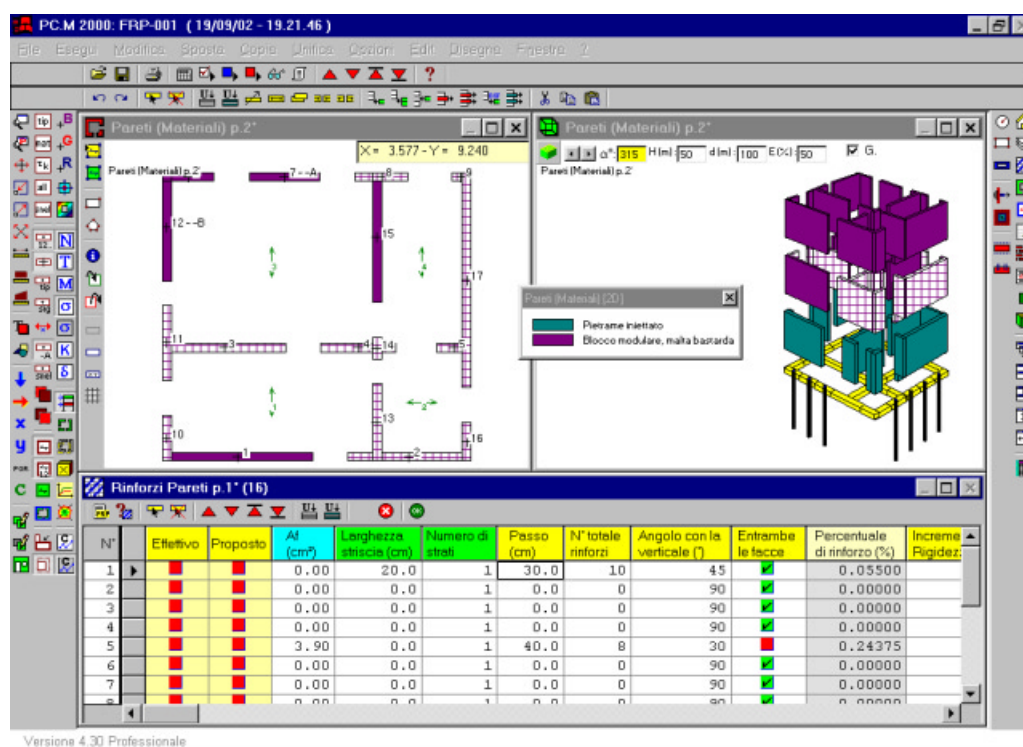





Fig. 4. Nuova finestra Rinforzi Pareti.




La finestra Rinforzi può essere attivata esclusivamente dalla finestra Pareti, sia dal comando apposito del menu Finestra, sia equivalentemente dal pulsante grafico  della Barra degli Strumenti 'Modifica II / Interventi' (a destra).


La finestra 'Rinforzi Pareti' presenta una propria 'Barra degli Strumenti' i cui comandi possono essere utilizzati per semplificare l'input dei dati sui rinforzi; le sue funzionalità vengono descritte più avanti.


Fra questi comandi, due pulsanti grafici consentono l'uscita ed il ritorno all'input/modifica nella finestra Pareti:


- il pulsante grafico  determina l'uscita dall'input/modifica dei 'Rinforzi Pareti' **senza** confermare eventuali modifiche effettuate, ritornando all'impostazione dei rinforzi sulle pareti precedenti l'apertura della finestra;
- il pulsante grafico  determina l'uscita dall'input/modifica dei 'Rinforzi Pareti' **confermando** eventuali modifiche effettuate, ossia la situazione corrente dei dati dei rinforzi sulle pareti.





I pulsanti grafici della '**Barra degli Strumenti**' della finestra 'Rinforzi Pareti' non sono equivalenti a corrispondenti comandi di menu: pertanto devono essere selezionati obbligatoriamente se si desidera usufruire delle loro funzionalità, qui nel seguito descritte.


 **Documentazione sull'uso di FRP:** apre la documentazione relativa agli interventi con FRP, curata dalla Tec.Inn. srl di Perugia.


 **Guida all'uso dei Rinforzi Pareti:** apre il manuale di PC.M contenente le informazioni sull'uso dei rinforzi in FRP all'interno della procedura software.

 **Seleziona.** Il comando di selezione delle pareti agisce in modo del tutto analogo al corrispondente comando della finestra Pareti, e consente la selezione di un gruppo di pareti al fine di semplificare le impostazioni dei dati sui rinforzi in sinergia con il comando 'Unifica Colonna'. Infatti, se ci sono pareti selezionate, il comando di unificazione agisce solo sulle pareti selezionate. E' quindi semplice proporre, ad esempio, una identica disposizione geometrica del rinforzo solo ad un particolare gruppo di pareti.

 **Deseleziona:** dopo questo comando, nessuna parete a nessun piano sarà selezionata.

 **Piano Superiore**,  **Piano Inferiore**,  **Ultimo Piano**,  **Piano 1:** comandi di spostamento della tabella dati, del tutto analoghi ai corrispondenti comandi della finestra Pareti.

 **Unifica seguenti, Unifica selezione:** il comando permette l'unificazione del parametro della parete corrente dove si trova la cella, per tutte le pareti selezionate o per tutte le pareti seguenti (cioè le successive a quella dove è posizionata la cella). Il comando agisce solo sul piano corrente, e l'unificazione per pareti selezionate si limita pertanto al piano corrente.

 **Chiudi.** Esce dalla finestra 'Rinforzi Pareti' senza confermare le modifiche eventualmente effettuate. Nella finestra 'Rinforzi Pareti' non sono attive le funzionalità 'Annulla' e 'Ripristina': trattandosi tuttavia di una finestra di dialogo (che quindi impedisce altri input finché è aperta), qualora la configurazione corrente non sia quella desiderata, è possibile annullare chiudendo la finestra senza confermare e tornando alla situazione precedente la sua apertura.

 **Conferma e Chiudi.** Esce dalla finestra 'Rinforzi Pareti' confermando le modifiche eventualmente effettuate

### H.2.2.1. DATI RINFORZI

I rinforzi possono essere barre in acciaio o laminati in FRP.

- **Effettivo** = Se attivato (casella verde spuntata), indica che l'intervento di rinforzo corrispondente ai dati della parete corrente sarà considerato come effettivamente presente nell'edificio, e quindi contribuirà al comportamento strutturale dell'organismo murario.



- **Proposto** = Se attivato (casella verde spuntata), indica che l'intervento di rinforzo corrispondente ai dati della parete corrente sarà considerato eventualmente nell'applicazione del Sistema Esperto di PC.M. Se l'intervento non è effettivo, sarà quindi ignorato nell'analisi strutturale dell'edificio corrente.

- **Af** = Area del singolo tondino di acciaio FeB44k inserito nella parete; definisce l'armatura di rinforzo, costituita da più ferri, disposti con un certo passo, su una o entrambe le facce della parete, secondo quanto specificato dai parametri seguenti. Questo parametro è alternativo alla 'Larghezza striscia', in quanto il rinforzo della parete deve essere definito di acciaio oppure di laminati in FRP.

- **Larghezza striscia** = Larghezza della singola striscia di laminato in FRP. Questo parametro è alternativo ad 'Af' (Area di ferro), in quanto il rinforzo della parete deve essere definito di acciaio oppure di laminati in FRP.

- **Numero di strati** = Numero di strati per il singolo rinforzo in FRP. La specifica di un numero maggiore di 1 indica che altrettante strisce vengono sovrapposte a strati, per garantire una maggiore sezione resistente di laminato.

- **Passo** = Distanza fra due ferri o fra due strisce di laminato in FRP. In base al passo, viene calcolata la percentuale d'armatura, computata sulla sezione di parete determinata dal Passo e dallo spessore della parete stessa (vd. fig. 3).

- **N° totale rinforzi** = Numero totale di ferri o di strisce di laminato in FRP. Il numero totale, ad esempio, di rinforzi orizzontali può essere inferiore all'altezza della parete divisa per il Passo, in quanto la griglia può interessare solo una porzione centrale della parete stessa. La 'Percentuale di rinforzo' viene comunque valutata in base al Passo, considerando la zona centrale della parete come rappresentativa del suo comportamento meccanico.

- **Angolo con la verticale** = Angolo del rinforzo orizzontale rispetto alla verticale. Per i laminati in FRP, un angolo di 90° definisce una griglia ortogonale; un angolo di 45°, una griglia diagonale. Per i rinforzi in acciaio, l'angolo indica la giacitura dei ferri rispetto alla verticale (quindi, l'armatura orizzontale è caratterizzata da un angolo di 90°).

- **Entrambe le facce** = Definisce se il rinforzo viene posto su entrambe le facce della parete, o su una soltanto. Per rinforzi disposti su una sola faccia, viene trascurato l'eventuale incremento di forza ultima ortogonale (a causa dell'alternanza del verso dell'azione ortogonale alla parete, che quindi - in un verso - non viene contrastata dal rinforzo).

- **Percentuale di rinforzo** = Rapporto fra sezione del rinforzo e area di parete interessata (= passo \* spessore). Questo parametro NON è in input, in quanto deriva automaticamente da altri dati della parete corrente.

- **Incremento di Rigidezza** = Incremento percentuale di rigidezza alla traslazione nel piano della parete, dovuto al rinforzo. Non disponendo attualmente di formulazioni teoriche in grado di determinare la variazione di rigidezza, è comunque possibile - specificando questo parametro con un valore >0 - definire di quanto la rigidezza viene incrementata dalla realizzazione del rinforzo (ricordiamo infatti che le formulazioni teoriche attualmente disponibili nel campo dei rinforzi armati riguardano solamente la resistenza a taglio complanare).

- **Incremento Fu complanare** = Incremento percentuale di forza ultima a taglio nel piano della parete, dovuto al rinforzo. Nei Parametri di Calcolo viene specificato il riferimento teorico per la valutazione della resistenza a taglio: EuroCodice 6, Tomazevic, Triantafyllou o Valore medio (fra le tre valutazioni). PC.M calcola quindi automaticamente il valore della resistenza a taglio modificato dal rinforzo; se tuttavia si è specificato un incremento percentuale >0, questo verrà direttamente utilizzato - indipendentemente dal riferimento teorico detto - per il calcolo della resistenza a taglio.

Relativamente ai rinforzi in FRP, dalla letteratura disponibile [8], si possono ricavare utili indicazioni, anche se ovviamente relative alle particolari murature ed ai particolari rinforzi usati nelle campagne sperimentali;

comunque, un possibile riferimento è un incremento fra il 30% e l'80% della resistenza a taglio complanare (le prestazioni risultano generalmente migliori per pareti rinforzate su entrambe le facce).

**- Duttilità finale** = duttilità conseguita con l'intervento di rinforzo. La letteratura disponibile [7] mostra per le pareti armate valori di duttilità significativamente maggiori rispetto alla muratura ordinaria; valori di 3 - 4 possono essere assunti per armature in acciaio normali (valori superiori possono essere conseguiti in presenza di flange alle estremità dei pannelli).

Relativamente ai rinforzi in FRP, in [8], sempre per alcune tipologie specifiche di intervento (fibre di vetro, e pannelli in blocchi di calcestruzzo), sono indicati valori di duttilità da 5, nel caso di rinforzo su una sola faccia, fino addirittura a 20 per alcuni casi di rinforzi su entrambe le facce. Cautelativamente, è quindi possibile adottare valori intorno a 5.

**- Incremento Fu ortogonale** = incremento percentuale di forza ultima in direzione ortogonale al piano della parete, dovuto al rinforzo. Non disponendo attualmente di formulazioni teoriche in grado di determinare la variazione di forza ultima in direzione ortogonale, è comunque possibile - specificando questo parametro con un valore  $>0$  - definire di quanto tale forza viene incrementata dalla realizzazione del rinforzo. L'incremento viene considerato nel calcolo soltanto se il rinforzo è effettuato su entrambe le facce della parete, a causa del fatto che l'azione sismica è alternativa nei due versi, e quindi soltanto in uno tende il rinforzo se questo è presente su una sola faccia.

In letteratura [6] sono indicate alcune percentuali di incrementi di resistenza in direzione ortogonale per pannelli in muratura a blocchi di argilla o di calcestruzzo, rinforzati con fibre in vetro. Tali percentuali oscillano fra valori minimi del 25% per pannelli fortemente vincolati agli estremi, fino al 175% per pannelli con maggiori capacità deformative. Si possono quindi cautelativamente adottare valori compresi fra 25% e 50%.

### H.2.3. ESEMPI DI CALCOLO

In PcmVes-Apprendi vengono installati tre archivi di edifici aventi le seguenti caratteristiche:


**Frp-01-a:** deriva direttamente da Pg-pr-81 (edificio di riferimento per l'apprendimento di PC.M), dove è stata impostata la trascurabilità della pressoflessione complanare;

**Frp-01-b:** coincide con lo schema Frp-01-a, ma le pareti interne del piano 2 in direzione Y sono rinforzate con intonaco armato;

**Frp-01-c:** anch'esso coincidente con lo schema Frp-01-a, ma le pareti in direzione Y del piano 2 sono rinforzate con laminati in FRP.

L'esempio Frp-01-a mostra un coefficiente sismico a taglio pari a 0.056, dipendente dalla verifica del piano 2 in direzione Y. Si desidera incrementare il livello di sicurezza, portando il coefficiente sismico su valori più prossimi all'adeguamento (0.070).

Come prima ipotesi (Frp-01-b) si considera l'applicazione dell'intonaco armato alle pareti 13 e 15 del piano 2; si opera sulle pareti interne avendo un'ipotesi di lavoro di impossibilità di agire sulla facciata dell'edificio; e d'altra parte l'intonaco armato ha piena efficacia solo se realizzato su entrambe le facce della parete, in modo da creare un effetto sandwich (confinamento della muratura interna).

La fig. 5 evidenzia le pareti sulle quali si applica l'intonaco armato (il tipo di disegno è: Dati, Resistenza a Taglio, selezionabile anche con il pulsante grafico  della Barra degli Strumenti 'Grafica: Visualizzazione II').

Il coefficiente sismico conseguito risulta pari a 0.067, ed è determinato dal piano 2 in direzione X.

Interessa qui conoscere l'incremento di resistenza in direzione Y: al piano 2 il coefficiente sale da 0.056 (Frp-01-a) a 0.068.

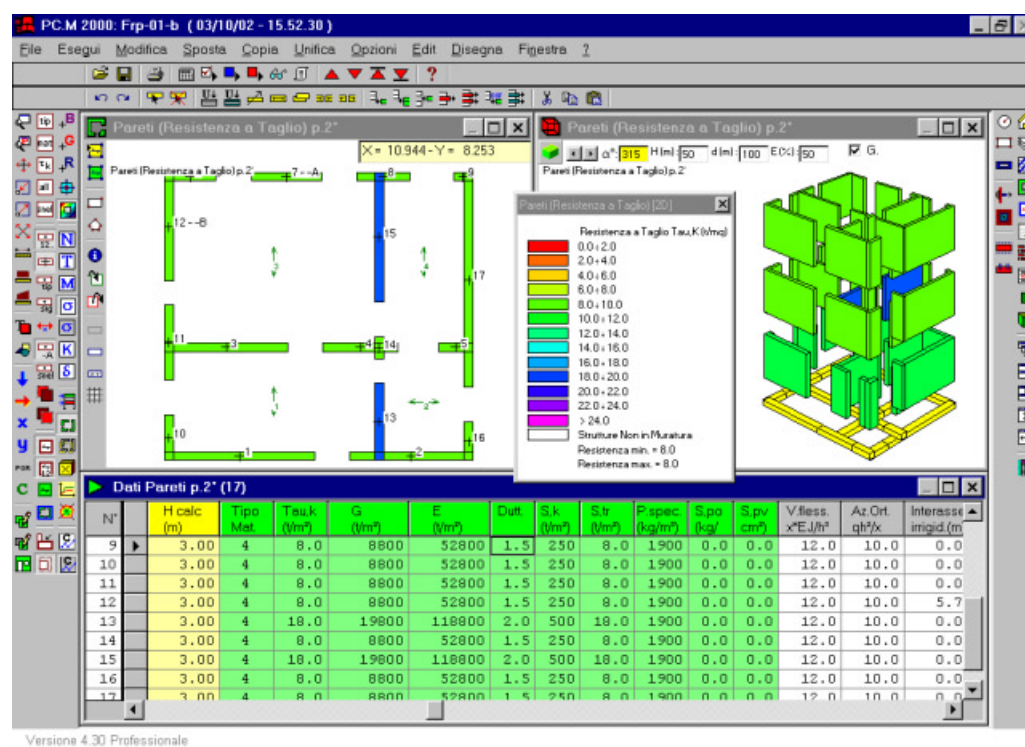
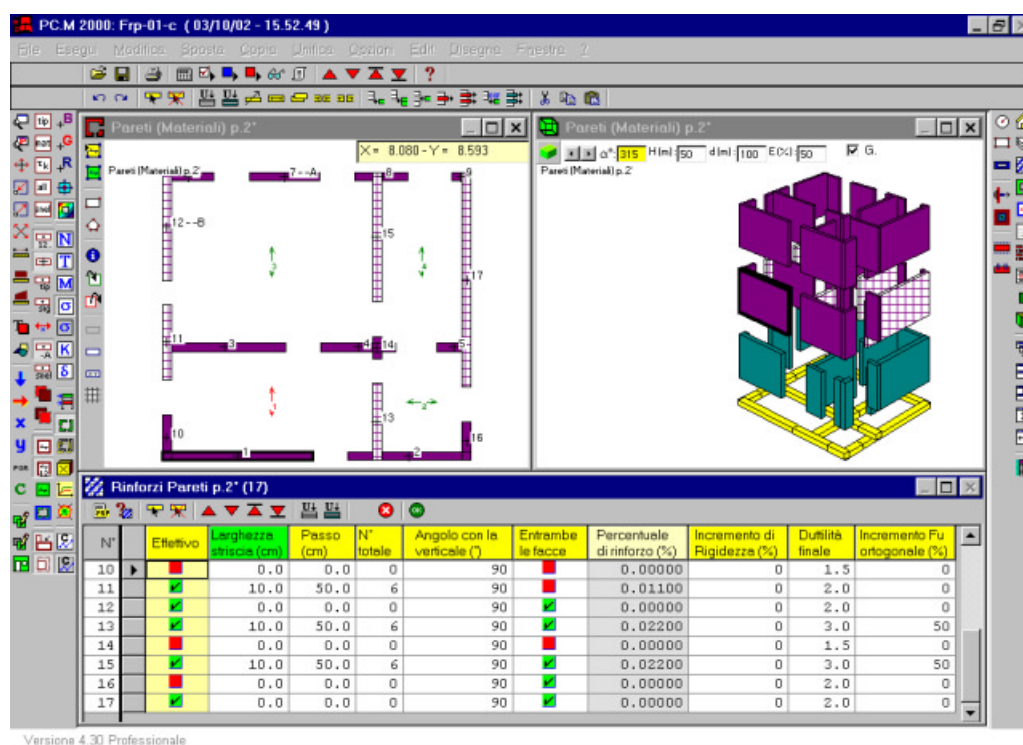


Fig. 5. Esempio applicativo: intonaco armato sulle pareti interne lungo Y del piano 2.

Come seconda ipotesi (Frp-01-c, fig. 6) si considera l'applicazione di rinforzi in laminati di FRP sulle pareti del piano 2 lungo Y. Per le pareti 13 e 15, interne, il rinforzo è su due facce; per le pareti 11, 12 e 17 dei prospetti, solo sulla faccia interna. Si predispongono griglie ortogonali di strisce aventi larghezza 10 cm., al passo di 50 cm., in fibra di carbonio. Si assume la duttilità finale pari a 2.0 per il caso di rinforzo su un solo lato, e pari a 3.0 per il caso di entrambi i lati: in quest'ultima situazione, si stima anche un incremento di resistenza in direzione ortogonale pari al 50%.

Il coefficiente sismico conseguito risulta pari a 0.067, ed è determinato dal piano 2 in direzione X.

Interessa qui conoscere l'incremento di resistenza in direzione Y: al piano 2 il coefficiente sale da 0.056 (Frp-01-a) a 0.073.



**Fig. 6.** Esempio applicativo: rinforzi in FRP sulle pareti lungo Y del piano 2.

Si osservi che nella grafica di PC.M, le pareti oggetto di rinforzo con barre in acciaio o laminati in FRP vengono rappresentate con retino avente lo stesso colore corrispondente al materiale murario.

I risultati conseguiti con i rinforzi in FRP sono quindi dello stesso ordine dell'intonaco armato. Dal punto di vista economico, il notevole costo dei materiali fibrosi può essere compensato dalla maggiore semplicità delle operazioni di cantiere rispetto alle tecniche tradizionali; tenendo conto anche di altri aspetti (fra cui la reversibilità dell'intervento), l'applicazione dei laminati in FRP può effettivamente risultare la soluzione preferibile.

#### H.2.4. BIBLIOGRAFIA

Per ulteriori dettagli sull'utilizzo dei rinforzi in FRP nel consolidamento degli edifici, possono essere consultati i seguenti lavori:

[1] M.R. Valluzzi, D. Tinazzi, C. Modena: Rinforzi di murature con laminati di FRP, "Costruire in Laterizio" n°88, Luglio/Agosto 2002.

In questo articolo sono trattate prove sperimentali di laboratorio (compressione diagonale) su pannelli in mattoni pieni e malta cementizia, variamente rinforzati. Sono inoltre riportate alcune osservazioni fondamentali riguardanti la valutazione sulla resistenza conseguita.

[2] A. Borri, M. Corradi, A. Vignoli: Risultati di sperimentazioni eseguite su edifici interessati dal sisma umbro-marchigiano del 1997-98, "L'Edilizia", n°5/6, Maggio/Giugno 2000.

Questo articolo tratta un'importante campagna sperimentale svolta su edifici interessati dal sisma umbro-marchigiano del 1997-98. Sono anche riportati confronti fra iniezioni cementizie e rinforzi in FRP.

[3] TEC.INN. srl, Ing. G. Celestini: Compositi FRP - Linee Guida per il rinforzo strutturale ed alcuni esempi di applicazioni di recupero e rinforzo di strutture, in particolare quelle storico-artistico-monumentali.

Quest'importante opera della Tec.Inn. riporta l'esperienza pratica della Ditta. Numerose e approfondite osservazioni relative a interventi realmente eseguiti consentono il corretto approccio all'uso di questa nuova tecnologia. Una presentazione dell'opera è reperibile anche direttamente in PC.M, nella finestra Rinforzi Pareti.

[4] N. Avramidou: I materiali compositi nel rinforzo strutturale: I tessuti strutturali nel rinforzo antisismico di pareti in muratura, "Bollettino Ingegneri" n° 7/8-2000.

[5] A. Khalifa, W.J. Gold, A. Nanni, A. Aziz M.I.: Contribution of Externally Bonded FRP to Shear Capacity of Flexural Members, ASCE Journal of Composites for Constructions, Vol.2, n°4, Nov. 1998, pp. 195-203.

Questo lavoro contiene alcune importanti osservazioni sui risultati sperimentali riguardanti la resistenza a taglio di elementi in cemento armato rinforzati con FRP; le formulazioni di base studiate da Triantafillou vengono integrate con la definizione di un limite di deformabilità delle strisce oltre il quale non è più possibile ipotizzare un funzionamento efficace e solidale della struttura originaria con i rinforzi. Altre osservazioni interessanti riguardano l'incremento di resistenza in direzione ortogonale.

[6] N. Galati, J. Gustavo Tumialan, A. Nanni, A. La Tegola: Influence of Arching Mechanism in Masonry Walls Strengthened with FRP Laminates, ICCI 2002, San Francisco, CA, June 10-12, 2002.

In questo lavoro vengono studiati i meccanismi di resistenza delle pareti murarie per carichi in direzione ortogonale al piano medio.

[7] C. Modena: Muratura Ordinaria e Muratura Armata, Atti del Convegno: Edifici in Muratura in Zona Sismica: Interventi di Rafforzamento e Ricostruzione, Perugia, 27.11.1997.

[8] J. G. Tumialan, A. Morbin, A. Nanni, C. Modena: Shear Strengthening of Masonry Walls with FRP Composites, COMPOSITES 2001 Convention and Trade Show, Composites Fabricators Association, Tampa, FL, October 3-6, 2001.

### H.3. PARETI ARMATE

PC.M prevede l'uso di strutture armate nei seguenti casi:

1. edifici in muratura ordinaria con alcuni elementi in c.a. inseriti in un piano in muratura (p.es. telai interni e muratura perimetrale);
2. edifici in muratura ordinaria con un piano in sopraelevazione interamente in c.a. (p.es. realizzato con pilastri);
3. edifici in muratura ordinaria con un piano (semi)interrato interamente in c.a., come frequentemente accade nelle nuove costruzioni;
4. edifici in muratura armata con un piano (semi)interrato interamente in c.a.;
5. edifici interamente in muratura armata;
6. edifici interamente in cemento armato: l'impostazione di PC.M può trattare correttamente i casi degli edifici a pannelli portanti (per gli edifici intelaiati in c.a. occorrono idonee metodologie agli elementi finiti).

Per ognuno di questi 6 casi, PC.M contiene un esempio installato in Pcm\Es-Apprendi, denominato rispettivamente:

1. Ord\_Pilastri
2. Ord\_Ca
3. Ca\_Ord
4. Ca\_MArm
5. Tutto\_MArm
6. Tutto\_Ca

Inoltre, un dettagliato esempio di calcolo di un edificio a pannelli portanti in c.a. è riportato in Pcm\Es-Progetti: questo esempio è denominato: Pann.

Con la versione 4.3 di PC.M, la casistica degli edifici con elementi armati è stata reimpostata mediante una più opportuna codifica.

Alcune modifiche interessano i **Parametri di Calcolo**: nella scheda 'Armature - FRP', riportata in fig. 2, si trovano le seguenti cornici:

\* **Muratura Armata - Pannelli portanti in c.a.**: consente la specifica dell'armatura di default per pareti armate, sia in muratura sia in calcestruzzo. Per la muratura armata, un'apposita opzione indica se vi è presenza di armatura aggiuntiva.

\* **Strutture miste: Piani in c.a. / acciaio**: è possibile scegliere una delle seguenti due opzioni (l'una alternativa all'altra):

☉ Applicare alla Forza Sismica del piano in c.a./acciaio gli stessi coefficienti di struttura [ $\beta_1$  e  $\beta_2$ ] dei piani in Muratura

☉ Applicare alla Forza Sismica del piano in c.a./acciaio il coefficiente di struttura  $\beta = 1$  (o 1.2 nel caso di presenza di irrigidimenti, o 1.4 nel caso di piano in Pannelli Portanti)

Secondo alcuni Autori, nel caso di piani in c.a. inseriti in edifici in muratura, il coefficiente di struttura deve comunque essere quello applicato alla muratura; un'altra interpretazione potrebbe essere quella di attribuire ad ogni piano il coefficiente di struttura corrispondente alla tipologia di quel piano (e quindi, per il c.a., i valori 1, 1.2 o 1.4, e non: 4 o 2). Con questa nuova opzione, l'Utente può scegliere l'impostazione di calcolo preferita.

Fino alla versione 4.2 di PC.M, la presenza di **piani in c.a. in edifici in muratura** era trattata con riferimento allo Stato Limite di Verifica del metodo Por; in pratica, la forza di Normativa veniva ripartita sugli elementi in c.a. senza ulteriori elaborazioni di calcolo.

A partire dalla versione 4.3, la verifica di un piano in c.a. è sempre ricondotta alla Verifica a Taglio e a Pressoflessione di piani con pareti armate, similmente alla Muratura Armata. Mentre quindi risultati tipo Por sono disponibili per la parte muraria, invece per i piani in c.a. o in muratura armata si deve selezionare, sia come tipi di disegno che come relazioni di calcolo, l'**Analisi Sismica Pareti Armate**.

Qualora nel sistema in uso sia abilitato anche il software CSE © AEDES per il Calcolo Sezioni, l'elaborazione di PC.M produce anche, piano per piano, i files necessari per la verifica delle sezioni in cemento armato in CSE, in modo da completare l'analisi delle strutture; questi files vengono direttamente collocati in Pcs\Cse\Progetti.

### H.3.1. TIPI DI STRUTTURE MISTE

Si esaminano ora più in dettaglio gli esempi di apprendimento riferiti ai 6 casi fondamentali che possono presentarsi nel calcolo delle strutture a pareti portanti.

#### 1. Ord\_Pilastri:

Si tratta di un edificio nuovo in muratura con telaio interno in c.a. I pilastri vengono fatti collaborare all'azione sismica. Le forze sismiche sono quelle dell'edificio in muratura (calcolate, in questo caso di edificio nuovo, con  $\beta_1=2$  e  $\beta_2=4$ ); per i pilastri, PC.M produce direttamente un file per ogni piano contenente le sezioni in c.a. di quel piano sottoposte alle sollecitazioni calcolate, sollecitazioni rileggibili anche nei risultati a taglio globale dell'edificio, dove gli elementi in c.a. sono evidenziati con il carattere **c**. Ad esempio, si riporta un estratto dei risultati del Metodo Por per il piano 1, in direzione Y (il pilastro 17 ha sezione 30 x 50 ed è orientato secondo Y), allo Stato Limite Elastico (Combinazione di Carico 1):

#### - STATO LIMITE ELASTICO

\* Forza Reattiva e Rigidezza di piano

Forza reattiva Fr (kg)	Rigidezza globale (kg/cm)	Spostamento del baricentro G (mm)
52231	2443170	0.23

\* Forze e Coefficienti di Sicurezza

Forza reattiva Fr (kg)	Forza sismica Fs (kg)	Coeff. di sicurezza Fr / Fs	Coeff. calcolato	Coeff. Normativa
52231	48511	1.076	0.150	0.140

\* Valori relativi alle pareti

N.	Forza reattiva F (kg)	Rigidezza K (kg/cm)	Spost. d (mm)	Rapp. d/d,0	Sforzo Normale N (kg)	Momento M (kg*m)	Tipo di les.	Schema
1	0	0	0.00	0.00	7396	0	0	0
2	0	0	0.00	0.00	17329	0	0	0
3	0	0	0.00	0.00	11408	0	0	0
4	0	0	0.00	0.00	30949	0	0	0
5	0	0	0.00	0.00	10185	0	0	0
6	0	0	0.00	0.00	5127	0	0	0
7	0	0	0.00	0.00	21902	0	0	0
8	0	0	0.00	0.00	26389	0	0	0
9	0	0	0.00	0.00	23810	0	0	0
10	0	0	0.00	0.00	36410	0	0	0
11	1671	58920	0.28	0.22	35684	2255	80	0
12	8792	310071	0.28	1.00	16310	11869	80	0
13	3757	132500	0.28	0.69	9388	5072	80	0
14	1841	66767	0.28	0.43	8399	2485	80	0
15	4247	154037	0.28	0.71	10991	5733	80	0
16	889	38240	0.23	0.21	12942	1200	80	0
<b>c</b> 17	1213	52199	0.23	0.10	66127	1638	80	0
18	20433	1117124	0.18	0.82	56592	27585	80	0
19	3021	165153	0.18	0.47	12195	4078	80	0
20	6368	348160	0.18	0.72	14498	8597	80	0
21	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0
22	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0

Il pilastro 17, avente sezione 30 x 50, può essere verificato a pressoflessione con il momento flettente  $M=1638$  kgm e lo sforzo normale  $N=66127$  kg. Anche se è stato utilizzato il coefficiente di struttura valido per l'edificio in muratura ( $\beta = 2$ ), il pilastro può cautelativamente essere verificato alle Tensioni Ammissibili. Se nel sistema in

uso è disponibile il software CSE © AEDES, la verifica può essere eseguita direttamente con il file prodotto da PC.M e collocato in Pcs\Cse\Progetti.

## 2. Ord\_Ca:

Si tratta di un edificio esistente in muratura con sopraelevazione in c.a.

Ogni pannello in c.a. viene armato con l'armatura di default, 2d16, copriferro 5 cm., come specificato nei Parametri di Calcolo (scheda Armature-FRP).

Le forze sismiche che si ottengono sono le seguenti (per il piano in c.a. in sopraelevazione, si ha l'incremento del 50% della forza sismica):

EDIFICIO IN MURATURA ORDINARIA con uno o più piani in c.a./acciaio

\* Valori affetti dai coefficienti di Comb. agli Stati Limite  
(Forze Sismiche da considerare per i piani in muratura),  
calcolati per:  $C \cdot R \cdot \epsilon \cdot (\beta_{1,1}) \cdot (\beta_{1,2}) \cdot I = 0.280$   
dove:  $(\beta_{1,1}) = 2 - (\beta_{1,2}) = 2$   
Per i piani integralmente in c.a. e/o acciaio, inseriti  
in un edificio in muratura ordinaria (struttura mista), i coefficienti  $(\beta_{1,1})$  e  $(\beta_{1,2})$   
vengono sostituiti: da  $(\beta_{1,1}) = 1.4$  se tutti gli elementi resistenti sono pareti in c.a.;  
da  $(\beta_{1,1}) = 1.2$  se esiste almeno un pilastro in c.a. o acciaio.  
Per i piani in c.a. e/o acciaio costruiti in sopraelevazione,  
la forza sismica viene incrementata del 50%.

N.	W (kg)	W,tot	Gamma (kg)	F (kg)	F,tot (kg)	Torc,agg (t*m)	Ec,a (cm)	Hp,f (cm)	H,qr (cm)
1	155742	266179	0.707	30820	53768	0	0	300	300
2	110437	110437	1.414	22948	22948	0	0	600	600

\* Valori NON affetti dai coefficienti di Comb. agli Stati Limite  
(Forze Sismiche da considerare per i piani in c.a./acciaio,  
per i quali pilastri e pareti sono verificati alle Tensioni Ammissibili),  
calcolati per:  $C \cdot R \cdot \epsilon \cdot (\beta_{1,1}) \cdot (\beta_{1,2}) \cdot I = 0.280$   
dove:  $(\beta_{1,1}) = 2 - (\beta_{1,2}) = 2$   
Per i piani integralmente in c.a. e/o acciaio, inseriti  
in un edificio in muratura ordinaria (struttura mista), i coefficienti  $(\beta_{1,1})$  e  $(\beta_{1,2})$   
vengono sostituiti: da  $(\beta_{1,1}) = 1.4$  se tutti gli elementi resistenti sono pareti in c.a.;  
da  $(\beta_{1,1}) = 1.2$  se esiste almeno un pilastro in c.a. o acciaio.  
Per i piani in c.a. e/o acciaio costruiti in sopraelevazione,  
la forza sismica viene incrementata del 50%.

N.	W (kg)	W,tot	Gamma (kg)	F (kg)	F,tot (kg)	Torc,agg (t*m)	Ec,a (cm)	Hp,f (cm)	H,qr (cm)
1	155742	267547	0.705	30755	53938	0	0	300	300
2	111805	111805	1.411	23183	23183	0	0	600	600

Nel Rapporto di Elaborazione, vengono riportate le verifiche sismiche relative al piano in muratura ordinaria, condotte secondo la Circ. '81 o il D.M. 20.11.87, a seconda della scelta effettuata nei Parametri di Calcolo; inoltre, sono segnalate anche le Verifiche a Pressoflessione e a Taglio per strutture con Pareti Armate, relativamente al piano in c.a. Per tale piano, viene anche prodotto il file per le verifiche delle sezioni in c.a. in CSE: questo file viene collocato direttamente in Pcs\Cse\Progetti.

## 3. Ca\_Ord:

Si tratta di un edificio nuovo con seminterrato in c.a. e piano in elevazione in muratura ordinaria.

Ogni pannello in c.a. viene armato con l'armatura di default, 2d16, copriferro 5 cm., come specificato nei Parametri di Calcolo (scheda Armature-FRP).

Le forze sismiche che si ottengono sono le seguenti:

EDIFICIO IN MURATURA ORDINARIA con uno o più piani in c.a./acciaio

\* Valori affetti dai coefficienti di Comb. agli Stati Limite  
(Forze Sismiche da considerare per i piani in muratura),  
calcolati per:  $C \cdot R \cdot \epsilon \cdot (\beta_{1,1}) \cdot (\beta_{1,2}) \cdot I = 0.140$



dove:  $(\beta_{1,1}) = 2 - (\beta_{1,2}) = 1$   
 Per i piani integralmente in c.a. e/o acciaio, inseriti  
 in un edificio in muratura ordinaria (struttura mista), i coefficienti  $(\beta_{1,1})$  e  $(\beta_{1,2})$   
 vengono sostituiti: da  $(\beta_{1,1}) = 1.4$  se tutti gli elementi resistenti sono pareti in c.a.;  
 da  $(\beta_{1,1}) = 1.2$  se esiste almeno un pilastro in c.a. o acciaio.  
 Per i piani in c.a. e/o acciaio costruiti in sopraelevazione,  
 la forza sismica viene incrementata del 50%.

N.	W (kg)	W,tot	Gamma (kg)	F (kg)	F,tot (kg)	Torc,agg (t*m)	Ec,a (cm)	Hp,f (cm)	H,qr (cm)
1	156057	252345	0.724	11070	30584	0	0	300	300
2	96288	96288	1.448	19514	19514	0	0	600	600

\* Valori NON affetti dai coefficienti di Comb. agli Stati Limite  
 (Forze Sismiche da considerare per i piani in c.a./acciaio,  
 per i quali pilastri e pareti sono verificati alle Tensioni Ammissibili),  
 calcolati per:  $C \cdot R \cdot \epsilon \cdot (\beta_{1,1}) \cdot (\beta_{1,2}) \cdot I = 0.140$   
 dove:  $(\beta_{1,1}) = 2 - (\beta_{1,2}) = 1$   
 Per i piani integralmente in c.a. e/o acciaio, inseriti  
 in un edificio in muratura ordinaria (struttura mista), i coefficienti  $(\beta_{1,1})$  e  $(\beta_{1,2})$   
 vengono sostituiti: da  $(\beta_{1,1}) = 1.4$  se tutti gli elementi resistenti sono pareti in c.a.;  
 da  $(\beta_{1,1}) = 1.2$  se esiste almeno un pilastro in c.a. o acciaio.  
 Per i piani in c.a. e/o acciaio costruiti in sopraelevazione,  
 la forza sismica viene incrementata del 50%.

N.	W (kg)	W,tot	Gamma (kg)	F (kg)	F,tot (kg)	Torc,agg (t*m)	Ec,a (cm)	Hp,f (cm)	H,qr (cm)
1	156057	253713	0.722	11043	30787	0	0	300	300
2	97656	97656	1.444	19744	19744	0	0	600	600

Nel Rapporto di Elaborazione, vengono riportate le verifiche sismiche relative al piano in muratura ordinaria, condotte secondo la Circ. '81 o il D.M. 20.11.87, a seconda della scelta effettuata nei Parametri di Calcolo; inoltre, sono segnalate anche le Verifiche a Pressoflessione e a Taglio per strutture con Pareti Armate, relativamente al piano in c.a. Per tale piano, viene anche prodotto il file per le verifiche delle sezioni in c.a. in CSE: questo file viene collocato direttamente in `Pcs\Cse\Progetti`.

#### 4. Ca\_MArm:

Si tratta di un edificio nuovo con seminterrato in c.a. e piano in elevazione in muratura armata. Ogni pannello in c.a. viene armato con 3d14, copriferro 5 cm., specificato direttamente nei Dati Pareti del piano 1 (trattandosi di armatura diversa da quella di default). Le pareti in muratura armata, invece, sono armate ciascuna con l'armatura di default, di 2d16, copriferro 5 cm., come specificato nei Parametri di Calcolo (scheda Armature-FRP).

Le forze sismiche che si ottengono sono le seguenti:

\* Valori NON affetti dai coefficienti di Comb. agli Stati Limite  
 calcolati per:  $C \cdot R \cdot \epsilon \cdot (\beta_{1,1}) \cdot (\beta_{1,2}) \cdot I = 0.105$   
 dove:  $(\beta_{1,1}) = 1.5 - (\beta_{1,2}) = 1$   
 Per i piani integralmente in c.a. e/o acciaio, inseriti  
 in un edificio in muratura ordinaria (struttura mista), i coefficienti  $(\beta_{1,1})$  e  $(\beta_{1,2})$   
 vengono sostituiti: da  $(\beta_{1,1}) = 1.4$  se tutti gli elementi resistenti sono pareti in c.a.;  
 da  $(\beta_{1,1}) = 1.2$  se esiste almeno un pilastro in c.a. o acciaio.  
 Per i piani in c.a. e/o acciaio costruiti in sopraelevazione,  
 la forza sismica viene incrementata del 50%.

N.	W (kg)	W,tot	Gamma (kg)	F (kg)	F,tot (kg)	Torc,agg (t*m)	Ec,a (cm)	Hp,f (cm)	H,qr (cm)
1	156057	253713	0.722	11043	25851	0	0	300	300
2	97656	97656	1.444	14808	14808	0	0	600	600

Il piano 2 ha un coefficiente di struttura  $\beta = 1.5$ , valore per la muratura armata in assenza di armatura diffusa aggiuntiva; il piano 1 ha un coefficiente  $\beta = 1.4$  (piano a pannelli portanti in c.a.).

Relativamente al piano in c.a., viene anche prodotto il file per le verifiche delle sezioni in c.a. in CSE: questo file viene collocato direttamente in `Pcs\Cse\Progetti`.

### 5. Tutto\_MArm:

Si tratta di un edificio in muratura armata, costituito interamente da pareti in muratura armata.

Ogni parete è armata per default con 2d16, copriferro 5 cm., come specificato nei Parametri di Calcolo (scheda Armature-FRP).

Le forze sismiche sono calcolate con  $\beta = 1.5$  (assenza di armatura diffusa aggiuntiva).

La verifica a pressoflessione viene eseguita automaticamente da PC.M.

Per formare la Relazione di Calcolo, si dovranno considerare sia la Verifica delle Fondazioni, sia le Verifiche a Pressoflessione e a Taglio per le strutture con Pareti Armate.

### 6. Tutto\_Ca:

Si tratta di un edificio a pannelli portanti, costituito interamente da pareti piene in c.a.

Ogni pannello è armato per default con 3d14, copriferro 5 cm., come specificato nei Parametri di Calcolo (scheda Armature-FRP).

Le forze sismiche sono calcolate con  $\beta = 1.4$  (valore corrispondente agli edifici a pannelli portanti in c.a.).

La verifica a pressoflessione di ogni parete è eseguita automaticamente da PC.M nell'ipotesi dell'armatura specificata; tuttavia, PC.M produce anche i files per CSE in modo da poter più in dettaglio analizzare lo stato di tensione delle sezioni in c.a.

Per formare la Relazione di Calcolo, si dovranno considerare sia la Verifica delle Fondazioni, sia le Verifiche a Pressoflessione e a Taglio per le strutture con Pareti Armate.

## H.3.2. ANALISI DEGLI EDIFICI A PARETI PORTANTI

Edifici a **setti portanti** costruiti in opera possono essere realizzati sia in Muratura Armata, sia in Calcestruzzo Armato (D.M. 16.1.1996, punto C.1.); in PC.M gli edifici a pareti portanti in conglomerato cementizio armato sono denominati per semplicità: edifici a Pannelli Portanti.

### Muratura Armata

Gli edifici in Muratura Armata in zona sismica sono regolati dal punto C.5.3. del D.M. 16.1.1996.

La muratura semplice, specialmente se sottoposta a sollecitazioni cicliche, presenta un comportamento sostanzialmente fragile e scarsa resistenza a trazione: l'inserimento di armature metalliche aumenta sia la duttilità sia la resistenza a taglio e a flessione delle pareti murarie. Le armature vengono accoppiate alla muratura seguendo i criteri usualmente adottati per le strutture in cemento armato, ossia affidando all'acciaio gli sforzi di trazione che la muratura non è in grado di sostenere.

Per la valutazione delle forze sismiche viene fatto riferimento (C.5.3.5.) al coefficiente di struttura  $\beta = 1.5$ , riducibile ad 1.4 qualora sia prevista l'armatura diffusa aggiuntiva, di cui al punto C.5.3.3.4.

### Pannelli Portanti

Gli edifici a Pannelli Portanti in zona sismica sono regolati dal punto C.7. del D.M. 16.1.1996. Nel presente contesto, viene fatto riferimento in particolare agli edifici in conglomerato cementizio armato o parzialmente armato costruito in opera.

Lo schema strutturale deve contenere pareti di irrigidimento in c.a. disposte secondo due direzioni orizzontali ortogonali.

Per la valutazione delle forze sismiche, viene fatto riferimento (C.7.2.) al coefficiente di struttura  $\beta = 1.4$ . Nel caso siano presenti pilastri in c.a. con funzione di controvento (appartenenti quindi a telai sismoresistenti), è possibile ridurre tale coefficiente al valore 1.2 (telai in presenza di pareti irrigidenti).

### Criteri di calcolo

Determinate le forze sismiche agenti sull'edificio, ad ogni piano si ottiene un tagliante sismico che deve essere ripartito fra le pareti tenendo conto della direzione e della posizione del punto di applicazione (il baricentro) rispetto al centro delle rigidezze, valutando così eventuali azioni torcenti derivanti dall'eccentricità del carico

orizzontale.

La verifica sismica deve essere condotta secondo due direzioni ortogonali di riferimento (le due direzioni principali di sviluppo delle strutture portanti dell'edificio).

Per il calcolo, si adottano le seguenti ipotesi:

- a) l'impalcato è considerato infinitamente rigido nel proprio piano (ossia indeformabili) e trasmette l'azione sismica alle pareti ad esso collegate proporzionalmente alle rigidezze alla traslazione;
- b) la rigidezza di ogni parete dipende dallo schema statico assunto: i) a mensola accoppiate: le pareti sono viste come mensole a tutta altezza d'edificio, tra loro collaboranti; nel calcolo della rigidezza deve quindi essere considerata l'altezza a partire dalla fondazione; ii) a mensola vincolate: ad ogni piano il vincolamento alla base e in sommità (generalmente, il doppio incastro) determina un'altezza di irrigidimento pari all'interpiano;
- c) i momenti flettenti sono: i) crescenti verso il basso, dalla sommità dell'edificio alle fondazioni, nel caso delle 'mensole accoppiate': il momento globale che interessa un piano, determinato dall'azione ribaltante di tutte le forze sismiche agenti sopra al piano, viene ripartito fra le pareti del piano analogamente al tagliante; ii) valutati piano per piano, nel caso di vincolamento superiore e inferiore, e più esattamente vengono determinati direttamente dalla forza orizzontale (derivante dalla ripartizione) agente sulla singola parete; ad esempio, nel caso di doppio incastro, il momento agente sulla parete è pari a:  $M = F h / 2$ , essendo  $h$  l'altezza di interpiano. Ad un dato piano, ogni parete viene quindi ad essere soggetta a taglio, momento flettente e sforzo normale (quest'ultimo derivante dall'analisi dei carichi verticali e supposto costante in fase sismica).

Le Verifiche a PressoFlessione prevedono la possibilità di parzializzazione delle sezioni trasversali delle pareti, con definizione di una zona reagente a compressione (dove si controlla il massimo valore della tensione nella muratura o nel calcestruzzo) e di una zona tesa dove le armature sono soggette a trazione. Gli algoritmi di calcolo utilizzati sono quelli tradizionali del cemento armato; nel caso degli edifici in muratura armata, saranno ovviamente adottate le caratteristiche meccaniche e fisiche della muratura anziché del calcestruzzo.

Le Verifiche a Taglio possono essere svolte considerando la tensione tangenziale media prodotta dalla forza orizzontale agente sulla sezione trasversale, e confrontandola con il valore ammissibile a taglio; per la muratura, quest'ultimo viene determinato a partire dalla tensione media verticale secondo le formulazioni del D.M.

20.11.1987.

Per gli edifici in muratura armata, per la definizione delle tensioni ammissibili a compressione e a taglio da adottare per la muratura nell'ambito delle verifiche sismiche, è consentito raddoppiare i valori previsti dal D.M. 20.11.1987.

Si illustra ora sinteticamente la **metodologia di ripartizione del tagliante sismico**.

La rigidezza alla traslazione di una parete è data dalle due componenti tagliente e flessionale:

$K = 1/\delta$ , dove:  $\delta = (h^3 / nEJ) + (\chi h / GA)$  essendo:

$h$  = altezza di irrigidimento;  $n = 3$  per schema statico di mensola, 12 per doppio incastro;  $E, G$  = moduli di elasticità;  $\chi$  = fattore di taglio (normalmente assunto pari a 1.2, trattandosi di sezioni rettangolari);  $A, J$  = area e momento d'inerzia della sezione trasversale della parete. Il momento d'inerzia dipende ovviamente dall'asse rispetto al quale viene calcolato; per una sezione di dimensioni  $b$  (=lunghezza) e  $t$  (=spessore), nel piano della parete:  $J_{max} = t b^3 / 12$ ;  $J_{min} = b t^3 / 12$  nella direzione ortogonale. Essendo generalmente  $J_{max} \gg J_{min}$ , la 'rigidezza trasversale' della parete può essere trascurata.

Il centro delle rigidezze è definito da:  $x_R = \Sigma (K_{y_i} x_i) / \Sigma (K_{y_i})$ ,  $y_R = \Sigma (K_{x_i} y_i) / \Sigma (K_{x_i})$

dove  $K_{y_i}$  è la rigidezza della  $i$ -esima parete orientata secondo  $Y$ ;  $K_{x_i}$  della  $i$ -esima parete orientata secondo  $X$ .

Per fissare le idee, si supponga che la forza sismica  $F$  agisca in direzione  $Y$ .

L'eccentricità fra baricentro e centro delle rigidezze:  $e_X = x_G - x_R$  produce il momento torcente:  $M = F e_X$ ; la ripartizione dell'azione sismica conduce quindi alla seguente forza agente sulla parete parallela all'asse  $Y$ :

$$F * K_{y_i} / \Sigma K_{y_i} + F e_X * K_{y_i} * x_i / \Sigma (K_{x_i} y_i^2 + K_{y_i} x_i^2)$$

Per gli **edifici a pannelli portanti**, la valutazione della **Rigidezza alla traslazione di pareti forate** (pareti cioè aventi in pianta sezioni caratterizzate da un'apertura intermedia, corrispondente a forature praticate nel piano verticale lungo la parete) può essere eseguita tenendo conto dell'influenza dei traversi nel collegamento fra le due parti (i due montanti) della parete stessa. Viene seguito il criterio di equivalenza riportato in: C.Ceccoli, M.Merli: "Alti edifici: lo studio semplificato dello stato di deformazione della parete irrigidente con fori - Definizione di trave equivalente", in: Giornale del Genio Civile n.10-11-12, 1978. In base a tale criterio, l'inerzia della sezione va dal valore massimo corrispondente al caso di traversi infinitamente rigidi (traversi alti) a valori minimi

corrispondenti a traversi flessibili (fino a tendere ad uguagliare la somma delle singole inerzie dei montanti). Qualora nella definizione del pannello sia stata scelta questa opzione, in PC.M il coefficiente correttivo per il calcolo della rigidezza viene applicato ai moduli di elasticità E e G che assumeranno quindi valori di calcolo distinti dai consueti valori corrispondenti al calcestruzzo armato.

### Verifiche a Taglio

Nelle Verifiche a Taglio, la forza sismica competente alla parete (derivante dalla ripartizione del tagliante di piano in base alle rigidezze) viene applicata sulla sezione trasversale, ai fini del calcolo della tensione tangenziale media; la verifica viene eseguita esclusivamente per pareti a sezione rettangolare: nel caso di altre sezioni (ad es.: pannelli cavi), PC.M si limita a fornire le sollecitazioni agenti sulla parete.

Per quanto riguarda la Muratura Armata, la tensione di calcolo viene confrontata con il valore ammissibile a taglio, determinato a partire dalla tensione media verticale secondo le formulazioni del D.M. 20.11.1987:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_n$$

dove:  $f_{vko}$  = resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali;  $\sigma_n$  = tensione media di compressione dovuta al carico verticale (data dallo sforzo normale diviso l'area reagente a compressione);

$$\tau_{amm} = 2 * f_{vk} / 5 = f_{vk} / 2.5$$

In PC.M la verifica a Taglio viene condotta nella sezione scelta nei 'Parametri di Calcolo', scheda 'Analisi Sismica', 'Verifiche a Taglio: Sezione di calcolo': sommità, mezzeria (metà altezza) o base. La tensione media di compressione viene valutata dividendo lo sforzo normale per l'area reagente a compressione. Nei 'Parametri di Calcolo', è possibile che sia stata scelta l'opzione di trascurare la parzializzazione della sezione: in tal caso, l'area reagente viene fatta coincidere a priori con l'intera sezione trasversale.

Per ognuna delle due combinazioni di carico alle tensioni ammissibili analizzate, e per ognuna delle due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, la tabella dei risultati viene articolata nei seguenti parametri:

*come valori di piano:*

- la forza sismica agente sull'organismo resistente;
- la rigidezza globale;
- lo spostamento del baricentro.

*Per quanto riguarda le pareti:*

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**F, M, N** = sollecitazioni di calcolo: forza orizzontale, momento, sforzo normale;

**Area Reagente** = area di sezione trasversale reagente a compressione (definita dal prodotto dell'asse neutro per lo spessore della parete); l'area reagente può essere a priori coincidente con l'intera sezione trasversale qualora nella verifica a taglio si prescindere dalla parzializzazione;

**$\sigma_n$ , med** = tensione media a compressione nella muratura o nel calcestruzzo, calcolata sull'area reagente;

**$\tau$**  = tensione tangenziale calcolata sull'area reagente;

**$\tau_{amm}$**  = valore ammissibile di riferimento per la tensione tangenziale: se la tensione calcolata è ad essa inferiore, la verifica è soddisfatta.

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

### Verifiche a PressoFlessione

Nelle Verifiche a PressoFlessione, i momenti sismici ed i carichi verticali sono utilizzati per verifiche alle tensioni ammissibili nella muratura (o nel calcestruzzo) e nell'acciaio condotte secondo gli algoritmi consueti del cemento armato; per gli edifici in muratura armata viene fatto ovviamente riferimento alle caratteristiche meccaniche e fisiche della muratura anziché del calcestruzzo: in tal caso, il coefficiente di omogeneizzazione sarà quindi pari al rapporto fra modulo di elasticità dell'acciaio ed il corrispondente valore per la muratura (valutato generalmente in base alle relazioni note dal D.M. 20.11.1987:  $E=1000*f_k$ ).

PC.M esegue la verifica di pareti con armature verticali, simmetricamente disposte, con l'ipotesi di acciaio FeB44K controllato (tensione ammissibile = 2600 kg/cmq).

La verifica a PressoFlessione viene eseguita nella sezione di base, esclusivamente per pareti a sezione rettangolare: nel caso di altre sezioni (ad es.: pannelli cavi), PC.M si limita a fornire le sollecitazioni agenti sulla parete.

Per ognuna delle due combinazioni di carico alle tensioni ammissibili analizzate, e per ognuna delle due direzioni - tra loro ortogonali - prescelte per la verifica sismica, vengono riportate le coordinate del baricentro e del centro delle rigidezze; la tabella dei risultati viene poi articolata nei seguenti parametri:

**B** = lunghezza o base della parete;

**s** = spessore della parete;

**H** = altezza della parete;

**Rigid. K** = rigidezza alla traslazione della parete;

**n° d. % coprif.** = armatura, definita da: numero di ferri, diametro dei ferri simmetrici, percentuale di armatura rispetto alla sezione trasversale della parete, copriferro (distanza dell'armatura dal bordo della parete);

**F, M, N** = sollecitazioni di calcolo: forza orizzontale, momento, sforzo normale;

**s,m** (Muratura Armata) - **s,c** (Pannelli Portanti), **s,f** = tensioni nella muratura o calcestruzzo, e nell'acciaio per verifica a PressoFlessione

**s,amm** = valori ammissibili di riferimento per le tensioni nella muratura o nel calcestruzzo, e nell'acciaio;

**x** = posizione dell'asse neutro (individua la lunghezza di zona reagente a compressione).

Un asterisco \* alla sinistra del numero della Condizione di Carico indica che la corrispondente verifica non è soddisfatta.

### H.3.3. EDIFICI A PANNELLI PORTANTI IN C.A.

Il D.M. 16.1.1996 dedica il paragrafo C.7. agli "Edifici con struttura a pannelli portanti". Secondo le indicazioni ivi contenute, lo schema strutturale dell'edificio deve contenere pareti di irrigidimento secondo due direzioni orizzontali ortogonali; i procedimenti di verifica sismica vengono di norma eseguiti con le modalità previste nel punto C.6., ed in particolare le azioni orizzontali devono essere valutate e distribuite come indicato al punto C.6.1.1., assegnando al coefficiente di struttura il valore  $\beta = 1.4$  e al coefficiente di risposta il valore  $R = 1$ : la forza orizzontale  $F_i$  agente al piano  $i$ -esimo, secondo una prefissata direzione, si ottiene dalla relazione:  $F_i = K_{hi} W_i$ , dove:  $K_{hi} = C R \epsilon \beta \gamma_i I$ ,  $W_i = G_i + s Q_i$ ,  $\gamma_i = h_i (\sum W_j) / (\sum W_j h_j)$  con  $j=1, \dots, N$  essendo  $h_i$  la quota del piano  $i$ -esimo rispetto allo spiccatto delle fondazioni.

Come affermato in opere specialistiche [1], per l'analisi strutturale di edifici con elementi resistenti verticali costituiti da pareti di taglio, la rigidità nel loro piano degli impalcati orizzontali consente la ripartizione delle forze orizzontali fra le varie pareti in proporzione alle rispettive rigidezze. Gli elementi orizzontali - solai, solette o piastre - non esercitano di fatto che un trascurabile vincolo flessionale, e pertanto ogni parete presenta il comportamento di una mensola soggetta a carichi trasversali ed assiali; in altre parole, i solai fungono da piani rigidi incernierati sulle pareti.

Determinate quindi le forze sismiche lungo l'elevazione dell'edificio, ad ogni piano è noto il tagliante sismico, che deve essere ripartito sulle pareti in proporzione alle rispettive rigidezze.

La rigidezza alla traslazione di una parete è data dalle due componenti tagliante e flessionale:

$K = 1/\delta$ , dove:  $\delta = (h^3 / nEJ) + (\chi h / GA)$  essendo:

$h$  = altezza di irrigidimento;

$n = 3$  per schema statico a mensola;

$E, G$  = moduli di elasticità;

$\chi$  = fattore di taglio (normalmente assunto pari a 1.2, trattandosi di sezioni rettangolari);

$A, J$  = area e momento d'inerzia della sezione trasversale della parete. Il momento d'inerzia dipende ovviamente dall'asse rispetto al quale viene calcolato; ad esempio, per una sezione rettangolare piena di dimensioni  $b$  (=lunghezza) e  $t$  (=spessore), nel piano della parete:  $J_{max} = t b^3 / 12$ ;  $J_{min} = b t^3 / 12$  nella direzione ortogonale. Essendo generalmente  $J_{max} \gg J_{min}$ , la 'rigidezza trasversale' della parete può essere trascurata.

Il centro delle rigidezze è definito da:  $x_R = \sum (K y_i x_i) / \sum (K y_i)$ ,  $y_R = \sum (K x_i y_i) / \sum (K x_i)$

dove  $K_{Y_i}$  è la rigidezza della  $i$ -esima parete orientata secondo  $Y$ ;  $K_{X_i}$  della  $i$ -esima parete orientata secondo  $X$ . Per fissare le idee, si supponga che la forza sismica  $F$  agisca in direzione  $Y$ .

L'eccentricità fra baricentro e centro delle rigidezze:  $e_X = x_G - x_R$  produce il momento torcente:  $M = F e_X$ ; la ripartizione dell'azione sismica conduce quindi alla seguente forza agente sulla parete parallela all'asse  $Y$ :

$$F * K_{Y_i} / \sum K_{Y_i} + F e_X * K_{Y_i} * x_i / \sum (K_{X_i} y_i^2 + K_{Y_i} x_i^2)$$

La forza orizzontale agente nel piano della parete fornisce lo sforzo di Taglio; il Momento Flettente corrispondente allo schema a mensola si ottiene ripartendo fra le pareti, analogamente al tagliante, il momento ribaltante agente al piano considerato, prodotto da tutte le forze sismiche sovrastanti tali piano; per esempio, al piano di base dell'edificio:

$$M_{tot} = \sum F_i h_i$$

Per ogni parete è inoltre noto lo sforzo normale  $N$  derivante dall'analisi dei carichi verticali; per semplicità, si ipotizza che il valore di  $N$  resti invariato in fase sismica.

Ad un dato piano, note le sollecitazioni agenti sulla sezione trasversale della parete, è possibile infine verificare tale parete, utilizzando ad esempio il metodo delle Tensioni Ammissibili, come previsto dalla Normativa vigente, secondo il quale vengono confrontate la massima tensione nel calcestruzzo e la massima tensione nell'acciaio con i corrispondenti valori ammissibili.

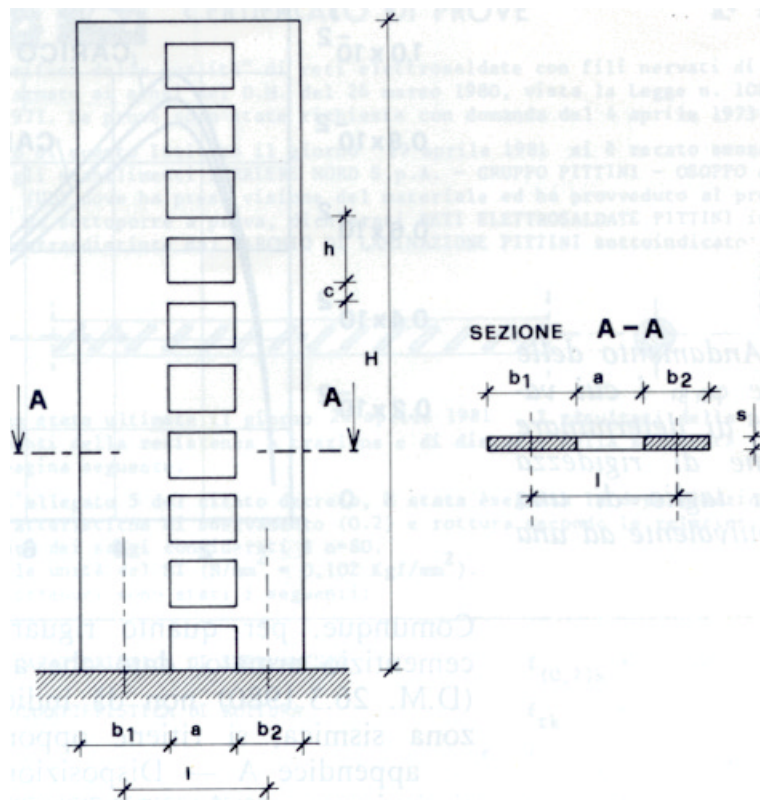


Fig. 7. Analisi di parete forata.

Un'osservazione importante riguarda la suddivisione delle strutture verticali resistenti in pareti tra loro distinte. Negli edifici a pannelli portanti, è frequente il caso di pareti forate per l'esigenza di realizzare ai vari piani aperture di passaggio per corridoi o finestre: nel caso di un pannello forato, la sezione da considerare preferibilmente non deve essere divisa in due sezioni distinte ma va considerata la sezione complessiva del pannello (contenente quindi l'apertura), utilizzando per i parametri di rigidezza valori correttivi che tengano conto della collaborazione che i traversi esercitano fra i due montanti costituenti la parete.

Per considerare questo aspetto nell'algoritmo di calcolo, si può seguire un criterio di equivalenza [2] in base al

quale l'inerzia della sezione va dal valore massimo corrispondente al caso di traversi infinitamente rigidi (traversi alti) a valori minimi corrispondenti a traversi flessibili (fino a tendere ad uguagliare la somma delle singole inerzie dei montanti).

Con riferimento alla mensola forata di fig. 7, tale criterio fornisce le seguenti espressioni:

$$(EJ)_{eq} = EJ_{tot} / (1 - IS/J \phi_1(\beta))$$

$$(GA')_{eq} = 1/2 * EJ_{tot} / (H^2 IS/J \phi_2(\beta))$$

dove:

$J_{tot} = J_1 + J_2$  = somma dei momenti d'inerzia delle sezioni dei montanti; nel caso in figura i montanti sono parti piene, ma per il sistema costruttivo descritto in questo documento possono essere elementi cavi;

$S = 1 A_1 A_2 / (A_1 + A_2)$  = momento statico rispetto al relativo asse baricentrico delle aree delle sezioni dei montanti;

$J = J_{tot} + SI$  = momento d'inerzia della sezione corrispondente all'insieme delle sezioni dei montanti;

$$\beta = \lambda h, \text{ con } \lambda^2 = 12 J_{tr} l / (a^3 h J_{tot}) * J/S$$

con  $J_{tr}$  momento d'inerzia della sezione dei traversi;  $\beta$  assume normalmente valori compresi fra 0 e 20;  $\phi_1(\beta)$  corrispondentemente va da 0.0 a un valore massimo di 1.0;  $\phi_2(\beta)$  ha un massimo (circa  $1.0 * 10^{-2}$ ) per  $\beta$  circa uguale a 3, poi decresce fino a  $0.1 * 10^{-2}$ .

**Trasformazione Sezione Pannello Portante n°1 al piano 1°**

**Trasformazione della sezione del Pannello Portante in:**

- ☐ (0) Sezione Rettangolare
- ☒ (1) Sezione cava
- ☐ (2) Sezione cava con apertura
- ☐ (3) Sezione con apertura, cava / piena
- ☐ (4) Sezione con apertura, piena / cava
- ☐ (5) Sezione piena con apertura

Spessori (cm): s,1 =  s,2 =

Montanti (cm): b,1 =  b,2 =

☒ Esegui il calcolo dei coefficienti correttivi per la Rigidezza alla Traslazione della Parete Forata, caratterizzata, sul piano verticale, dai seguenti parametri:

Altezza Traversi (cm) =

Interasse Traversi (cm) =

Altezza Pannello (cm) =


OK Annulla

**Fig. 8.** Parametri di schematizzazione dei Pannelli portanti.

Per l'analisi strutturale del modello spaziale dell'edificio, PC.M contiene procedure idonee per le strutture a pannelli portanti. In pratica, l'analisi automatica prevede i seguenti passi:

- inserimento geometrico del modello tramite sezioni resistenti rettangolari;

- trasformazione, mediante comandi appositi, delle sezioni rettangolari in pannelli cavi e/o con aperture (sono infatti possibili gli schemi geometrici riportati in fig. 8); in questa fase vengono anche calcolati: sia i coefficienti correttivi per gli schemi dei pannelli con aperture interne, sia il carico permanente aggiuntivo da attribuire alla parete dovuto al peso proprio del traverso (non altrove schematizzato);
- inserimento delle maglie di solaio per l'analisi automatica dei carichi derivanti dai solai; il peso proprio dei pannelli viene automaticamente valutato dal software in base alla reale sezione trasversale di calcestruzzo del pannello stesso;
- inserimento di carichi aggiuntivi su singole pareti per effetto di balconi e gronde;
- specifica dei parametri di calcolo (fra cui, ad esempio:  $\beta = 1.4$ );
- esecuzione del calcolo per due combinazioni di carico significative: totalità del carico verticale (permanente + accidentale) e solo carico permanente;
- restituzione delle sollecitazioni agenti sulle singole pareti (sforzo normale, taglio, momento) per le due combinazioni di carico; per pannelli cavi e/o con aperture il taglio e il momento vengono considerati nei due versi, poiché la non simmetria della sezione può condurre a risultati diversi a seconda del verso del sisma: in tal caso le condizioni di carico da esaminare per la verifica della sezione (vedi punto seguente) sono 4 (+X -X + Y - Y); non sono comunque in genere significative, per un dato pannello, le condizioni sismiche in direzione ortogonale al piano del pannello stesso;
- esportazione dei risultati verso un idoneo software (come ad esempio CSE © AEDES) per la verifica delle tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio.

In fig. 8 è riportata la finestra di dialogo per la **Trasformazione delle sezioni dei Pannelli portanti**, aperta dal comando 'Pannello Portante' del menu Edit della finestra Pareti, o equivalentemente dal pulsante grafico  della Barra degli Strumenti 'Modifica II / Interventi' (a destra).

Lo scopo di questa finestra di dialogo consiste: 1) nel facilitare l'inserimento delle sezioni piene o cave dei pannelli portanti; 2) nello specificare le caratteristiche della parete forata nel piano verticale (fig. 7) in modo da poter applicare le formule correttive dell'area e del momento d'inerzia. L'uso del comando è semplice: introducendo in input nei Dati Pareti una parete rettangolare in c.a., inizialmente quindi composta da 4 vertici, è possibile, attraverso la finestra di dialogo, trasformarla facilmente in un pannello con una o due cavità. Il comando genera automaticamente la poligonale rappresentativa della sezione, e, alla conferma con OK della finestra di dialogo, aggiorna la geometria della struttura.

La stessa finestra di dialogo può comunque essere utile anche nel caso di strutture a pareti piene, ma con aperture in verticale, per la determinazione - come già illustrato - dell'area e del momento d'inerzia equivalenti.

Ricapitolando, per gli edifici a pannelli portanti in c.a. si evidenziano alcune osservazioni fondamentali.

**1) Dal punto di vista delle sezioni trasversali resistenti**, le strutture a pannelli portanti in c.a. possono essere caratterizzate da pareti piene (ad esempio, setti gettati in opera) o anche da pannelli cavi (per esempio, pareti prefabbricate costituite da uno spessore esterno in c.a. e da un riempimento interno in polistirolo o materiale alleggerito).

Un esempio di struttura a pannelli portanti costituita dall'assemblaggio di pannelli prefabbricati cavi è illustrato in dettaglio al paragrafo H.3.4.

**2) Per quanto riguarda lo sviluppo in verticale delle pareti**, sia che si tratti di pannelli a sezione piena sia con cavità, la presenza di aperture può essere gestita NON come divisione netta delle pareti portanti, ma come foratura dei singoli pannelli, i cui limiti geometrici vengono - ad esempio nel caso di strutture assemblate costituite da pannelli prefabbricati - identificati con le giunzioni (sedi di getti in opera) fra pannelli distinti. Tale schematizzazione caratterizza l'esempio applicativo del paragrafo H.3.4.

**3) Infine, riguardo al comportamento strutturale d'insieme**, la differenza sostanziale fra gli algoritmi normalmente applicati agli edifici in muratura e quelli per gli edifici a pannelli portanti consiste nei seguenti punti:



**3a)** non si utilizzano procedimenti di calcolo incrementali tipo Por, ma si opera ripartendo le forze sismiche di Normativa in base alle rigidezze, per una successiva verifica delle singole pareti in c.a. sottoposte al taglio così calcolato, al momento flettente corrispondente e allo sforzo normale che risulta dall'analisi dei carichi;

**3b)** il metodo di calcolo non può procedere con la suddivisione netta 'piano per piano' come avviene per le murature, dove generalmente i momenti flettenti sono calcolati nello schema di doppio incastro (alla base e in sommità, dell'interpiano) ignorando la continuità con i piani sovrastanti e sottostanti. I momenti flettenti generati dalle azioni orizzontali dovranno invece essere in genere calcolati con lo schema di 'Mensole Accoppiate' (attivabile in PC.M nei Parametri di Calcolo, scheda Parametri Vari 1, 'Per Azioni Orizzontali'), ovvero saranno crescenti con continuità dalla sommità dell'edificio fino alla base. (Si osservi che PC.M prevede la possibilità di utilizzare lo schema di 'Mensole Accoppiate' anche per gli edifici in Muratura Armata).

Anche per il calcolo della rigidezza alla traslazione della parete ad un certo piano, dovrà essere considerata non l'altezza di interpiano ma l'altezza totale fino al piano (ad esempio, per l'ultimo piano: l'altezza complessiva dell'edificio).

Poiché in PC.M la schematizzazione dell'edificio avviene piano per piano, per gli edifici a pannelli portanti diviene necessario, per ogni singola parete, conoscere la continuità di tale parete con i piani sottostanti, in modo da calcolare l'altezza dal livello in esame fino alla fondazione della parete stessa.

PC.M riconosce la continuità verticale delle pareti grazie alla '**Sigla**', il campo alfanumerico in input (compreso fra la 'Tipologia' e l'Allineamento'): **pannelli portanti aventi la stessa sigla a diversi piani individuano lo stesso paramento verticale (=mensola)** (si consulti la schematizzazione dell'esempio applicativo del paragrafo H.3.4. per la comprensione esatta del metodo).

In generale, vista la regolarità delle strutture a pannelli portanti in c.a., se l'edificio non è fondato su piani sfalsati, ogni 'mensola' sarà caratterizzata ad un certo piano da un certo numero di parete (in edifici del tutto regolari, il numero è lo stesso fra un piano e l'altro), e **tutte le pareti a tutti i piani che compongono tale mensola avranno la medesima sigla**.

**4)** Relativamente alla **verifica delle sezioni in c.a.** (sezioni trasversali dei pannelli portanti) sottoposte a sforzo normale, taglio e momento flettente, PC.M esegue la verifica tensionale completa per le sezioni rettangolari piene; per le sezioni poligonali (incluse le sezioni dei pannelli cavi, e più in generale tutte le tipologie comprese fra la (1) e la (5) in fig. 8), PC.M si limita a fornire le caratteristiche di sollecitazione: se nel sistema in uso è presente il software CSE © AEDES, PC.M crea anche, piano per piano, un file contenente le sezioni dei pannelli sottoposte alle condizioni di carico derivanti dal calcolo, per consentire la verifica all'interno di CSE, software in grado di analizzare - fra l'altro - la pressoflessione di sezioni qualsiasi.

### H.3.3.1. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Per ulteriori dettagli sull'analisi degli edifici a pannelli portanti, si possono consultare i seguenti testi:

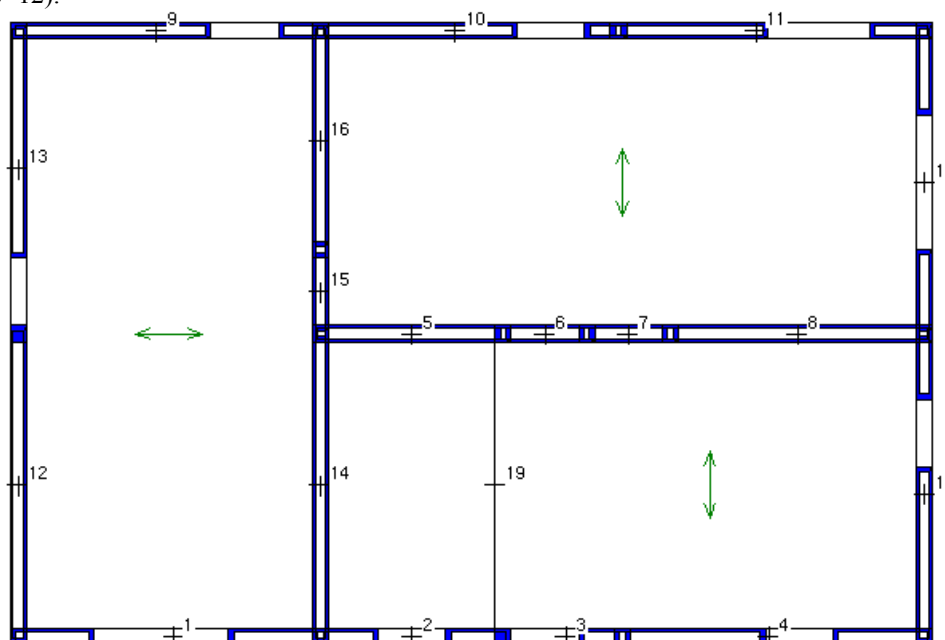
[1] M. Como, G. Lanni: Elementi di costruzioni antisismiche, Edizioni Scientifiche A. Cremonese, Roma.

[2] C.Ceccoli, M.Merli: "Alti edifici: lo studio semplificato dello stato di deformazione della parete irrigidente con fori - Definizione di trave equivalente", in: Giornale del Genio Civile n.10-11-12/1978.

### H.3.4. ESEMPIO DI CALCOLO

In PC.M viene fornito l'esempio di studio e progettazione denominato: **Pann**, direttamente installato in Pcm\Es-Progetti.

Questo esempio si riferisce ad un edificio a pannelli portanti cavi in c.a., a 4 piani, verificato in zona sismica di Ia categoria ( $S=12$ ).



**Fig. 9.** Pianta dell'edificio a pannelli portanti studiato come esempio di progettazione.

A corredo dell'archivio di PC.M sono riportati, nel file compresso **Pann.zip**, i seguenti files:

**Pann-01.bmp**, **Pann-02.bmp** = immagini delle Piante del Seminterrato e del Piano Tipo;

**Pann-03.bmp**, **Pann-04.bmp** = immagini delle Sezioni Verticali ed Orizzontale (particolari del sistema costruttivo);

**Pann\_Relazione\_Generale.doc** = relazione generale sul progetto;

**Pann\_Relazione\_Calcolo.doc** = relazione di calcolo elaborata con i software PC.M e CSE di AEDES 2000.

#### H.4. FONDAZIONI SU PALI

A partire da PC.M versione 4.3, le fondazioni oltre che superficiali possono essere impostate su pali.

A tal fine, sono state distinte le seguenti ‘**Tipologie di fondazione**’, come selezionabile nel corrispondente nuovo campo in input della tabella Dati Fondazioni:

**F** = fondazione superficiale

**S** = fondazione su pali

**P** = palo

**C** = cordolo di fondazione

Nel seguito, viene specificato in dettaglio il significato di ogni tipologia. Si faccia riferimento ai paragrafi successivi per comprendere pienamente le modalità operative, attraverso la consultazione degli esempi forniti in dotazione a PC.M.

**F = fondazione superficiale:** unica tipologia presente per default in PC.M fino alla versione 4.2 inclusa.

Rappresenta una fondazione superficiale diretta, che diffonde cioè il carico proveniente dalla struttura sovrastante direttamente sul terreno.

Come noto, l’elaborazione di calcolo (statica e sismica) fornisce sotto questa fondazione una tensione  $\sigma$  che può essere uniforme (nel caso di schema a ‘Fondazioni Locali’) o corrispondente ad andamento lineare (piano di tensione), nel caso di ipotesi di Fondazione su Piano Rigido, con un massimo e un minimo in corrispondenza di due vertici.

**S = fondazione su pali:** è una fondazione superficiale impostata su pali, e che quindi, attraverso essi, trasmette il carico agli strati profondi del terreno. La fondazione di tipo S rappresenta la testata di collegamento dei pali.

L’elaborazione di calcolo (statica e sismica) fornisce sotto questa fondazione la risultante delle tensioni agenti, ossia lo **sforzo normale**  $N = \int \sigma dA$ . Infatti, non interessa la tensione subito sotto la fondazione, ma il carico che essa trasmette ai pali. **Le fondazioni di tipo S sono quindi gli elementi effettivamente necessari per l’analisi dei pali:** ogni palo (fondazione di tipo P) deve infatti essere riferito, nella definizione della tipologia, all’elemento S che gli trasmette il carico. Nei risultati, quindi, l’elemento P assume semplicemente il carico trasmesso da S, e pertanto non svolge direttamente alcun ruolo durante l’elaborazione di calcolo.

**La definizione degli elementi P è opzionale:** per studiare il caso delle fondazioni su pali è sufficiente definire gli elementi S, che forniscono le risultanti da applicare ai sottostanti pali.

Peraltro, mentre nel caso di pali di normale o grande diametro è ben identificabile (nel senso delle dimensioni geometriche) un elemento S per ciascuno, ciò non avviene nel caso di micropali diffusi: PC.M consente quindi di evitare l’introduzione di molti elementi di tipo P fitti (i micropali); l’Utente rileverà i risultati sull’elemento S interessato dai micropali e ripartirà successivamente l’azione trasmessa sui micropali stessi, per la verifica di ciascuno.

PC.M infatti non procede nella verifica di resistenza del singolo palo, ma nel caso di fondazioni su pali si limita a fornire le azioni in testa al palo (Sforzo Normale e Taglio), da usare per verifiche da svolgersi a parte ad esempio con idoneo software geotecnico, o anche manualmente considerando opportune teorie semplificate (si consulti ad esempio: G. Ricceri, *Tecnica delle Fondazioni*, Pàtron, Bologna, dove sono ampiamente riportate le formulazioni per il calcolo dei pali sia sotto l’azione del carico verticale, sia per carichi laterali dipendenti da forze orizzontali come quelle di natura sismica).


Per ogni fondazione di tipo S viene fornito anche il **taglio T** (che altro non è che l’azione orizzontale in testa al palo - o ai micropali - sottostanti). Esso viene calcolato come una proporzione della forza sismica globalmente agente sull’edificio (calcolata con  $\beta_2=1$ , trattandosi di verifica di fondazioni), pari al rapporto fra lo sforzo normale N trasmesso dalla fondazione S stessa, e il carico complessivo verticale dell’edificio. Si tratta di una semplificazione ritenuta accettabile, in quanto le forze sismiche sono proporzionali ai carichi.

**P = palo:** si tratta di un elemento strutturale a sezione circolare, posto al di sotto di una fondazione di tipo S (testata del palo) da cui riceve il carico (sforzo normale e taglio) proveniente dalla sovrastruttura.

Nella definizione dell’elemento P è quindi necessario specificare il numero della fondazione S cui si riferisce:

**P<sub>j</sub>** significa: palo sotto la fondazione ‘j’ (che deve essere di tipologia S).

In teoria, la definizione degli elementi P potrebbe essere omessa: per studiare il caso delle fondazioni su pali è infatti necessario e sufficiente definire gli elementi S, che forniscono le risultanti da applicare ai sottostanti pali. Tuttavia, almeno per pali di un certo diametro, si ritiene consigliabile l'inserimento anche dei pali stessi ai fini della visualizzazione grafica del modello di calcolo: l'introduzione dei pali viene infatti efficacemente mostrata sia nella grafica 2D sia nello schema spaziale.

Per consentire una agevole definizione dei pali, confermando **Pj** l'asse del palo viene automaticamente collocato nel baricentro geometrico della fondazione n°j (che deve avere tipologia S), e gli viene attribuito un diametro di default pari 30 cm., ovviamente modificabile utilizzando il comando 'Sezione Circolare (palo)' del menu Edit della finestra Fondazioni, o equivalentemente il pulsante grafico  della Barra degli Strumenti 'Modifica II / Interventi'.

E' possibile inserire i pali anche direttamente nell'input via file DXF: in CAD vengono disegnati come cerchi nelle posizioni desiderate; ovviamente, l'Utente avrà cura, nella definizione degli elementi di fondazione superficiali sul layer PARETI00, di far corrispondere ad ogni palo un elemento superficiale. In CAD non è necessario che vi sia corrispondenza fra il baricentro del palo e l'elemento superficiale che vi si imposta. Durante la lettura da file DXF, i pali verranno collocati al termine della tabella Dati Fondazioni, e PC.M assocerà ad ognuno la fondazione superficiale più 'vicina' (in termini di distanza fra i baricentri), in modo tale che l'input viene praticamente completato in maniera automatica (è comunque ovviamente sempre opportuno un controllo dei dati inseriti, una volta che l'input da DXF è stato effettuato).

Nella fase di input da DXF, i pali vengono identificati da PC.M nei **cerchi** definiti sul layer **PARETI00**, mentre le polilinee sono considerate fondazioni superficiali (che saranno poi di tipo F, S o C).

**C = cordolo di fondazione:** si tratta di una fondazione superficiale avente un puro scopo di collegamento, e che trasmette al terreno il solo peso proprio. Questa tipologia di fondazione non partecipa alla trasmissione dei carichi provenienti dalla sovrastruttura sul piano di fondazione: i carichi della struttura in elevazione vengono attribuiti ai soli elementi di fondazione aventi tipologia F o S.

Ricapitolando, per le fondazioni si evidenziano alcune osservazioni fondamentali.

**1)** La trasmissione dei carichi dalla struttura in elevazione al piano di fondazione avviene solo sugli elementi F e S (fondazioni superficiali dirette o impostate su pali).

I carichi degli eventuali solai di fondazione vengono trasmessi solo agli elementi F e S.

Le fondazioni per le quali viene computato il peso proprio sono le tipologie F, S e C.

**2)** Per i pali (tipologia P), i risultati delle elaborazioni non vengono riportati direttamente, ma come riferimento alle risultanti N e T competenti alla fondazione di tipologia S corrispondente.

Per le tipologie F e C, i risultati sono sempre forniti in termini di tensione  $\sigma$ .

Per la tipologia S, i risultati assumono la seguente forma:

Statica, schema di calcolo per Fondazioni Locali:

Sforzo normale  $N = N$  locale (carico trasmesso dalla struttura in elevazione + carico dai solai di fondazione + peso proprio)

Statica, schema di piano rigido:  $N = \int \sigma dA$

Sismica:  $N = \int \sigma dA$ , individuando il valore massimo fra le sollecitazioni sismiche  $\pm \xi$ ,  $\pm \eta$ ; a N si associa il taglio sismico T.

N, e T in caso sismico, possono essere usati per le verifiche del palo (o dei micropali) su cui l'elemento S si imposta.

**3)** L'impostazione adottata da PC.M consente di schematizzare le situazioni più varie: dalle fondazioni interamente su pali (a platea o a travi rovesce; ad esempio, per edifici di nuova costruzione), a fondazioni parzialmente su pali o micropali (per esempio, per edifici consolidati). E' sufficiente, caso per caso, assegnare la tipologia opportuna ad ogni elemento di fondazione.

#### H.4.1. RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

##### Analisi Statica delle Fondazioni:

*Valori generali.*

**A,mur p.1** = area complessiva della sezione degli elementi verticali impostati sopra le fondazioni.

**A,fond** = area complessiva di impronta delle fondazioni.

**A,fond. superf.** = area complessiva di impronta delle fondazioni superficiali (non impostate su pali).

**xG,fond , yG,fond** = coordinate del baricentro geometrico delle fondazioni.

**J,csi , J,eta** = momenti d'inerzia dell'insieme delle sezioni di fondazione.

**Direz. princ.** = angolo che individua la direzione degli assi principali (Csi, Eta) rispetto alle direzioni ortogonali di riferimento (X, Y). Intorno alla direzione Csi si ha la massima inerzia; intorno a Eta, la minima.

**N** = carico complessivo dell'edificio (incluso peso proprio delle fondazioni).

**x,N , y,N** = coordinate del centro di pressione (punto di applicazione di N). Per l'analisi statica delle tensioni in fondazione, la posizione del centro di pressione ha influenza sul risultato qualora si effettui il calcolo con lo schema di Fondazioni Rigide.

**s,max , s,min** = tensioni statiche massime e minime.

*Valori relativi alle fondazioni.*

Per ogni fondazione, viene riportata:

**Perm.Sup., Acc.Sup** = carichi permanenti e accidentali applicati dalle pareti in elevazione.

**Perm.F, Acc.F** = carichi permanenti e accidentali agenti sul piano di fondazione.

**P.p.** = peso proprio.

**Totale** = carico complessivamente agente sulla fondazione.

**s,max,loc** = massima tensione statica trasmessa al terreno dalla fondazione nello schema 'locale'.

**s,max** = massima tensione statica trasmessa al terreno dalla fondazione. Nello schema di calcolo a Fondazioni Locali, tale tensione è costante sotto l'impronta della fondazione; nello schema a Fondazioni Rigide, la tensione è variabile linearmente (secondo il piano di tensione), e ne viene riportato il valore massimo.

**N su pali** = per ogni fondazione avente tipologia S (fondazione impostata su pali) viene riportato il valore dello sforzo normale trasmesso al palo (o al gruppo di pali) su cui la fondazione stessa si imposta.

La verifica statica delle fondazioni viene condotta confrontando la tensione sul terreno con la tensione ammissibile, ricavata dalla Capacità Portante specificata nei 'Parametri di Calcolo' divisa per il coefficiente 3. Le fondazioni evidenziate con il simbolo \* non rispettano tale verifica.

##### Analisi Sismica delle Fondazioni:

*Verifica sismica.*

Per ogni fondazione, vengono riportate le tensioni:

**s,max** = tensioni totali (statiche + sismiche) sotto l'azione ribaltante della forza sismica lungo: +Csi, -Csi; +Eta, -Eta. Per la verifica della fondazione, ognuno di questi valori viene confrontato con la tensione ammissibile del terreno (pari alla Capacità Portante divisa per il coefficiente 3 nel caso di edifici nuovi e 2.4 nel caso di edifici esistenti).

**Pali: azioni massime in sommità: N, T** = per ogni fondazione avente tipologia S (fondazione impostata su pali) vengono riportati i valori dello sforzo normale e del taglio sismico trasmessi al palo (o al gruppo di pali) su cui la fondazione stessa si imposta.

Le fondazioni evidenziate con il simbolo \* non rispettano la verifica di sicurezza.

## H.4.2. ESEMPI DI CALCOLO

In PC.M vengono forniti alcuni esempi di apprendimento per le fondazioni su pali. Gli esempi fanno capo ad uno stesso edificio, coincidente con Pg-pr-81 (esempio di apprendimento di base per PC.M), le cui fondazioni vengono via via variamente modificate, allo scopo di illustrare le funzionalità relative ai pali. Per tutti gli esempi, nel calcolo del Cmax si tiene conto anche delle Fondazioni, opportunità consentita a partire dalla versione 4.3 (vd. par. H.6.2.).

La capacità portante è assunta pari a 6.60 kg/cm<sup>2</sup>, cui corrisponde una tensione ammissibile sul terreno statica di 2.20 kg/cm<sup>2</sup> e sismica di 2.75 kg/cm<sup>2</sup> (si ricorda che per la verifica sismica è consentita una riduzione del 20% del coefficiente di sicurezza 3, che quindi diviene 2.4:  $\sigma_{amm} \text{ sismica} = 6.60 / 2.4 = 2.75$ ).

I files - direttamente installati in Pcm\Es-Apprendi - vengono analizzati in dettaglio ai punti seguenti.

### 1. Pali-01-a:

E' l'edificio di riferimento, con fondazioni tutte di tipo F, e con schema statico per l'analisi delle fondazioni: Carichi Locali.

Risulta, per la Verifica Sismica delle Fondazioni: Cmax = 0.057.

La Verifica Statica delle Fondazioni non è soddisfatta, essendo  $\sigma_{max} = 2.31$ ; la sismica invece sì:  $\sigma_{max} \text{ (per } \eta) = 2.66$  (entrambe corrispondenti alla fondazione n°4).

I risultati sono i seguenti:

#### ANALISI STATICA FONDAZIONI

(Carichi Locali: fondazioni non collaboranti tra loro)

A, mur p.1 (mq)	A, fond. (mq)	A, fond. superf. (mq)	xG, fond. (m)	yG, fond. (m)	J, csi (m <sup>4</sup> )	J, eta (m <sup>4</sup> )	Direz. princ. (°)
17.22	36.54	36.54	5.572	4.710	494	426	-88.11

#### Tensioni statiche sul terreno (kg/cm<sup>2</sup>)

(tensione ammissibile = 6.60 / 3 = 2.20 kg/cm<sup>2</sup>)

N (kg)	xN (m)	yN (m)	s, max stat.	s, min stat.
513956	5.495	4.909	2.31	0.64

N.	Carichi agenti sulle fondazioni (kg)						Tensioni (kg/cm <sup>2</sup> )		N (kg) su pali
	Perm.Sup.	Acc.Sup.	Perm.F.	Acc.F.	P.p.	Totale	s, max, loc	s, max	
1	43487	6297	0	0	3360	53144	1.58	1.58	
2	18160	2207	0	0	1980	22346	1.13	1.13	
3	10363	930	0	0	960	12253	1.28	1.28	
* 4	39544	10790	0	0	2280	52614	2.31	2.31	
5	48940	13437	0	0	3030	65407	2.16	2.16	
6	15227	3646	0	0	990	19863	2.01	2.01	
7	19332	3931	0	0	1380	24643	1.79	1.79	
8	29831	6586	0	0	2220	38637	1.74	1.74	
9	36084	7921	0	0	2700	46705	1.73	1.73	
10	6209	0	0	0	1155	7364	0.64	0.64	
11	16108	0	0	0	2325	18433	0.79	0.79	
12	22200	0	0	0	2400	24600	1.03	1.03	
13	29007	2227	0	0	3060	34293	1.12	1.12	
14	26359	0	0	0	2820	29179	1.03	1.03	
15	8632	978	0	0	1140	10750	0.94	0.94	
16	47736	1249	0	0	4740	53725	1.13	1.13	

#### ANALISI SISMICA FONDAZIONI

(Carichi Locali: fondazioni non collaboranti tra loro)

H, Fs (m)	Mom. Ribalt. (t*m)	xN +Csi (m)	yN +Csi (m)	xN -Csi (m)	yN -Csi (m)	xN +Eta (m)	yN +Eta (m)	xN -Eta (m)	yN -Eta (m)
7.72	307	5.515	4.312	5.476	5.507	6.093	4.929	4.898	4.890

Tensioni totali (statiche + sismiche) sul terreno (kg/cm<sup>2</sup>)

(tensione ammissibile =  $6.60 / 2.4 = 2.75 \text{ kg/cm}^2$ )

(per edifici esistenti: riduzione 20% coeff. sicurezza, punto C.9.3.3. D.M.16.1.1996)

s,max +Csi	s,min +Csi	s,max -Csi	s,min -Csi	s,max +Eta	s,min +Eta	s,max -Eta	s,min -Eta	s,max sism.
2.39	0.65	2.28	0.31	2.36	0.28	2.66	0.64	1.96

N.	s,max +Csi	s,max -Csi	s,max +Eta	s,max -Eta	Pali: Azioni max in sommità N (kg)	T (kg)
1	1.93	1.29	1.57	1.94		
2	1.48	0.83	1.33	1.14		
3	1.63	0.97	1.57	1.08		
4	2.39	2.28	2.20	2.66		
5	2.25	2.12	2.36	2.27		
6	2.11	1.95	2.31	1.81		
7	1.45	2.17	1.59	2.12		
8	1.41	2.12	1.78	1.93		
9	1.41	2.10	2.05	1.69		
10	0.96	0.45	0.32	1.00		
11	0.98	0.88	0.48	1.15		
12	0.93	1.40	0.72	1.38		
13	1.46	1.15	1.24	1.04		
14	1.01	1.40	1.17	0.95		
15	1.29	0.73	1.25	0.68		
16	1.35	1.49	1.46	0.86		

L'area delle fondazioni superficiali dirette è in questo caso ovviamente uguale all'area totale di fondazione, non esistendo fondazioni impostate su pali.

## 2. Pali-01-b:

Lo stesso edificio di Pali-01-a, sempre con fondazioni tutte di tipo F, viene analizzato con lo schema statico per l'analisi delle fondazioni: Piano Rigido.

Risulta, per la Verifica Sismica delle Fondazioni:  $C_{max} = 0.137$  (come era da attendersi, l'aumento è determinato dall'aiuto reciproco che le fondazioni si danno nell'ipotesi di piano rigido di tensione).

La Verifica Statica e Sismica delle Fondazioni sono entrambe soddisfatte, essendo:  $\sigma_{max} \text{ statica} = 1.58$  (all'angolo superiore sinistro delle fondazioni 7 e 12; fig. 10),  $\sigma_{max} \text{ sismica (per } -\xi) = 1.96$ .

I risultati sono i seguenti:

### ANALISI STATICA FONDAZIONI

(Fondazioni su Piano Rigido: travi o platea)

A, mur p.l (mq)	A, fond. fond. (mq)	A, fond. superf. (mq)	xG, fond. (m)	yG, fond. (m)	J, csi (m <sup>4</sup> )	J, eta (m <sup>4</sup> )	Direz. princ. (°)
17.22	36.54	36.54	5.572	4.710	494	426	-88.11

### Tensioni statiche sul terreno (kg/cm<sup>2</sup>)

(tensione ammissibile =  $6.60 / 3 = 2.20 \text{ kg/cm}^2$ )

N (kg)	xN (m)	yN (m)	s,max stat.	s,min stat.
513956	5.495	4.909	1.58	1.25

N.	Carichi agenti sulle fondazioni (kg)						Tensioni (kg/cm <sup>2</sup> )		N (kg)
	Perm.Sup.	Acc.Sup.	Perm.F.	Acc.F.	P.p.	Totale	s,max,loc	s,max	su pali
1	43487	6297	0	0	3360	53144	1.58	1.35	
2	18160	2207	0	0	1980	22346	1.13	1.31	
3	10363	930	0	0	960	12253	1.28	1.28	
4	39544	10790	0	0	2280	52614	2.31	1.44	
5	48940	13437	0	0	3030	65407	2.16	1.41	
6	15227	3646	0	0	990	19863	2.01	1.37	
7	19332	3931	0	0	1380	24643	1.79	1.58	
8	29831	6586	0	0	2220	38637	1.74	1.56	
9	36084	7921	0	0	2700	46705	1.73	1.53	
10	6209	0	0	0	1155	7364	0.64	1.39	
11	16108	0	0	0	2325	18433	0.79	1.48	
12	22200	0	0	0	2400	24600	1.03	1.57	
13	29007	2227	0	0	3060	34293	1.12	1.40	

14	26359	0	0	0	2820	29179	1.03	1.52	
15	8632	978	0	0	1140	10750	0.94	1.30	
16	47736	1249	0	0	4740	53725	1.13	1.49	

Statica Fond.

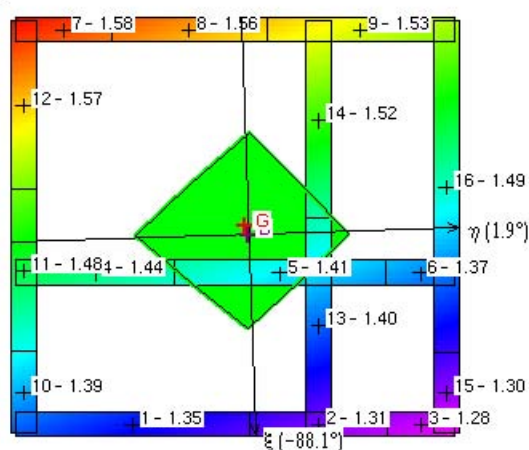


Fig. 10. Analisi Statica Fondazioni, esempio Pali-01-b.

**ANALISI SISMICA FONDAZIONI**

(Fondazioni su Piano Rigido: travi o platea)

H, Fs (m)	Mom. Ribalt. (t*m)	xN +Csi (m)	yN +Csi (m)	xN -Csi (m)	yN -Csi (m)	xN +Eta (m)	yN +Eta (m)	xN -Eta (m)	yN -Eta (m)
7.72	307	5.515	4.312	5.476	5.507	6.093	4.929	4.898	4.890

Tensioni totali (statiche + sismiche) sul terreno (kg/cm<sup>2</sup>)(tensione ammissibile = 6.60 / 2.4 = 2.75 kg/cm<sup>2</sup>)

(per edifici esistenti: riduzione 20% coeff.sicurezza, punto C.9.3.3. D.M.16.1.1996)


s,max +Csi	s,min +Csi	s,max -Csi	s,min -Csi	s,max +Eta	s,min +Eta	s,max -Eta	s,min -Eta	s,max sism.
1.67	1.13	1.96	0.89	1.81	0.98	1.92	0.95	1.96

N.	s,max +Csi	s,max -Csi	s,max +Eta	s,max -Eta	Pali: Azioni max in sommità	
					N (kg)	T (kg)
1	1.67	1.06	1.30	1.71		
2	1.64	1.00	1.48	1.31		
3	1.62	0.97	1.56	1.08		
4	1.50	1.41	1.29	1.78		
5	1.47	1.37	1.57	1.52		
6	1.45	1.31	1.66	1.16		
7	1.22	1.96	1.37	1.91		
8	1.21	1.94	1.57	1.75		
9	1.18	1.90	1.81	1.49		
10	1.66	1.20	1.06	1.74		
11	1.57	1.57	1.16	1.83		
12	1.39	1.95	1.27	1.92		
13	1.62	1.43	1.52	1.32		
14	1.38	1.88	1.65	1.42		
15	1.61	1.09	1.61	1.03		
16	1.52	1.85	1.81	1.21		

**3. Pali-02-a:**

Le fondazioni sono miste: la 1 e la 16 (numerazione riferita agli esempi precedenti: Pali-01-a e Pali-01-b) assumono tipologia S e vengono suddivise: la 1 in tre parti, la 16 in quattro parti (utilizzando il comando Dividi del menu Edit) in modo da predisporre le testate di fondazione per i 7 pali previsti (3 nella posizione della 1 e 4 nella posizione della 16). Le 7 fondazioni di tipo S così determinate genereranno, nei risultati dell'elaborazione, le azioni N e T in sommità dei pali su cui si impostano. La definizione dei pali avviene semplicemente aggiungendo 7 righe alla tabella Dati Fondazioni (è anche possibile utilizzare il comando 'Aggiungi più



fondazioni' del meni Modifica, corrispondente al pulsante grafico  della Barra degli Strumenti 'Modifica I', posta in alto), e specificando P1, P20, ecc. in modo da collocare immediatamente il palo nel baricentro della fondazione di tipo S cui viene riferito.

La fig. 11 rappresenta questo esempio.

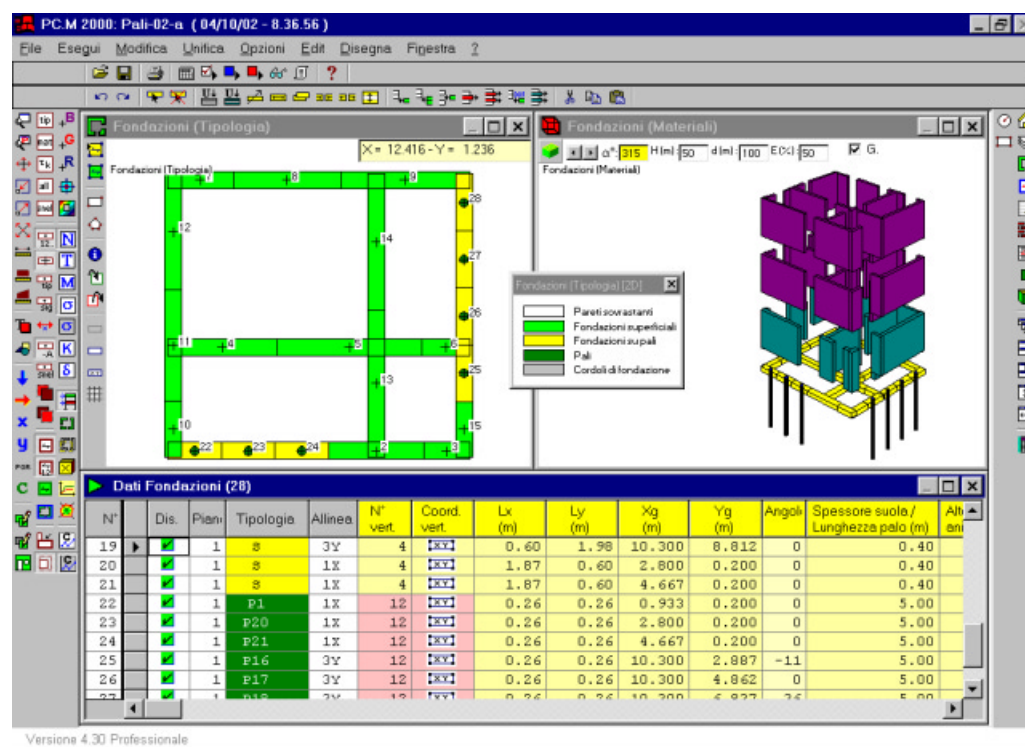



Fig. 11. Fondazioni su pali (esempio Pali-02-a).

Nella finestra grafica 2D si osservi la diversa colorazione per le diverse tipologie di fondazione (il disegno può essere ottenuto selezionando 'Fondazioni: Tipologia' da 'Tipo di disegno', o direttamente con il pulsante grafico  della Barra degli Strumenti 'Grafica: Visualizzazione II'). Nella finestra grafica 3D (colorata invece come di consueto in base ai tipi di materiali) è evidente la presenza dei pali.

Nella tabella Dati Fondazioni si possono osservare il nuovo campo della 'Tipologia' e la colonna 'Spessore suola / Lunghezza palo' dove viene definito: per le fondazioni superficiali (F, S e C) lo spessore della suola; per i pali (P) la lunghezza, ossia lo sviluppo verticale in profondità.

Lo schema di calcolo delle fondazioni si considera per 'Carichi Locali'.

Dai risultati, il Cmax sostenibile per la verifica delle fondazioni risulta pari a 0.057, come per l'esempio Pali-01-a: questo perché la fondazione n°4, che in Pali-01-a segnava la soglia di resistenza determinando il Cmax, ha tipologia invariata in Pali-01-b.

I livelli tensionali massimi, quindi, sono equivalenti all'esempio Pali-01-a; la differenza consiste nel fatto che nel presente caso occorrerà integrare la verifica tensionale sul terreno con le verifiche di resistenza dei pali, sottoposti alle azioni ricavabili dai risultati.

#### ANALISI STATICA FONDAZIONI

(Carichi Locali: fondazioni non collaboranti tra loro)

A, mur p. l (mq)	A, fond. fond. (mq)	A, fond. superf. (mq)	xG, fond. (m)	yG, fond. (m)	J, csi (m <sup>4</sup> )	J, eta (m <sup>4</sup> )	Direz. princ. (°)
17.28	36.54	28.44	5.572	4.710	494	426	-88.11

Tensioni statiche sul terreno (kg/cmq)

(tensione ammissibile =  $6.60 / 3 = 2.20$  kg/cmq)

N (kg)	xN (m)	yN (m)	s,max stat.	s,min stat.
514332	5.491	4.906	2.31	0.64

N.	Carichi agenti sulle fondazioni (kg)						Tensioni (kg/cm <sup>2</sup> )		N (kg) su pali
	Perm.Sup.	Acc.Sup.	Perm.F.	Acc.F.	P.p.	Totale	s,max,loc	s,max	
1	18991	2731	0	0	1120	22842	2.04	2.04	22842
2	18009	2175	0	0	1980	22164	1.12	1.12	
3	10363	930	0	0	960	12253	1.28	1.28	
* 4	39544	10790	0	0	2280	52614	2.31	2.31	
5	48940	13437	0	0	3030	65407	2.16	2.16	
6	15227	3646	0	0	990	19863	2.01	2.01	
7	19332	3931	0	0	1380	24643	1.79	1.79	
8	29831	6586	0	0	2220	38637	1.74	1.74	
9	36084	7921	0	0	2700	46705	1.73	1.73	
10	6209	0	0	0	1155	7364	0.64	0.64	
11	16108	0	0	0	2325	18433	0.79	0.79	
12	22200	0	0	0	2400	24600	1.03	1.03	
13	29007	2227	0	0	3060	34293	1.12	1.12	
14	26359	0	0	0	2820	29179	1.03	1.03	
15	8632	978	0	0	1140	10750	0.94	0.94	
16	6745	176	0	0	1185	8107	0.68	0.68	8107
17	13664	357	0	0	1185	15206	1.28	1.28	15206
18	13664	357	0	0	1185	15206	1.28	1.28	15206
19	13664	357	0	0	1185	15206	1.28	1.28	15206
20	18257	2625	0	0	1120	22003	1.96	1.96	22003
21	6765	973	0	0	1120	8858	0.79	0.79	8858
22	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		1
23	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		20
24	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		21
25	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		16
26	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		17
27	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		18
28	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		19

**ANALISI SISMICA FONDAZIONI**

(Carichi Locali: fondazioni non collaboranti tra loro)

H, Fs (m)	Mom. Ribalt. (t*m)	xN +Csi (m)	yN +Csi (m)	xN -Csi (m)	yN -Csi (m)	xN +Eta (m)	yN +Eta (m)	xN -Eta (m)	yN -Eta (m)
7.72	307	5.511	4.309	5.471	5.503	6.088	4.926	4.894	4.886

**Tensioni totali (statiche + sismiche) sul terreno (kg/cm<sup>2</sup>)**(tensione ammissibile = 6.60 / 2.4 = 2.75 kg/cm<sup>2</sup>)

(per edifici esistenti: riduzione 20% coeff.sicurezza, punto C.9.3.3. D.M.16.1.1996)

s,max +Csi	s,min +Csi	s,max -Csi	s,min -Csi	s,max +Eta	s,min +Eta	s,max -Eta	s,min -Eta	s,max sism.
2.39	0.64	2.28	0.31	2.36	0.28	2.66	0.64	1.96

N.	s,max		s,max		Pali: Azioni max in sommità	
	+Csi	-Csi	+Eta	-Eta	N (kg)	T (kg)
1	2.38	1.75	1.80	2.40	26357	2040
2	1.47	0.82	1.32	1.13		
3	1.63	0.97	1.57	1.08		
4	2.39	2.28	2.20	2.66		
5	2.25	2.12	2.36	2.27		
6	2.11	1.95	2.31	1.80		
7	1.45	2.17	1.59	2.12		
8	1.41	2.12	1.78	1.93		
9	1.41	2.10	2.05	1.69		
10	0.96	0.45	0.32	1.00		
11	0.98	0.88	0.48	1.15		
12	0.93	1.41	0.72	1.38		
13	1.46	1.15	1.24	1.04		
14	1.01	1.40	1.17	0.95		
15	1.29	0.73	1.25	0.68		
16	0.90	0.61	1.00	0.41	11547	894
17	1.36	1.35	1.60	1.01	18694	1447
18	1.21	1.50	1.60	1.01	18742	1451
19	1.07	1.64	1.61	1.00	18790	1454
20	2.31	1.67	1.84	2.20	25568	1979

21	1.14	0.49	0.78	0.92	12473	965
22	palo: vd.fondaz.n°	1				
23	palo: vd.fondaz.n°	20				
24	palo: vd.fondaz.n°	21				
25	palo: vd.fondaz.n°	16				
26	palo: vd.fondaz.n°	17				
27	palo: vd.fondaz.n°	18				
28	palo: vd.fondaz.n°	19				

**4. Pali-02-b:**

Lo stesso schema del file Pali-02-a viene qui rianalizzato con l'ipotesi di fondazioni su Piano Rigido.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

**ANALISI STATICA FONDAZIONI**

(Fondazioni su Piano Rigido: travi o platea)

A, mur p.1 (mq)	A, fond. (mq)	A, fond. superf. (mq)	xG, fond. (m)	yG, fond. (m)	J, csi (m <sup>4</sup> )	J, eta (m <sup>4</sup> )	Direz. princ. (°)
17.22	36.54	28.44	5.572	4.710	494	426	-88.11

**Tensioni statiche sul terreno (kg/cmq)**

(tensione ammissibile = 6.60 / 3 = 2.20 kg/cmq)

N (kg)	xN (m)	yN (m)	s,max stat.	s,min stat.
513956	5.495	4.909	1.58	1.25

N.	Carichi agenti sulle fondazioni (kg)						Tensioni (kg/cmq)		N (kg) su pali
	Perm.Sup.	Acc.Sup.	Perm.F.	Acc.F.	P.p.	Totale	s,max,loc	s,max	
1	18661	2702	0	0	1120	22483	2.01	1.35	14958
2	18160	2207	0	0	1980	22346	1.13	1.31	
3	10363	930	0	0	960	12253	1.28	1.28	
4	39544	10790	0	0	2280	52614	2.31	1.44	
5	48940	13437	0	0	3030	65407	2.16	1.41	
6	15227	3646	0	0	990	19863	2.01	1.37	
7	19332	3931	0	0	1380	24643	1.79	1.58	
8	29831	6586	0	0	2220	38637	1.74	1.56	
9	36084	7921	0	0	2700	46705	1.73	1.53	
10	6209	0	0	0	1155	7364	0.64	1.39	
11	16108	0	0	0	2325	18433	0.79	1.48	
12	22200	0	0	0	2400	24600	1.03	1.57	
13	29007	2227	0	0	3060	34293	1.12	1.40	
14	26359	0	0	0	2820	29179	1.03	1.52	
15	8632	978	0	0	1140	10750	0.94	1.30	
16	6745	176	0	0	1185	8107	0.68	1.35	15696
17	13664	357	0	0	1185	15206	1.28	1.40	16259
18	13664	357	0	0	1185	15206	1.28	1.45	16822
19	13664	357	0	0	1185	15206	1.28	1.49	17385
20	18661	2702	0	0	1120	22483	2.01	1.34	14789
21	6165	893	0	0	1120	8178	0.73	1.32	14620
22	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°	1	
23	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°	20	
24	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°	21	
25	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°	16	
26	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°	17	
27	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°	18	
28	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°	19	

**ANALISI SISMICA FONDAZIONI**

(Fondazioni su Piano Rigido: travi o platea)

H, Fs (m)	Mom. Ribalt. (t*m)	xN +Csi (m)	yN +Csi (m)	xN -Csi (m)	yN -Csi (m)	xN +Eta (m)	yN +Eta (m)	xN -Eta (m)	yN -Eta (m)
7.72	307	5.515	4.312	5.476	5.507	6.093	4.929	4.898	4.890

**Tensioni totali (statiche + sismiche) sul terreno (kg/cmq)**

(tensione ammissibile = 6.60 / 2.4 = 2.75 kg/cmq)

(per edifici esistenti: riduzione 20% coeff.sicurezza, punto C.9.3.3. D.M.16.1.1996)

s,max +Csi	s,min +Csi	s,max -Csi	s,min -Csi	s,max +Eta	s,min +Eta	s,max -Eta	s,min -Eta	s,max sism.
1.66	1.13	1.96	0.89	1.81	0.98	1.92	0.95	1.96

N.	s,max +Csi	s,max -Csi	s,max +Eta	s,max -Eta	Pali: Azioni max N (kg)	in sommità T (kg)
1	1.67	1.06	1.10	1.71	18470	1429
2	1.64	1.00	1.48	1.31		
3	1.62	0.97	1.56	1.08		
4	1.50	1.41	1.29	1.78		
5	1.47	1.37	1.57	1.52		
6	1.45	1.31	1.66	1.16		
7	1.22	1.96	1.37	1.91		
8	1.21	1.94	1.57	1.75		
9	1.18	1.90	1.81	1.49		
10	1.66	1.20	1.06	1.74		
11	1.57	1.57	1.16	1.83		
12	1.39	1.95	1.27	1.92		
13	1.62	1.43	1.52	1.32		
14	1.38	1.88	1.65	1.42		
15	1.61	1.09	1.61	1.03		
16	1.52	1.28	1.66	1.08	19134	1481
17	1.42	1.47	1.71	1.12	19745	1528
18	1.33	1.66	1.76	1.16	20356	1575
19	1.23	1.85	1.81	1.21	20967	1623
20	1.66	1.04	1.20	1.57	18352	1420
21	1.65	1.02	1.30	1.44	18233	1411
22	palo: vd.fondaz.n° 1					
23	palo: vd.fondaz.n° 20					
24	palo: vd.fondaz.n° 21					
25	palo: vd.fondaz.n° 16					
26	palo: vd.fondaz.n° 17					
27	palo: vd.fondaz.n° 18					
28	palo: vd.fondaz.n° 19					

Dal punto di vista sismico, le azioni (in kg) sul palo n°22, riferito alla fondazione di tipo S n°1, passano da N=26357 e T=2040, a: N=18470 e T=1429: la diminuzione è effetto della collaborazione (piano di tensione). Per il palo n°25 (riferito alla fondazione n°16): le azioni N=11547 e T=894, diventano: N=19134 e T=1481: anche questa variazione, in aumento, dipende dal piano di tensione: la collaborazione fra le fondazioni conduce a scaricare alcune parti e a caricarne maggiormente altre. I pali  $\phi 30$  definiti devono essere verificati con queste azioni in sommità.

### 5. Pali-03-a:

Rispetto all'esempio Pali-02-a, tutte le fondazioni sono ora di tipo S. I pali restano definiti per le medesime fondazioni (7 in totale); per tutte le altre si può intendere sia che vi siano altri pali analoghi che non sono stati definiti, sia che vi siano micropali diffusi la cui definizione è omessa per semplicità operativa.

Comunque sia, le risultanti competenti agli elementi di fondazione di tipo S possono essere utilizzate per le verifiche dei pali sottostanti.

Si osservi che non esistendo fondazioni superficiali dirette, è impossibile il calcolo del Cmax (per il quale, in presenza di pali, occorrerebbe in ogni caso accertare anche la resistenza del palo): PC.M ne pone allora, per default, il valore pari al coefficiente sismico di riferimento (0.046, in questo caso), intendendo che le verifiche esterne dei pali dovranno assicurarne la resistenza sotto l'azione sismica di progetto.

In dettaglio, i risultati sono i seguenti.

#### ANALISI STATICA FONDAZIONI

(Carichi Locali: fondazioni non collaboranti tra loro)

A, mur p.1 (mq)	A, fond. superf. (mq)	A, fond. superf. (mq)	xG, fond. (m)	yG, fond. (m)	J, csi (m <sup>4</sup> )	J, eta (m <sup>4</sup> )	Direz. princ. (°)
17.22	36.54	0.00	5.572	4.710	494	426	-88.11

#### Tensioni statiche sul terreno (kg/cm<sup>2</sup>)

(tensione ammissibile =  $6.60 / 3 = 2.20$  kg/cm<sup>2</sup>)

N	xN	yN	s,max	s,min
---	----	----	-------	-------

(kg)	(m)	(m)	stat.	stat.
513956	5.495	4.909	0.00	0.00

Carichi agenti sulle fondazioni (kg)							Tensioni (kg/cm <sup>2</sup> )		N (kg)
N.	Perm.Sup.	Acc.Sup.	Perm.F.	Acc.F.	P.p.	Totale	s,max,loc	s,max	su pali
1	18661	2702	0	0	1120	22483	2.01	2.01	22483
2	18160	2207	0	0	1980	22346	1.13	1.13	22346
3	10363	930	0	0	960	12253	1.28	1.28	12253
4	39544	10790	0	0	2280	52614	2.31	2.31	52614
5	48940	13437	0	0	3030	65407	2.16	2.16	65407
6	15227	3646	0	0	990	19863	2.01	2.01	19863
7	19332	3931	0	0	1380	24643	1.79	1.79	24643
8	29831	6586	0	0	2220	38637	1.74	1.74	38637
9	36084	7921	0	0	2700	46705	1.73	1.73	46705
10	6209	0	0	0	1155	7364	0.64	0.64	7364
11	16108	0	0	0	2325	18433	0.79	0.79	18433
12	22200	0	0	0	2400	24600	1.03	1.03	24600
13	29007	2227	0	0	3060	34293	1.12	1.12	34293
14	26359	0	0	0	2820	29179	1.03	1.03	29179
15	8632	978	0	0	1140	10750	0.94	0.94	10750
16	6745	176	0	0	1185	8107	0.68	0.68	8107
17	13664	357	0	0	1185	15206	1.28	1.28	15206
18	13664	357	0	0	1185	15206	1.28	1.28	15206
19	13664	357	0	0	1185	15206	1.28	1.28	15206
20	18661	2702	0	0	1120	22483	2.01	2.01	22483
21	6165	893	0	0	1120	8178	0.73	0.73	8178
22	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		1
23	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		20
24	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		21
25	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		16
26	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		17
27	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		18
28	0	0	0	0	844	844	palo: vd.fondaz.n°		19

**ANALISI SISMICA FONDAZIONI**

(Carichi Locali: fondazioni non collaboranti tra loro)

H, Fs (m)	Mom. Ribalt. (t*m)	xN +Csi (m)	yN +Csi (m)	xN -Csi (m)	yN -Csi (m)	xN +Eta (m)	yN +Eta (m)	xN -Eta (m)	yN -Eta (m)
7.72	307	5.515	4.312	5.476	5.507	6.093	4.929	4.898	4.890

**Tensioni totali (statiche + sismiche) sul terreno (kg/cm<sup>2</sup>)**(tensione ammissibile = 6.60 / 2.4 = 2.75 kg/cm<sup>2</sup>)

(per edifici esistenti: riduzione 20% coeff.sicurezza, punto C.9.3.3. D.M.16.1.1996)

s,max +Csi	s,min +Csi	s,max -Csi	s,min -Csi	s,max +Eta	s,min +Eta	s,max -Eta	s,min -Eta	sism.
-	-	-	-	-	-	-	-	0.00

N.	s,max +Csi	s,max -Csi	s,max +Eta	s,max -Eta	Pali: Azioni max in sommità	
					N (kg)	T (kg)
1	2.34	1.72	1.77	2.36	25997	2012
2	1.48	0.83	1.33	1.14	28855	2233
3	1.63	0.97	1.57	1.08	15465	1197
4	2.39	2.28	2.20	2.66	57854	4477
5	2.25	2.12	2.36	2.27	67447	5220
6	2.11	1.95	2.31	1.81	22369	1731
7	1.45	2.17	1.59	2.12	29647	2294
8	1.41	2.12	1.78	1.93	46528	3601
9	1.41	2.10	2.05	1.69	56038	4337
10	0.96	0.45	0.32	1.00	11308	875
11	0.98	0.88	0.48	1.15	26235	2030
12	0.93	1.40	0.72	1.38	32460	2512
13	1.46	1.15	1.24	1.04	39169	3031
14	1.01	1.40	1.17	0.95	34636	2680
15	1.29	0.73	1.25	0.68	14012	1084
16	0.90	0.61	0.99	0.41	11545	893
17	1.36	1.35	1.60	1.01	18692	1447
18	1.21	1.50	1.60	1.01	18740	1450
19	1.07	1.64	1.61	1.00	18788	1454
20	2.35	1.71	1.88	2.25	26047	2016
21	1.08	0.43	0.72	0.85	11790	912
22	palo: vd.fondaz.n°				1	

23	palo: vd.fondaz.n°	20
24	palo: vd.fondaz.n°	21
25	palo: vd.fondaz.n°	16
26	palo: vd.fondaz.n°	17
27	palo: vd.fondaz.n°	18
28	palo: vd.fondaz.n°	19

### 6. Pali-03-b:

E' l'analogo di Pali-02-b, ma con tutte fondazioni di tipo S. Per brevità, omettiamo i risultati che possono essere comunque consultati richiamando l'esempio da PC.M.

### 7. Pali-04:

Questo esempio riprende lo stesso edificio dei casi precedenti, ma stavolta le fondazioni sono a platea parzialmente impostata su pali. Sostanzialmente, non vi sono differenze con i casi di fondazioni a travi; è interessante analizzare l'input da file DXF.

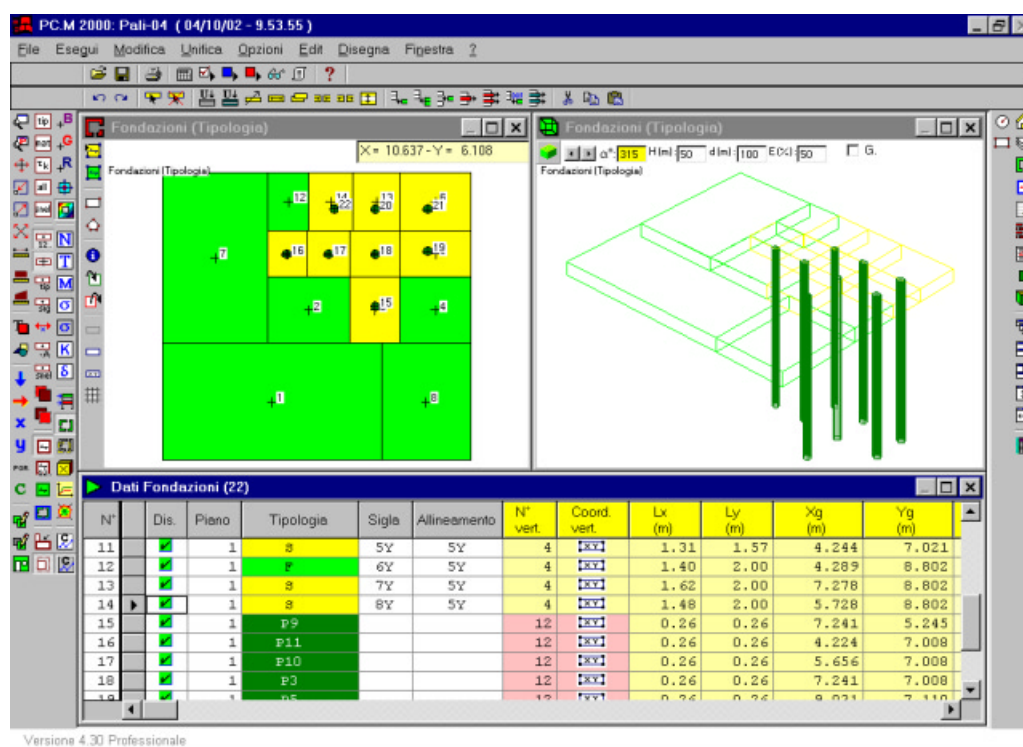
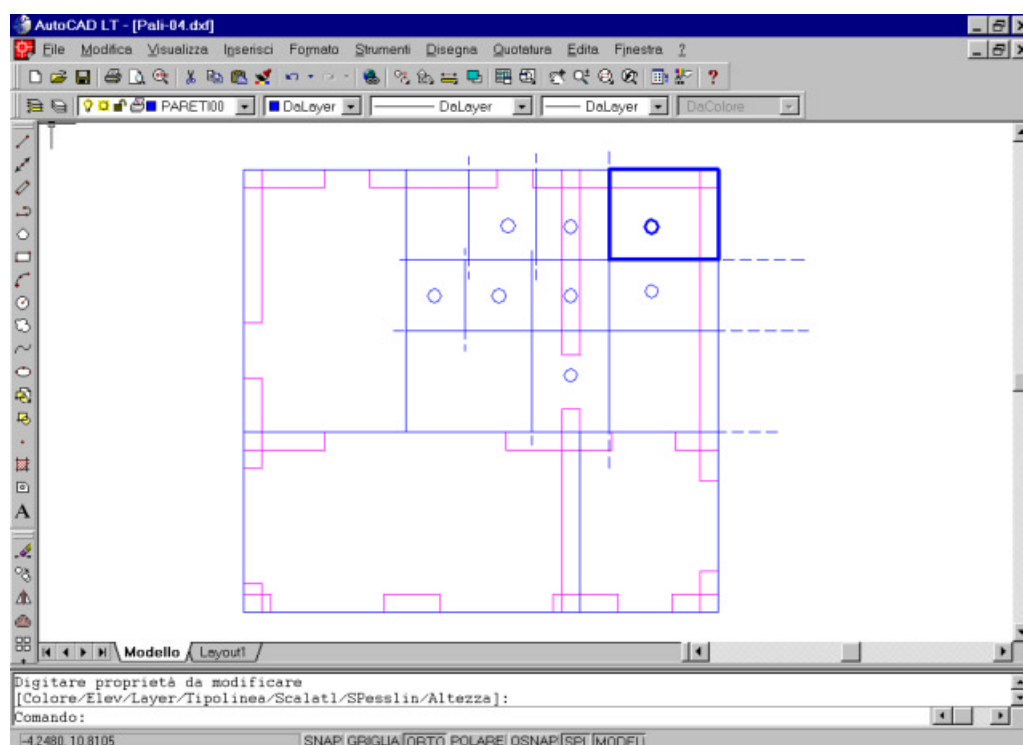


Fig. 12. Fondazioni a platea su pali (esempio Pali-04).

La fig. 12 evidenzia, sia in 2D che in 3D, la configurazione tipologica delle fondazioni così come ottenuta direttamente dall'input da DXF del disegno mostrato in fig. 13.



**Fig. 13.** Disegno in CAD per l'input da file DXF dell'esempio Pali-04.

In questo disegno, sono presenti i vari layers della sovrastruttura (PARETI01, PARETI02, PARETI03; in figura si vedono i contorni in colore magenta delle polilinee del layer PARETI01), ed il layer delle fondazioni PARETI00: su quest'ultimo layer, sono disegnate le polilinee chiuse che rappresentano le fondazioni superficiali (sia dirette, sia impostate su pali). La platea fisicamente è unica, ma qui viene suddivisa per poter intercettare opportunamente i pali sottostanti; inoltre, la suddivisione non ha influenza sul risultato, trattandosi di un piano di tensione (in casi di questo tipo si deve ovviamente utilizzare lo schema di calcolo delle fondazioni a Piano Rigido). In particolare, è evidenziata in alto a destra una polilinea corrispondente ad una fondazione di tipo S ed il 'suo' palo, definito come entità 'cerchio' nello stesso layer (si noti che i baricentri del palo e della fondazione cui si riferisce non necessariamente coincidono).

Eseguendo l'input da file DXF, i pali vengono collocati al termine della tabella Dati Fondazioni, e PC.M associa ad ognuno la fondazione superficiale più 'vicina' (in termini di distanza fra i baricentri), in modo tale che la fase di input sia il più possibile completata automaticamente.

## H.5. GRAFICA

PC.M versione 4.3 introduce alcune significative novità in campo grafico, in particolare per la gestione delle modifiche sui dati.

**A.** Come per le versioni precedenti, l'**inserimento iniziale dei dati** può avvenire con due diverse modalità:

**A.1.** input da file DXF;

**A.2.** inserimento manuale dei dati nelle tabelle di PC.M.

**B.** La **modifica dei dati**, una volta impostato l'edificio, può avvenire:

**B.1.** manualmente, con i comandi interattivi di PC.M, nelle finestre delle tabelle dati;

**B.2.** graficamente, utilizzando AEDES-CAD (il CAD della AEDES interattivo con PC.M).

A partire dalla versione 4.3, si affiancano - alle due precedenti - due nuove modalità:

**B.3.** graficamente, è possibile inserire elementi strutturali direttamente nella finestra Grafica 2D;

**B.4.** è inoltre possibile colloquiare con il programma di CAD presente nel sistema (ad esempio, AutoCAD®), via file DXF: in tal modo, quindi, AutoCAD® può essere utilizzato oltre che per l'input iniziale anche per le sessioni successive in corso di modifica dati.


Ai punti B.3 e B.4 sono dedicati rispettivamente i paragrafi H.5.1. e H.5.2.

Altre funzionalità grafiche introdotte da PC.M, versione 4.3, vengono descritte ai paragrafi successivi.

### H.5.1. INSERIMENTO GRAFICO DI PARETI RETTANGOLARI E POLIGONALI

Si apra il file dell'esempio Pg-pr-81 fornito in dotazione a PC.M in Pcm\Edifici, e si salvi con altro nome, ad esempio: Prova\_Inserimento\_Grafico.

Si attivi quindi la finestra Pareti.

Si desidera inserire una trave in c.a. esattamente fra i maschi murari 4 e 5 dell'allineamento 2X, al piano 1. A tale scopo, si aggiunga una parete (ad esempio utilizzando il pulsante grafico  della Barra degli Strumenti 'Modifica I', in alto): viene predisposta la riga 17 nella tabella Dati Pareti; nel campo 'Tipologia' si digiti T4/5: la trave viene immediatamente definita; se ne potrà ora variare il materiale, scegliendo ad esempio il c.a. In alternativa, possono essere utilizzati i nuovi comandi grafici.

Si specifichi semplicemente T (anziché T4/5): la configurazione di lavoro è rappresentata in fig. 14.



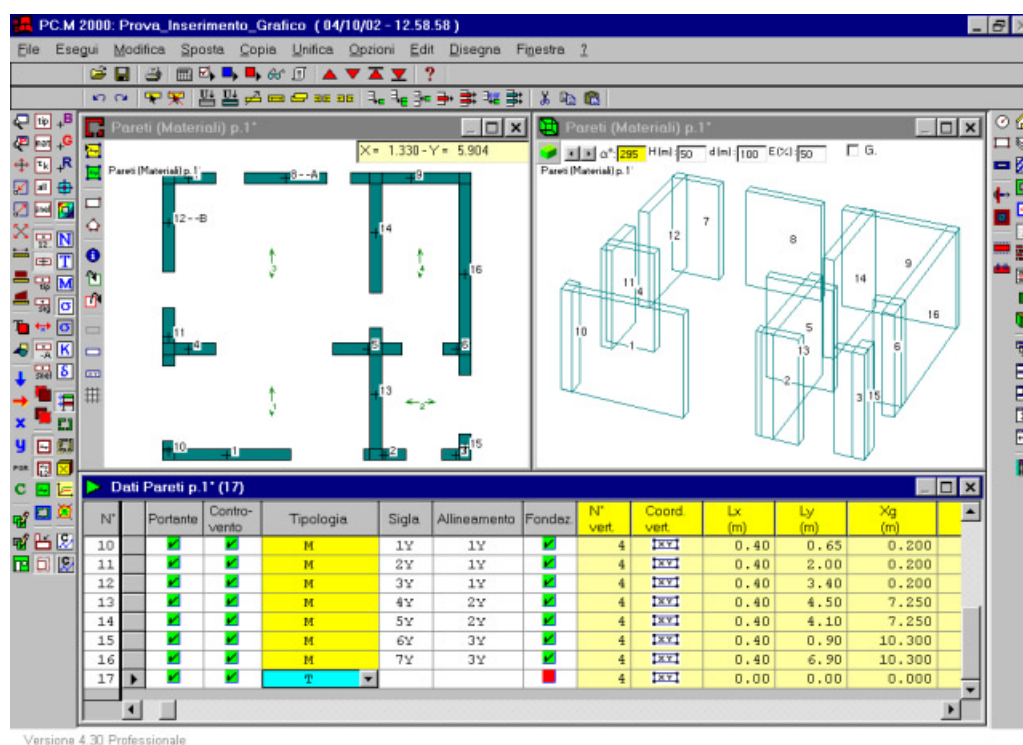



Fig. 14. Input di un nuovo elemento (trave) nei Dati Pareti.

Si mantenga la posizione della cella in corrispondenza della riga aggiunta. Attivando la finestra Grafica 2D (con un semplice clic sopra), nel menu Immagine si selezioni il nuovo comando di menu: 'Inserisci Sezione fra vertici'. Quindi, si faccia clic sul pulsante grafico  (Inserimento Sezione Rettangolare), indicato dalla freccia rossa in fig. 15, e successivamente, operando col mouse, si tracci all'incirca la finestra indicata in fig. 15, comprendente al suo interno le zone estreme delle pareti 4 e 5: rilasciando il mouse, verrà automaticamente creata la trave T4/5 (elemento n°17 della tabella Dati Pareti), come mostrato in fig. 16.

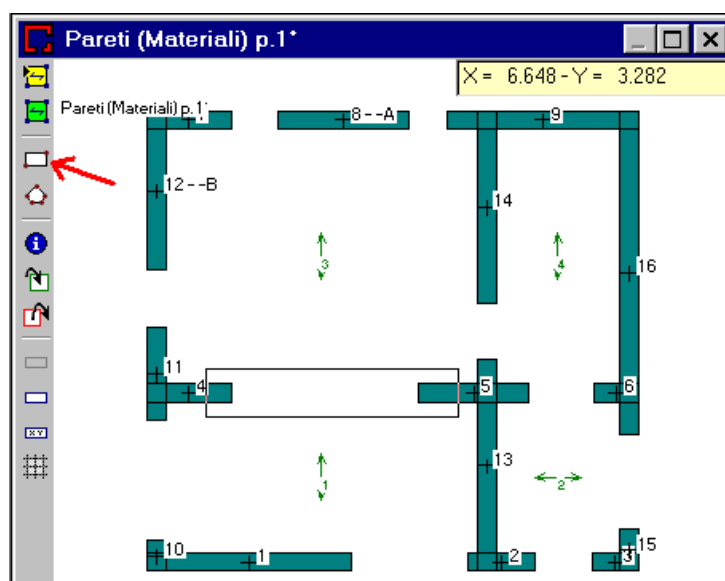


Fig. 15. Comando grafico 'Inserimento Sezione Rettangolare'.

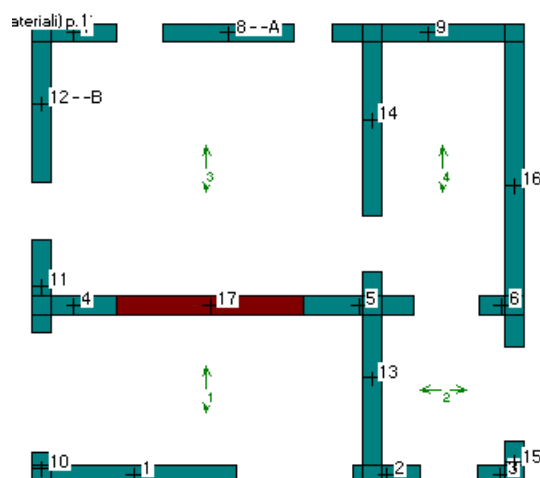


Fig. 16. Inserimento grafico di una trave.

Questa modalità grafica di inserimento si presenta quindi particolarmente vantaggiosa per definire travi, strisce, sottofinestra. Avendo attivato l'inserimento per vertici, vengono automaticamente considerati i vertici dei maschi inclusi nella finestra tracciata col mouse.

Ma l'inserimento grafico può essere utile anche per creare nuove pareti in posizioni generiche.

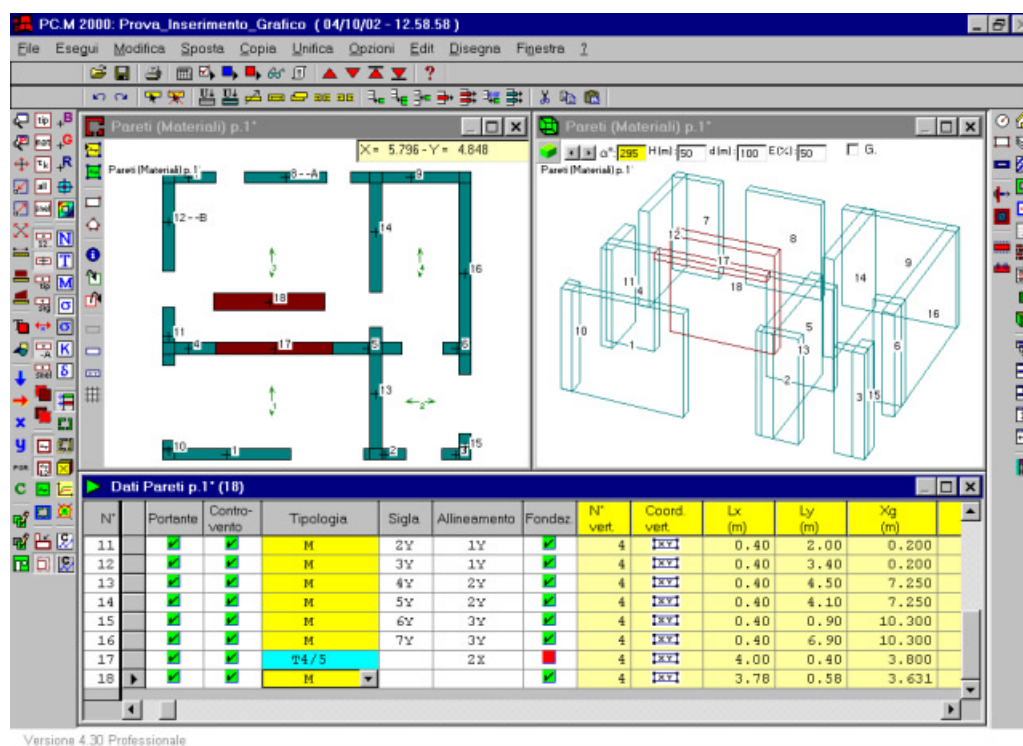



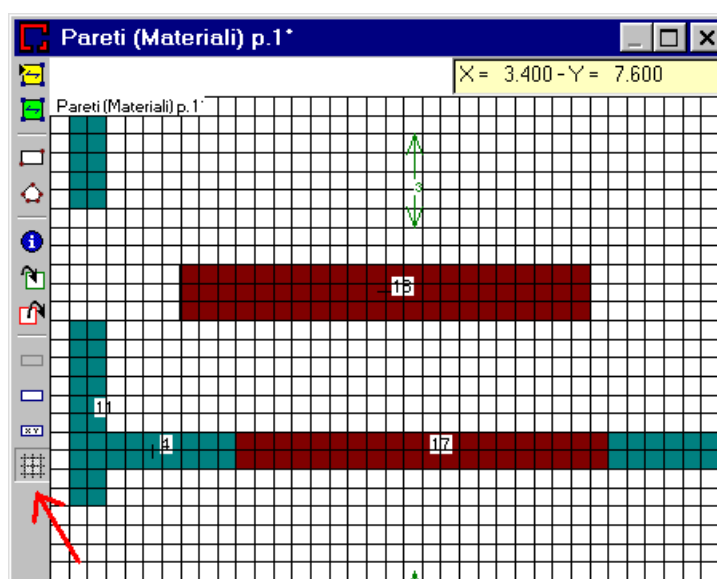
Fig. 17. Inserimento grafico di una nuova parete.

Tornando quindi all'inserimento 'fra punti qualsiasi' (se ne riattivi il check corrispondente nel menu Immagine della finestra Grafica 2D), si aggiunga un nuovo elemento (M, per default) e usando il comando grafico di Inserimento Sezione Rettangolare, si tracci il maschio murario in una posizione qualunque della pianta: la


finestra creata col movimento del mouse individua l'area che viene immediatamente trasformata, al rilascio del mouse, nella sezione trasversale della nuova parete, subito mostrata anche nella grafica 3D (fig. 17).

Questo tipo di inserimento potrebbe tuttavia essere poco preciso, dal momento che i punti qualsiasi hanno graficamente coordinate non notevoli. Può allora essere utile attivare la modalità di visualizzazione della Griglia (pulsante grafico  della Barra degli Strumenti della finestra Grafica 2D) che determina, durante lo scorrimento del mouse, l'intercettazione di punti notevoli, come mostrato dall'etichetta delle coordinate che nel corso dello spostamento del mouse non variano più con continuità ma solo nell'insieme discreto dei nodi della griglia. Può così essere più preciso il posizionamento del nuovo elemento che si desidera definire graficamente, come mostra la fig. 18. In pratica, a griglia attiva il clic del mouse individua il nodo della griglia più vicino.

Il passo della griglia può essere scelto a piacere dall'Utente, con l'apposito comando della scheda Immagine della finestra Parametri di Disegno.



**Fig. 18.** Inserimento grafico con griglia per l'esatto posizionamento.

Con modalità operative analoghe all'inserimento delle sezioni rettangolari, è possibile inserire elementi a sezione poligonale utilizzando l'apposito pulsante grafico  della Barra degli Strumenti della finestra Grafica 2D. In tal caso, i clic consecutivi del mouse individuano i vertici della poligonale che definisce la sezione trasversale dell'elemento. Se la griglia è attiva, anche in questo caso i punti individuati dal clic coincidono con nodi della griglia; creato l'ultimo vertice della poligonale, si faccia clic sul tasto destro del mouse per chiudere la poligonale stessa e terminare così la definizione dell'elemento.

Si osservi che l'Inserimento Grafico di una Sezione Rettangolare o di una Poligonale è disponibile solo mentre è attiva la finestra Pareti (occorre quindi richiamarla prima di eseguire tali comandi).

### H.5.2. COLLOQUIO CON AUTOCAD® PER LA MODIFICA DEI DATI


Per consentire l'utilizzo di AutoCAD® per l'intervento grafico sui dati in corso di modifica, PC.M versione 4.3 introduce i '**layers parziali**', aventi lo stesso nome dei layers usati per l'input iniziale dell'edificio, ma preceduti dal carattere \$. Vi saranno quindi i seguenti layers:

\$PARETI00 per le fondazioni; \$PARETI01,...,0n per i piani in elevazione.

Si faccia riferimento al file Colloquio\_con\_Cad installato da PC.M in Pcm\Es-Apprendi.

Questo file coincide con l'esempio Pali-04 illustrato al paragrafo H.4.2., ma è privo di fondazioni.

In pratica, si tratta di una situazione tipica in cui si è eseguito l'input da DXF senza aver specificato le fondazioni in CAD; esse dovranno a un certo punto essere necessariamente definite. Fino alla versione 4.2 di PC.M non era possibile tornare in CAD per disegnare le fondazioni e reimportarle nell'edificio dopo averne già schematizzata la sovrastruttura; a partire dalla versione 4.3 questa operazione è invece possibile, utilizzando nel file DXF dell'edificio (Colloquio\_con\_Cad.dxf) il layer \$PARETI00 (si consulti in CAD tale file).

Si utilizzi il nuovo comando 'Aggiungi Pareti e Fondazioni da file DXF' della finestra Fondazioni (equivalente al pulsante grafico  della Barra degli Strumenti 'Modifica I' in alto). Verrà scansionato il file DXF avente lo stesso nome del progetto corrente, e quindi saranno inserite nei dati, in coda ai dati già presenti, pareti e fondazioni poste sui 'layers parziali'.

In questo caso, le fondazioni - poste sul layer \$PARETI00 - vengono inserite, e un messaggio indica che 22 nuove fondazioni sono state lette dal file DXF.

Tale tipo di comando vale anche per le pareti e per la finestra Pareti: si comprende quindi come esso consenta il 'colloquio' col CAD nel senso che permette l'importazione di nuovi elementi. Ad esempio, se si desidera sostituire un elemento (parete o fondazione) con uno nuovo, si opererà cancellando in PC.M l'elemento non più desiderato e disegnando in CAD sul file DXF dell'edificio corrente il nuovo elemento, reimportandolo poi nel gruppo dati già presente.



Si osservi che al primo input da file DXF, i layers parziali (\$PARETI01,...) si comportano nello stesso modo dei corrispondenti layers normali (PARETI01,...).

Inoltre, un apposito algoritmo di 'controllo delle coincidenze' evita il sovrapporsi successivo di sezioni coincidenti con le precedenti, in modo tale che modifiche successive che comportino più volte la riapertura del file DXF e il recupero da esso dei dati non richiedano di togliere dai layers parziali elementi già importati.

Un'importante osservazione riguarda gli Allineamenti: le nuove entità (pareti e/o fondazioni) importate da DXF durante la sessione di modifica dei dati dell'edificio corrente, NON generano nuovi allineamenti: sarà l'Utente ad assegnare direttamente gli opportuni allineamenti ai nuovi elementi, eventualmente definendone di nuovi; in alternativa, potrà - al termine delle modifiche sulla geometria - rigenerare gli allineamenti ottimali in via automatica, usando il comando di ottimizzazione del menu Modifica della finestra Pareti.

Nel file Base-Input.dwg fornito in dotazione a PC.M in Pcm\Files sono già stati predisposti i layers parziali per un possibile caso di edificio fino a 3 piani; ovviamente, utilizzando come falsariga il file Base-Input.dwg, i layers in CAD possono essere variati a piacere, e quindi se ne possono aggiungere altri nel caso di edificio con numero di piani maggiore.

### H.5.3. COMANDO 'AREA'

Il comando Area della finestra Grafica 2D è suddiviso nei due casi di Area Rettangolare ed Area Poligonale, corrispondenti agli omonimi comandi del menu Immagine della finestra Grafica 2D o equivalentemente ai pulsanti grafici  (Area Rettangolare) e  (Area Poligonale) della Barra degli Strumenti 'Grafica: Visualizzazione I'.

Questo comando permette il calcolo dell'area individuata con il mouse nell'ambito della finestra Grafica 2D. Se la griglia è attiva, i punti corrispondenti al clic del mouse coincidono con nodi della griglia ed è quindi possibile calcolare aree di regioni delimitate con precisione.

Come per l'inserimento delle sezioni, l'Area Poligonale viene individuata con clic successivi del tasto sinistro del mouse, e chiusa dal clic sul tasto destro del mouse. L'Area Rettangolare viene invece semplicemente individuata usando il mouse nello stesso modo con cui si delimita una finestra di Zoom o si inserisce una parete rettangolare.

#### H.5.4. PARAMETRI DI DISEGNO

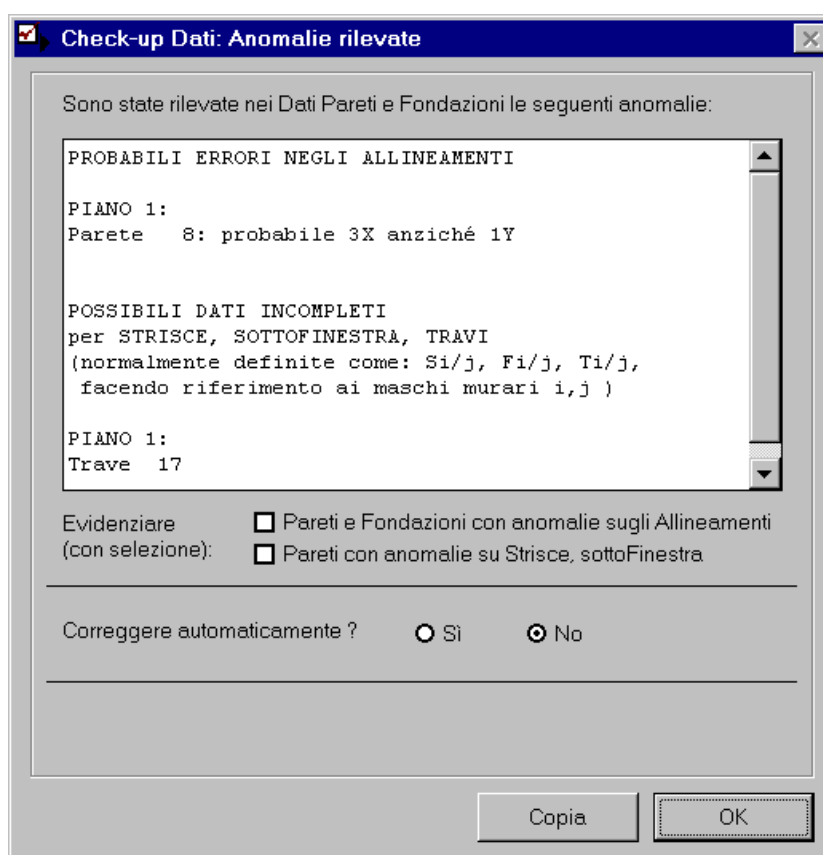
Nella finestra di dialogo 'Parametri di Disegno' è ora possibile visualizzare l'effetto delle variazioni dei Parametri di Disegno utilizzando il pulsante di comando '**Applica**': in tal caso, il disegno in 2D o 3D viene aggiornato, e la finestra Parametri di Disegno resta aperta, permettendo così di apportare in modo interattivo ulteriori modifiche.

#### H.5.5. INPUT DA FILE DXF

L'input grafico da file DXF richiede generalmente il completamento dei dati ad esempio con la specifica dei materiali delle pareti.

A partire dalla versione 4.3, PC.M importa dal file DXF il modello geometrico disegnato e lo completa automaticamente con materiali di default (p.es. mattoni pieni per l'edificio in muratura); l'Utente ovviamente apporterà poi le variazioni necessarie per il proprio caso particolare: questa modalità operativa ha un'importante implicazione, in quanto consente il calcolo immediato di un modello che è stato semplicemente disegnato in CAD, anche senza interventi ulteriori da parte dell'Utente. Tale procedura può essere utile ad esempio per una immediata valutazione, pur sommaria, delle capacità resistenti dell'organismo murario schematizzato. Inoltre, l'impostazione automatica dei materiali si distingue nei due casi di edificio nuovo e di edificio esistente, a seconda della tipologia dell'edificio correntemente impostata al momento della lettura da file DXF.





**Fig. 20.** Rilevamento delle anomalie con l'esecuzione del Check-up.

Le **anomalie** presenti nella struttura sono state quindi correttamente rilevate. Ne viene proposta la correzione automatica; viene anche data la possibilità di selezionare, e quindi evidenziare, gli elementi (pareti e fondazioni) sedi di anomalie.

Se la finestra del Check-up viene mostrata all'atto del lancio dell'elaborazione di calcolo (Analisi Statica o Analisi Sismica), un'ulteriore opzione consente o meno la prosecuzione del calcolo: si tratta di un aspetto importante, poiché vi sono alcune anomalie - rilevate dagli automatismi del programma - che non corrispondono in realtà ad errori effettivi: in tali casi, questi messaggi di Check-up devono essere ignorati, e si può procedere senz'altro col calcolo.

Si apre quindi la questione del **riconoscimento degli errori effettivi**. In generale, nelle strutture regolari (ad esempio, composte da sezioni rettangolari e con pareti sufficientemente distinte tra loro), il Check-up fornisce dati estremamente precisi. Più difficoltà può esserci nei casi di strutture complesse, con pareti poligonali, molti allineamenti, paretine piccole (pezzettini che si desidera schematizzare per esempio in un paramento X, ma hanno il lato  $L_y$  maggiore di  $L_x$ ): casi di questo genere dovrebbero essere chiaramente individuabili dall'Utente, che ovviamente conosce la struttura che sta schematizzando. Comunque, se si evidenziano tutti gli elementi rilevati, poi è possibile esaminarli uno per uno per vedere quali anomalie sono errori effettivi e quali invece no. Anche una trave T di balcone, che quindi per definizione non ha riferimenti  $Ti/j$ , viene segnalata come possibile anomalia: questo è un caso evidente di anomalia non corrispondente ad un reale errore, e quindi il messaggio del Check-up può essere senz'altro ignorato.

In ogni caso, selezionando il check del comando di menu 'non mostrare messaggi intermedi' del menu Esegui della finestra Edificio, il check-up automatico all'inizio dell'elaborazione non viene eseguito (in questo modo si può evitare che si ripresenti ad ogni elaborazione un eventuale messaggio su anomalie non corrispondenti ad errori effettivi).

Il testo contenuto nella finestra Check-up Dati può essere copiato negli Appunti di Windows in memoria (facendo clic sul pulsante di comando Copia), incollato ad esempio in Word® e quindi stampato per prendere nota su carta delle anomalie rilevate, per poi provvedere più agevolmente ai conseguenti controlli e modifiche.

### H.6.2. CALCOLO DEL $C_{max}$ PER L'ANALISI SISMICA DELLE FONDAZIONI

PC.M versione 4.3 introduce la valutazione del  $C_{max}$  anche per l'Analisi Sismica delle Fondazioni. Di esso viene tenuto conto nel risultato finale qualora nei Parametri di Calcolo sia selezionata l'opzione:

☒ Considerare anche le Verifiche Sismiche in Fondazione per il calcolo del  $C_{max}$  (= Coefficiente Sismico massimo) sostenibile dall'edificio

Se l'opzione non è selezionata, il valore calcolato verrà comunque riportato, in caratteri ridotti, nella corrispondente casella del Rapporto di Elaborazione.

Il  $C_{max}$  determinato dalla Verifica in Fondazione non è attualmente richiesto in fase di applicazione della Legge 61/98 per le zone oggetto di ripristino antisismico, ma indipendentemente da ciò si ritiene comunque importante disporre di questa informazione, in quanto anche la verifica delle fondazioni determina una massima entità della forza sismica sostenibile dall'edificio, e quindi può affiancarsi ai meccanismi di collasso della sovrastruttura (crisi dei collegamenti, azioni ortogonali, azioni complanari).

### H.6.3. NUOVE BARRE DEGLI STRUMENTI E NUOVI COMANDI DI MENU

In PC.M versione 4.3 le barre degli strumenti sono state oggetto di restyling ed ampliamento, in modo da costituire un mezzo più efficace e completo per la gestione dei comandi del software. Esse possono essere attivate indipendentemente l'una dall'altra; i singoli pulsanti grafici delle barre non sono personalizzabili. E' consigliabile attivare tutte le barre degli strumenti ed apprenderne i corrispondenti comandi: rispetto alla ricerca dei comandi nei menu, l'uso dei pulsanti grafici migliora sensibilmente la velocità operativa e permette una maggiore concentrazione sul significato delle operazioni e quindi sulla finalità stessa dell'utilizzo del software (l'analisi strutturale degli edifici in muratura).

Come noto, analogamente ai comandi di menu, alcuni pulsanti grafici possono essere attivi o meno in dipendenza dalla finestra correntemente attiva (per esempio, alle finestre grafiche corrispondono pulsanti grafici distinti dalle finestre di input/modifica dati come la finestra Pareti).


Il comando 'Barre degli Strumenti' del menu Opzioni della finestra Edificio (equivalente al pulsante grafico  della Barra degli Strumenti della finestra stessa) apre la seguente finestra di impostazione:

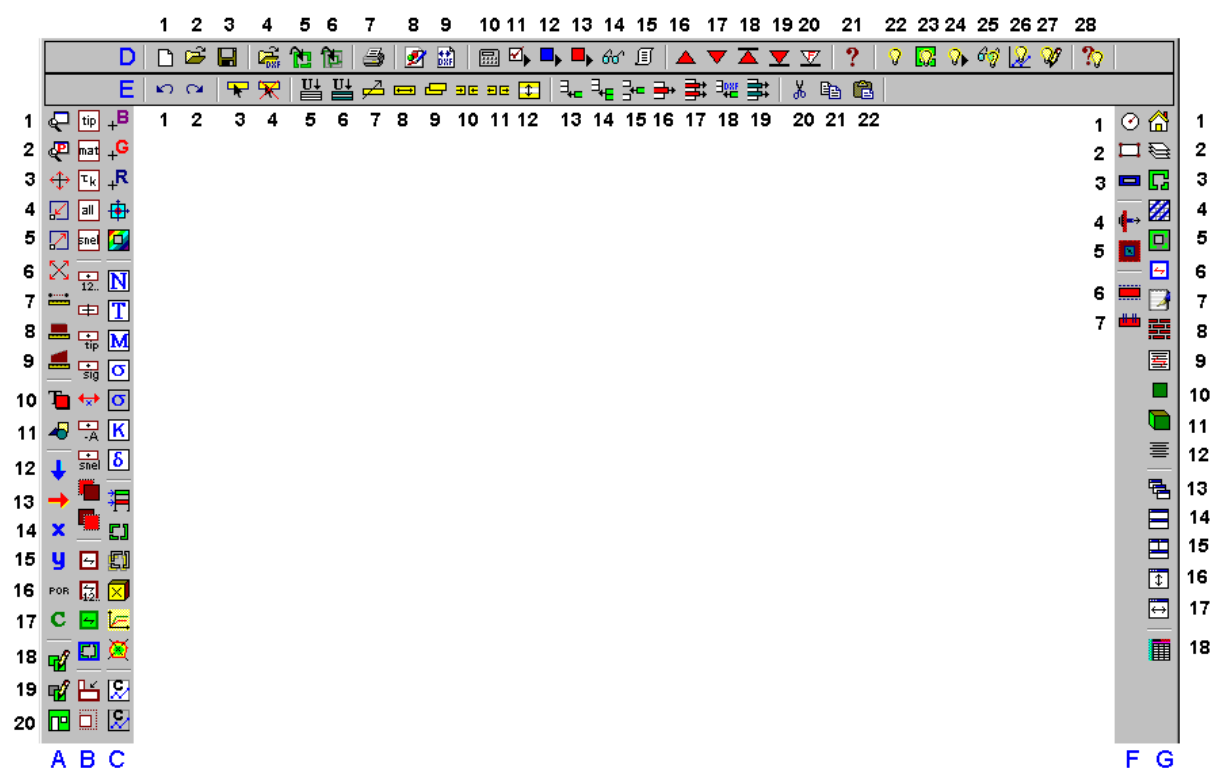


Fig. 21. Impostazioni delle Barre degli Strumenti.



Sono disponibili 7 barre degli strumenti: 3 laterali a sinistra, 2 superiori (in alto) e 2 laterali a destra.

Facendo riferimento alla fig. 22, vengono nel seguito elencati tutti i significati dei pulsanti grafici.



**Fig. 22. Barre degli Strumenti.**

### **Barre degli Strumenti Laterali a Sinistra:**

#### **A. Grafica: Visualizzazione I**

1. Zoom, 2. Zoom Precedente, 3. Pan, 4. Riduci, 5. Ingrandisci, 6. Ottimizza, 7. Distanza,
8. Area Rettangolare, 9. Area Poligonale (menu Immagine, finestra Grafica)
10. Tipo di Disegno, 11. Parametri di Disegno
12. Risultati Analisi Statica, 13. Risultati Analisi Sismica, 14. In direzione X, 15. In direzione Y,
16. Metodo Por, 17. Combinazioni di Carico
18. Disegna tutto, 19. Disegna solo selezione, 20. Prospetto

#### **B. Grafica: Visualizzazione II**

1. Dati: Tipologia, 2. Dati: Materiali, 3. Dati: Resistenza a Taglio, 4. Dati: Allineamenti, 5. Dati: Snellezza, (Tipi di Disegno)
6. Numerazione, 7. Baricentri, 8. Tipologie, 9. Sigle, 10. Allineamenti, 11. Setti, 12. Snellezze,
13. Piano Sottostante, 14. Piano Sovrastante, 15. Solai: Orditura, 16. Solai: Numerazione, 17. Solai: Aree,
18. Perimetro di Piano, 19. Evidenzia, 20. Scala Variabile (Parametri di Disegno)

#### **C. Grafica: Elaborazioni**

1. Baricentro Geometrico, 2. Centro di Pressione, 3. Centro delle Rigidezze,
4. Fondazioni: Nocciolo d'inerzia - Assi principali, 5. Fondazioni: Colorazione continua,
6. Sforzo Normale, 7. Taglio, 8. Momento Flettente, 9. Tensioni: Valori, 10. Tensioni: Verifica,
11. Rigidezza, 12. Spostamento assoluto,
13. Forze e Coefficienti, 14. Pianta Pareti, 15. Spostamenti, 16. Lesioni,

17. Diagramma Forza-Spostamento, 18. Dominio di Resistenza,  
19. Coefficienti 'C': Valori, 20. Coefficienti 'C': Verifica  
(Parametri di Disegno)

**Barre degli Strumenti Superiori:**

**D. Standard**

1. Nuovo edificio, 2. Apri edificio, 3. Salva edificio, 4. Input da file DXF,  
5. Importa pareti di PC.M, 6. Importa fondazioni di PC.M,  
7. Stampa, 8. Salva su file BMP, 9. Salva su file DXF,  
10. Parametri di Calcolo, 11. Esegui Check-up Dati, 12. Esegui Analisi Statica, 13. Esegui Analisi Sismica,  
14. Mostra Rapporto di Elaborazione, 15. Elenco Allineamenti,  
16. Piano Superiore, 17. Piano Inferiore, 18. Ultimo Piano, 19. Piano 1, 20. Fondazioni,  
21. Guida, 22. Proposte di Intervento: Parametri Globali, 23. Proposte di Intervento: Pareti,  
24. Esegui Analisi Sistema Esperto, 25. Risultati Analisi Sistema Esperto,  
26. Grafico Risultati Analisi Sistema Esperto, 27. Disegno Risultati Analisi Sistema Esperto,  
28. Guida al Sistema Esperto

**E. Modifica I**

1. Annulla, 2. Ripristina,  
3. Seleziona, 4. Deseleziona,  
5. Unifica seguenti, 6. Unifica selezione,  
7. Sposta, 8. Stira, 9. Copia, 10. Unisci, 11. Dividi, 12. Allarga tutto,  
13. Aggiungi riga, 14. Aggiungi righe, 15. Inserisci riga, 16. Elimina riga,  
17. Elimina selezione, 18. Aggiungi da DXF, 19. Esporta selezione,  
20. Taglia, 21. Copia negli Appunti, 22. Incolla

**Barre degli Strumenti Lateralì a Destra:**


**F. Modifica II / Interventi**

1. Sezione Circolare, 2. Sezione Rettangolare, 3. Pannello portante,  
4. Tiro dai tiranti, 5. Verifica di ancoraggio,  
6. Applica Intonaco armato, 7. Applica Iniezioni cementizie

**G. Gestione Finestre**

1. Finestra Edificio, 2. Finestra Piani, 3. Finestra Pareti, 4. Rinforzi Pareti,  
5. Finestra Fondazioni, 6. Finestra Solai, 7. Finestra Relazione,  
8. Tabella Materiali, 9. Tabella Solai,  
10. Finestra Grafica 2D, 11. Finestra Grafica 3D, 12. Legenda,  
13. Sovrapponi, 14. Affianca, 15. Disponi, 16. Allunga, 17. Allarga,  
18. Copia immagine tabella

### H.6.4. COPIA IMMAGINE TABELLA

Il comando ‘Copia immagine tabella’, corrispondente al pulsante grafico  della Barra degli Strumenti ‘Gestione Finestre’, copia negli Appunti di Windows l’immagine grafica della tabella corrente. L’immagine può poi ovviamente essere incollata ad esempio in un documento di Word.

Questo comando può in particolare essere utile per un’hardcopy della Tabella Materiali: si può ottenere ad esempio l’immagine mostrata in fig. 23 (se l’immagine non è completa a causa della lunghezza della tabella, sarà opportuno scorrere il resto della tabella e ad esempio eseguire un’altra copia di immagine).

N°	Col.	Descrizione	Tauk (N/m²)	G (N/m²)	E (N/m²)	Dut	Sk (N/m²)	Sr (N/m²)	Pspec (kg/m³)
1		Pareti o pilastri in Cemento Armato	0.0	1300000	3000000	0.0	0	0.0	2500
2		Pilastri in Acciaio	0.0	8000000	21000000	0.0	0	0.0	7850
3		Mattoni pieni, malta bastarda	12.0	13200	79200	1.5	300	12.0	1800
4		Blocco modulare, malta bastarda	8.0	8800	52800	1.5	250	8.0	1800
5		Blocco argilla espansa o calcestruzzo	18.0	19800	118800	1.5	300	18.0	1800
6		Pietrame in cattive condizioni	2.0	2200	13200	1.5	50	2.0	2200
7		Pietrame squadrato, buone condizioni	7.0	7700	46200	1.5	200	7.0	2200
8		Pietra a sacco in buone condizioni	4.0	4400	26400	1.5	150	4.0	2200
9		Blocchi di tufo di buona qualità	10.0	11000	66000	1.5	250	10.0	2200
10		Mattoni pieni, malta cementizia (Muratura	20.0	22000	132000	2.0	500	20.0	1800
11		Forati doppio UNI, malta cementizia (Mura	24.0	26400	158400	2.0	500	24.0	1000
12		Muratura con Intonaco armato	18.0	19800	118800	2.0	500	18.0	1800
13		Pietrame inietdato	11.0	12100	72600	2.0	300	11.0	2200
14		Pietra a sacco inietdato	11.0	12100	72600	2.0	300	11.0	1800
15		Pietra a sacco con Intonaco armato	10.0	11000	66000	2.0	300	10.0	2000
16		Pietra a sacco in buone condizioni	3.5	3850	23100	1.5	150	3.5	1800
17		Vuln.-Muratura a sacco in pietrame	3.0	3300	19800	1.5	50	3.0	1800
18		Vuln.-Muratura in pietrame non squadrato	5.0	5500	33000	1.5	50	5.0	2200
19		Vuln.-Muratura in pietrame squadrato e be	8.0	8800	52800	1.5	150	8.0	2200
20		Vuln.-Muratura consolidata con iniezioni	11.0	12100	72600	2.0	300	11.0	2200
21		Vuln.-Mattoni pieni o semipieni con malta	12.0	13200	79200	1.5	300	12.0	1800
22		Vuln.-Blocchi di argilla espansa pieni o	12.0	13200	79200	1.5	300	12.0	1800
23		Vuln.-Blocchi di calcestruzzo pieni o sem	12.0	13200	79200	1.5	300	12.0	1800
24		Vuln.-Blocchi di laterizio pieni o semipi	12.0	13200	79200	1.5	300	12.0	1800
25		Vuln.-Mattoni pieni o semipieni con malta	20.0	22000	132000	1.5	500	20.0	1800
26		Vuln.-Blocchi di argilla espansa pieni o	20.0	22000	132000	1.5	500	20.0	1800
27		Vuln.-Blocchi di calcestruzzo pieni o sem	20.0	22000	132000	1.5	500	20.0	1800
28		Vuln.-Blocchi di laterizio pieni o semipi	20.0	22000	132000	1.5	500	20.0	1800
29		Travi in legno di conifere	0.0	0	0	0.0	0	0.0	600
30		Travi in legno di latifoglie	0.0	0	0	0.0	0	0.0	800

Fig. 23. Immagine della Tabella Materiali.

### H.6.5. NUOVI COMANDI DELLA FINESTRA PARETI

La finestra Pareti presenta nel menu Esegui alcune nuove utilità per la gestione dei dati in corso di modifica. Oltre al comando di Check-up Dati, descritto in dettaglio al paragrafo H.6.1., e al comando ‘Aggiungi Pareti e Fondazioni da file DXF’, descritto al paragrafo H.5.2., sono presenti altri due nuovi comandi:

**Riferisci agli allineamenti** = attribuisce il più probabile allineamento (fra quelli presenti attualmente nell’edificio) agli elementi (pareti e fondazioni) non aventi ancora l’allineamento definito.

**Riferisci alle pareti (S F T)** = associa automaticamente alle pareti tutti gli elementi S, F, T non ancora riferiti a pareti. Utilizzando questo comando, è così possibile evitare schematizzazioni dove gli elementi S, F e T sono incompleti, per i quali cioè, pur essendo geometricamente definiti, la tipologia non è riferita a pareti o pilastri.

#### H.6.6. VARIE

Fra le funzionalità complementari di PC.M, versione 4.3, sono da notare in particolare le seguenti.

- **Ripristino delle Impostazioni Internazionali:** qualora PC.M all'avvio abbia richiesto la modifica delle Impostazioni Internazionali, e questa sia stata confermata dall'Utente, al momento dell'uscita dal programma, PC.M propone il ripristino delle Impostazioni Internazionali ai valori precedenti.
- **Verifiche per azioni ortogonali** al piano medio della parete (Statica: Verifica a Compressione D.M.20.11.1987, Sismica: Azioni Ortogonali secondo Circ. 21745 o secondo D.M. 20.11.1987): la trattazione è stata estesa in modo completo a tutte le sezioni notevoli delle pareti (sommità, mezzeria, base).
- **Files di sola lettura:** qualora gli archivi di PC.M vengano recuperati da CD su cui erano stati archiviati, per essere posti in Pcm\Edifici al fine di una successiva riapertura, essi mantengono l'impostazione tipica del CD-Rom di 'Sola lettura'. Se PC.M rileva questo attributo, avverte l'Utente e converte automaticamente il file in un normale archivio (fino alla versione 4.2 di PC.M i files in sola lettura causavano errore nella riapertura).