



AEDES Software



PC.M: PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI IN MMURATURA



PC.E: PROGRAMMA PER IL CALCOLO AGLI EELEMENTI FINITI

Analisi di strutture in muratura

secondo **nuova Normativa Tecnica** (D.M. 14.1.2008)
e **precedenti Norme** (Metodo Por, D.M. 16.1.1996, D.M. 20.11.1987)

Manuale di PC.E 

Volume 3. Tutorial

Manuale di PC.E

Piano dell'opera:

Volume 1. Teoria

Volume 2. Manuale d'uso

Questo volume: ► **Volume 3. Tutorial**

Precedente edizione: Ing. Francesco Pugi, "Edifici in Muratura e nuova Normativa Sismica. L'Analisi Pushover come evoluzione del Metodo Por", ALINEA, Firenze, 2006.

Revisione 2012 dell'esempio applicativo a cura dell'Ing. Stefano Giannarelli.

Volume 4. Esempi applicativi - Procedure operative

Volume 5. Manuale di validazione

Volume 6. Edifici monumentali

Tutti i diritti sono riservati, anche di riproduzione parziale, a norma di legge e delle convenzioni internazionali. Nessuna parte di questo volume può essere riprodotta in qualsiasi forma o mezzo elettronico o meccanico, per alcun uso, senza il permesso scritto della AEDES Software per Ingegneria Civile.

Edizione 2011 (rev. 20.10.2011)



© 1997-2011 **AEDES** Software per Ingegneria Civile

Via F. Aporti 32 - 56028 SAN MINIATO (PI)

Tel.: **0571.401073** - Fax: **0571.401173**

E-mail: **info@aedes.it** - Internet: **www.aedes.it**

AVVERTENZE E CONDIZIONI D'USO

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

Il software e la documentazione allegata, anche se curati con scrupolosa attenzione, non possono comportare specifiche responsabilità di AEDES per involontari errori o inesattezze: pertanto, l'utilizzatore è tenuto a controllare l'esattezza e la completezza del materiale utilizzato. Le correzioni relative ad eventuali errori tipografici saranno incluse nelle versioni di aggiornamento.


PC.E 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.E fino a quando non avrà sottoscritto la suddetta licenza d'uso.

L'utente è responsabile della scelta di PC.E 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.E sono quelle riportate nella licenza d'uso. La AEDES non garantisce che le funzioni contenute in PC.E 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.E possono essere marchi di fabbrica o marchi registrati dalle rispettive Società.

INDICE

 **Importante!** Per l'apprendimento delle funzionalità del software, l'Utente è invitato a ripercorrere passo-passo le fasi descritte in questo Manuale, dall'inserimento iniziale dei dati fino al completamento delle analisi.

L'elenco dei paragrafi, riportato in questo Indice, include la segnalazione del corrispondente file dell'esempio applicativo, secondo una progressione legata allo svolgimento consecutivo delle operazioni descritte nei paragrafi del Manuale.

Ad esempio, Tutor2012_02.pce indica che le operazioni eseguite fino a quel punto trovano corrispondenza al file archiviato in Tutor2012_02, fornito dall'installazione di PC.E in formato compresso (.z09) e normalmente apribile da menu File della finestra Progetto.

In tal modo, per l'Utente che sta ripercorrendo le fasi di introduzione dati ed esecuzione delle analisi è possibile, in caso di dubbi e incertezze sul modello elaborato fino a un certo punto, abbandonare il file da lui stesso elaborato fino a quel punto, aprire il file indicato (p.es. Tutor2012_02) contenente tutti i passi fino a tal punto eseguiti e proseguire a partire da tale file preinstallato con i passi successivi. ■

1. ANALISI secondo D.M.14.1.2008. INTRODUZIONE DATI 6

1.1. L'EDIFICIO OGGETTO DI STUDIO: SCELTE DI MODELLAZIONE 6

1.2. IL FILE DXF PER INSERIMENTO GEOMETRICO DA CAD 8

1.3. INPUT IN PC.E TRAMITE FILE DXF 11

[Tutor2012_01.pce](#)

1.4. DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI COMANDI DI PC.E 12

1.5. IL TELAIO EQUIVALENTE IN PC.E 14

1.6. ASTE E VINCOLAMENTI 19

1.7. MODELLAZIONE DEGLI IMPALCATI 25

1.7.1. PIANO 0 (Z=0.000) 25

1.7.2. PIANO 1 (Z=2.200) 26

1.7.3. LABILITA' 30

[Tutor2012_02.pce](#)

1.7.4. PIANO 2 (Z=5.400) 35

1.7.5. PIANO 3 (Z=8.430) 38

1.8. INSERIMENTO SOLAI 40

1.9. PERIMETRI DI PIANO 44

[Tutor2012_03.pce](#)

1.10. MATERIALI 46

1.11. CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI (CCE) 50

[Tutor2012_04.pce](#)

1.12. CARICHI UNIFORMEMENTE DISTRIBUITI AGGIUNTIVI 55

1.13. COMBINAZIONI CONDIZIONI DI CARICO (CCC) PER L'ANALISI STATICA 57

1.14. PIANI RIGIDI O DEFORMABILI 59

1.15. VINCOLAMENTO DEI NODI: SHEAR TYPE O ROTAZIONI LIBERE 60

1.16. FONDAZIONI 60

1.17. STRISCE e SOTTOFINESTRA 60

1.18. TRATTI RIGIDI 61

1.19. PARAMETRI DI CALCOLO 63

[Tutor2012_05.pce](#)

2. ESECUZIONE ANALISI STATICHE E SISMICHE. VALUTAZIONE DEI RISULTATI 68

2.1. CHECK-UP DATI 68

2.2. ANALISI DEI MODI DI VIBRARE 69

2.3. ANALISI STATICA NON SISMICA 71

2.4. TENSIONI IN FONDAZIONE, DEFORMATA, CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE 73

2.5. ANALISI SISMICHE E CONDIZIONI DI REGOLARITA' 75

2.6. ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE (PUSHOVER) 76

2.7. PRESSOFLESSIONE ORTOGONALE IN ANALISI SISMICA LINEARE E DINAMICA MODALE 78

2.8. COLLEGAMENTO CON ANALISI CINEMATICA E MODULO ESP 80

[Tutor2012_SA.esp](#)

2.9. RAPPORTO FINALE VERIFICHE DI SICUREZZA STATO ATTUALE 82

[Tutor2012_SA.pce](#)

2.10. STATO DI PROGETTO 83

2.10.1. ANALISI STATICA NON SISMICA 84

2.10.2. ANALISI SISMICA NON LINEARE 85

2.10.3. ANALISI SISMICA LINEARE E DINAMICA MODALE 86

2.10.4. ANALISI CINEMATICA 87

[Tutor2012_SP.pce](#)

[Tutor2012_SP.esp](#)

2.11. CONFRONTO STATO ATTUALE E DI PROGETTO. DIMOSTRAZIONE DI ADEGUAMENTO 87

2.12. RELAZIONE DI CALCOLO 93

Vol. 3. TUTORIAL

CONVENZIONI TIPOGRAFICHE

Nella descrizione di alcuni parametri utilizzati in analisi sismica, viene fatto diretto riferimento ai corrispondenti paragrafi del D.M.14.1.2008 (NTC08) attraverso il simbolo **§** seguito dal numero del paragrafo (seguendo l'impostazione delle norme, **§C** indica il corrispondente paragrafo della Circolare applicativa di NTC08: Circ. 617 del 2.2.2009). Esempi:

**Murature: PressoFlessione Ortogonale (§7.2.3)
edifici esistenti: §C8.7.1.2**

dove §7.2.3 indica il paragrafo 7.2.3 del D.M.14.1.2008 che tratta la PressoFlessione Ortogonale per le pareti in muratura; §C8.7.1.2 indica il paragrafo C8.7.1.2 della Circolare 617 del 2.2.2009.

I riferimenti ai paragrafi del presente Manuale d'uso sono invece realizzati racchiudendo il numero di paragrafo tra parentesi quadre. Ad esempio:

Ulteriori informazioni in [3.2.3]

La numerazione delle figure si compone di un primo carattere corrispondente al capitolo in cui la figura è inserita, e un secondo carattere relativo al numero progressivo (con interposto il carattere .). Ad esempio:

Fig. 1.4

significa: Fig. 4 del capitolo 1.

Gli EuroCodici sono abbreviati con: EC (ad es: EC6 indica EuroCodice 6); nei riferimenti ai paragrafi, il nome dell'EuroCodice è seguito dal paragrafo indicato con il simbolo §. Ad esempio:

EC6-§4.5.3.(6)

cioè il paragrafo 4.5.3.(6) dell'EuroCodice 6 (dedicato alla progettazione di strutture in muratura).

Per quanto riguarda altre norme di riferimento:

C26BBCC02122010 indica la Circolare 26 del 2.12.2010 del Ministero dei Beni Culturali per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni; il riferimento ad un paragrafo è indicato facendo seguire alla sigla della norma il numero del paragrafo preceduto dal simbolo §. Ad esempio:

C26BBCC02122010§5.4.2

indica il paragrafo 5.4.2 della Circolare 26 del 2.12.2010 del Ministero dei Beni Culturali.



Suggerimento

Consigli per ottimizzare l'utilizzo del software.



Nota bene

Osservazioni e note che è opportuno conoscere.



Importante!

Da sapere: informazioni tecniche, approfondimenti, riferimenti normativi.



Attenzione

Da sapere assolutamente: comandi e operazioni particolarmente delicate.

1. ANALISI secondo D.M.14.1.2008. INTRODUZIONE DATI

Nel presente Tutorial valuteremo la resistenza sismica di un edificio, con progetto di consolidamento, in applicazione delle normative vigenti: NTC08 e relativa circolare attuativa.

Il percorso proposto si articola nei seguenti passi:

- introduzione dei dati da dxf direttamente in PC.E e completamento del modello (Cap. 1: ANALISI NTC2008: INTRODUZIONE DATI IN PC.E);
- esecuzione delle analisi e delle verifiche in PC.E, nello stato attuale e di progetto ed il loro confronto (Cap. 2: ESECUZIONE ANALISI STATICHE E SISMICHE E VALUTAZIONE DEI RISULTATI).

1.1. L'EDIFICIO OGGETTO DI STUDIO: SCELTE DI MODELLAZIONE

Studiamo un edificio esistente adibito a civile abitazione, che ha una dimensione massima in pianta di circa 14.55 x 8.30 m e che consiste in un piano interrato realizzato con blocchi di calcestruzzo non armato e 2 piani fuori terra in mattoni semipieni. Il piano interrato ha una dimensione in pianta minore rispetto ai piani fuori terra, pertanto le fondazioni sono su piani sfalsati.

Gli orizzontamenti sono costituiti da solai in laterocemento di spessore 18+3 cm che possono essere considerati rigidi, la copertura è a capanna.

I grafici di rilievo possono essere consultati in dettaglio nel file:

C:\Aedes2012\Pcm\Progetti\Tutor2012_Rilievo.dxf. In questo file sono riportate le varie piante architettoniche (layer: PINTERR_ARCH, ecc), sovrapposte a quelle strutturali (layer: PINTERR_STRUTT, ecc).

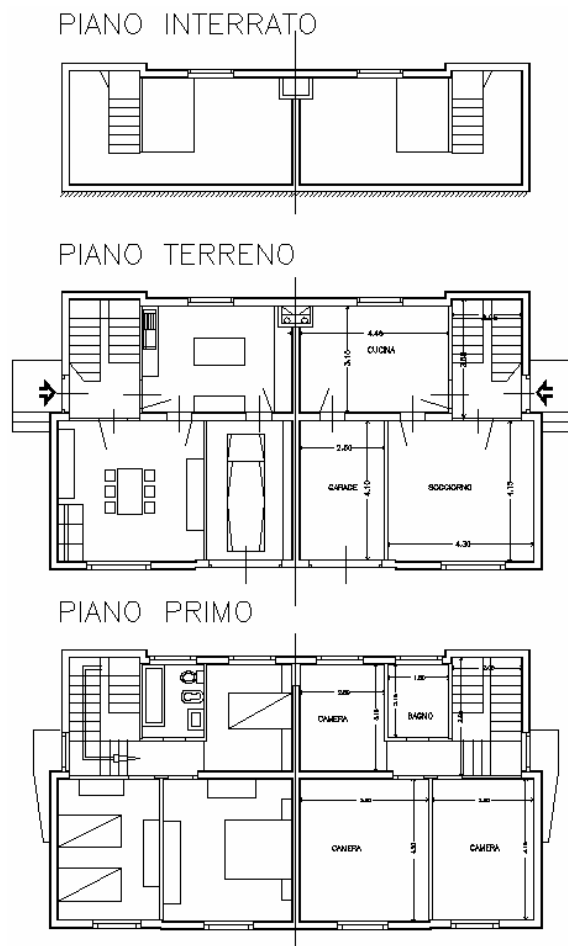
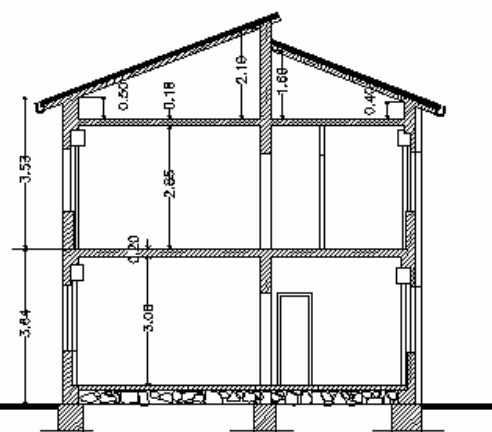


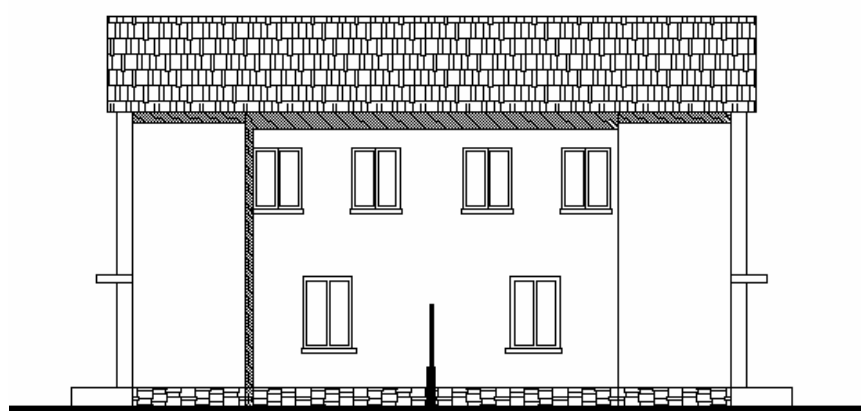
Fig. 1.1.1.



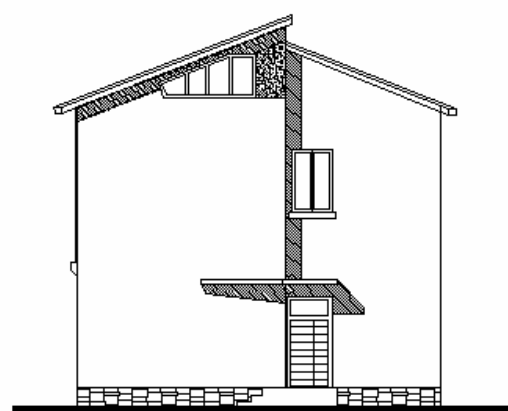
PROSPETTO FRONTALE



SEZIONE



PROSPETTO TERGALE



PROSPETTO LATERALE



PROSPETTIVA

Fig. 1.1.2.

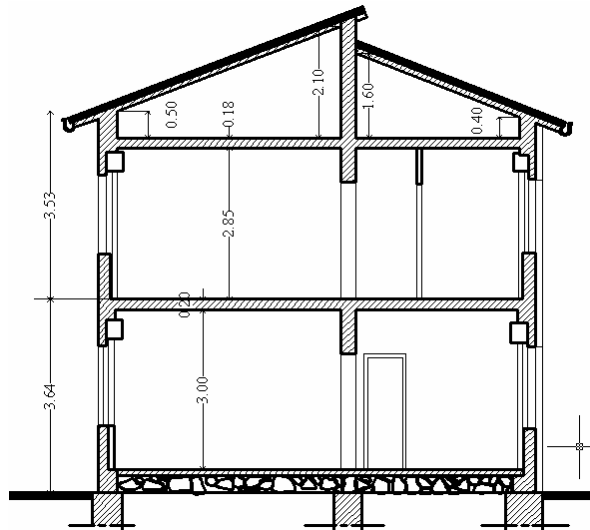


Fig. 1.1.3.

Visto che l'altezza delle pareti perimetrali di sottotetto è di 40-50 cm, preferiamo non definire un piano sismico a livello del sottotetto. I solai di sottotetto dunque verranno considerati come se fossero in copertura: così facendo si opera a favore di sicurezza, poiché i carichi di sottotetto vengono posti più in alto di dove realmente si trovano e la deformabilità delle aste può essere correttamente descritta attraverso le zone rigide in sommità. Le pareti dell'ultimo piano verranno comunque rappresentate con le altezze variabili necessarie a descriverle completamente.

Pertanto decidiamo di schematizzare l'edificio con 3 piani: uno è interrato (non presente nella figura della sezione), due sono fuori terra.

Naturalmente il programma consente di seguire anche altre strade, come l'introduzione sia dei solai orizzontali del sottotetto che di quelli inclinati della copertura o come il riportare i solai della copertura a livello del sottotetto, modellando la copertura come se fosse piana.

Pertanto le altezze dei piani sismici sono i seguenti:

- Piano 1) $H_{\text{piano}} = 2.20 \text{ m}$ (2.00 m. di altezza libera dell'interrato + 0.20 di solaio piano terreno)
- Piano 2) $H_{\text{piano}} = 3.20 \text{ m}$ (3.00 + 0.20, come da disegno della sezione)
- Piano 3) $H_{\text{piano}} = 3.03 \text{ m}$ (2.85 + 0.18, come da disegno della sezione)

Dobbiamo considerare anche l'altezza delle fasce soprafinestra che sono rispettivamente:

- Piano 1) $H_{\text{strisce}} = 0.30 \text{ m}$
- Piano 2) $H_{\text{strisce}} = 0.90 \text{ m}$
- Piano 3) $H_{\text{strisce}} = 1.10 \text{ m}$ (All'ultimo piano a causa delle pareti ad altezza variabile, le strisce avranno altezze diverse, qui riportiamo quella minima, in seguito cambieremo le altre).

Per quanto riguarda l'altezza dei sottofinestra abbiamo:

- Piano 1) $H_{\text{sottofinestra}} = 1.40 \text{ m}$
- Piano 2) $H_{\text{sottofinestra}} = 0.80 \text{ m}$
- Piano 3) $H_{\text{sottofinestra}} = 0.80 \text{ m}$

1.2. IL FILE DXF PER INSERIMENTO GEOMETRICO DA CAD

Per l'introduzione dei dati la strada migliore infatti è la realizzazione di un file DXF contenente le piante strutturali dei vari piani sovrapposte. Ogni pianta sarà costituita da rettangoli e polilinee appartenenti a layer appositi, con nomi specifici (gli utenti che non dispongono di CAD sul proprio sistema, possono comunque procedere regolarmente, in quanto il DXF viene fornito già pronto per l'input in PC.E).

Si consulti il file: **Tutor2012_01.dxf** (C:\Aedes2012\Pcm\Progetti\Tutor2012_01.dxf).

Questo DXF contiene le piante strutturali dell'edificio, costituite da rettangoli e polilinee posti su layer appositi, Si può osservare come ogni elemento sia posto nel layer specifico: i maschi murari del piano primo appartengono al layer PARETI01; le strisce e i sottofinestra del piano primo sono assegnati rispettivamente ai layer STRISCE01 e

SOTTOFIN01 e così via ai vari piani. PC.E leggerà la tipologia e costruirà un modello tridimensionale assegnando le altezze che verranno specificate nel modo in seguito descritto.

Nel file non sono state disegnate fondazioni, perché esse verranno create direttamente dal programma. Vi sono anche altri layer predefiniti, non utilizzati in questo modello, come quelli che servono per introdurre elementi in cemento armato (PARETICA01, MURICA01), travi (TRAVI01), ecc. Per una lista completa si veda il file "Base_Input.dxf" (C:\Aedes2012\Pcm\Files\Base_Input.dxf).

Le piante di vari piani devono essere sovrapposte in verticale, cioè lungo l'asse Z ortogonale al piano del disegno quindi vengono viste proiettate l'una sull'altra; devono essere situate con l'angolo in basso a sinistra nell'origine delle coordinate. (Per una visualizzazione ottimale in PC.E è preferibile riferire il disegno all'origine degli assi in CAD).

Naturalmente, per arrivare alle piante strutturali si devono effettuare alcune semplificazioni sulla pianta architettonica. Nella figura seguente sono riassunte alcune considerazioni fatte per l'edificio in esame, distinte fra i tre livelli: piano interrato (=piano 1), piano terreno (=piano 2), piano primo (=piano 3).

Si raccomanda sempre di osservare attentamente la geometria della struttura, così da escludere aspetti non significativi per l'analisi strutturale e di porre da subito l'attenzione a zone critiche, sede di possibili interventi.

Si raccomanda di non definire sottofinestra che vadano a scaricare direttamente sulle fondazioni, perché sembra una complicazione inutile collegare a dei nodi su suolo elastico, oltre ad una trave su suolo elastico, un altro elemento trave. Pertanto in questo dxf non si sono introdotte.

È bene far notare subito una differenza fondamentale tra le strutture in calcestruzzo armato e quelle in muratura. Nelle prime la struttura a telaio è di immediata definizione, nelle strutture murarie invece la creazione di un telaio equivalente può avvenire in diversi modi. Questo rispecchia la natura della muratura che a causa della debole resistenza a trazione è caratterizzata da una struttura resistente che cambia in funzione delle azioni sollecitanti. Quindi fin dalla fase di input in CAD è di fondamentale importanza una corretta scelta della divisione delle pareti reali in rettangoli e polilinee, perché le aste verticali in PC.E verranno definite nei baricentri delle polilinee CAD. Quindi si dovrà cercare una divisione in pianta che rispecchi la realtà del comportamento strutturale. Ad esempio si veda la figura seguente:

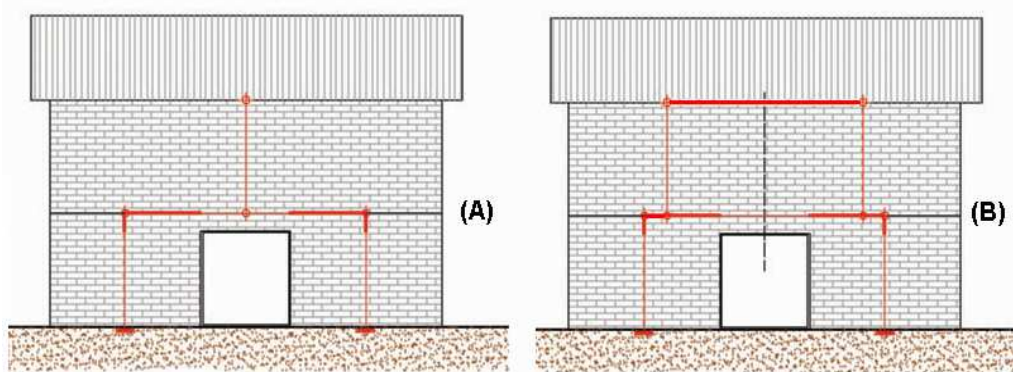


Fig. 1.2.1.

Il telaio dello schema di destra (B) sembra molto più rispondente alla realtà del comportamento strutturale e quindi quando si prepara il DXF di introduzione dei dati si avrà cura di dividere la parete superiore in due parti. Questo studio del comportamento reale della struttura con scelta del telaio da studiare appare di fondamentale importanza per la corretta modellazione e successiva comprensione dei risultati e quindi degli interventi.

Naturalmente tale scelta deve tenere conto anche delle indicazioni normative perché mentre lo schema B può essere valido per gli edifici esistenti, per i nuovi la continuità verticale dei maschi comporterebbe la divisione della parete superiore in tre parti: una parete larga quanto l'apertura sottostante e le due laterali. La parete soprastante l'apertura dovrebbe essere schematizzata come non di controvento e quindi vincolata a biella. Approfondimenti su questi aspetti saranno condotti nei prossimi paragrafi.

Un consiglio operativo molto semplice è il seguente: partire nella scelta della divisione in rettangoli delle pareti dal piano con il maggior numero di aperture, sono queste infatti che prevalentemente determinano il numero di elementi verticali portanti.

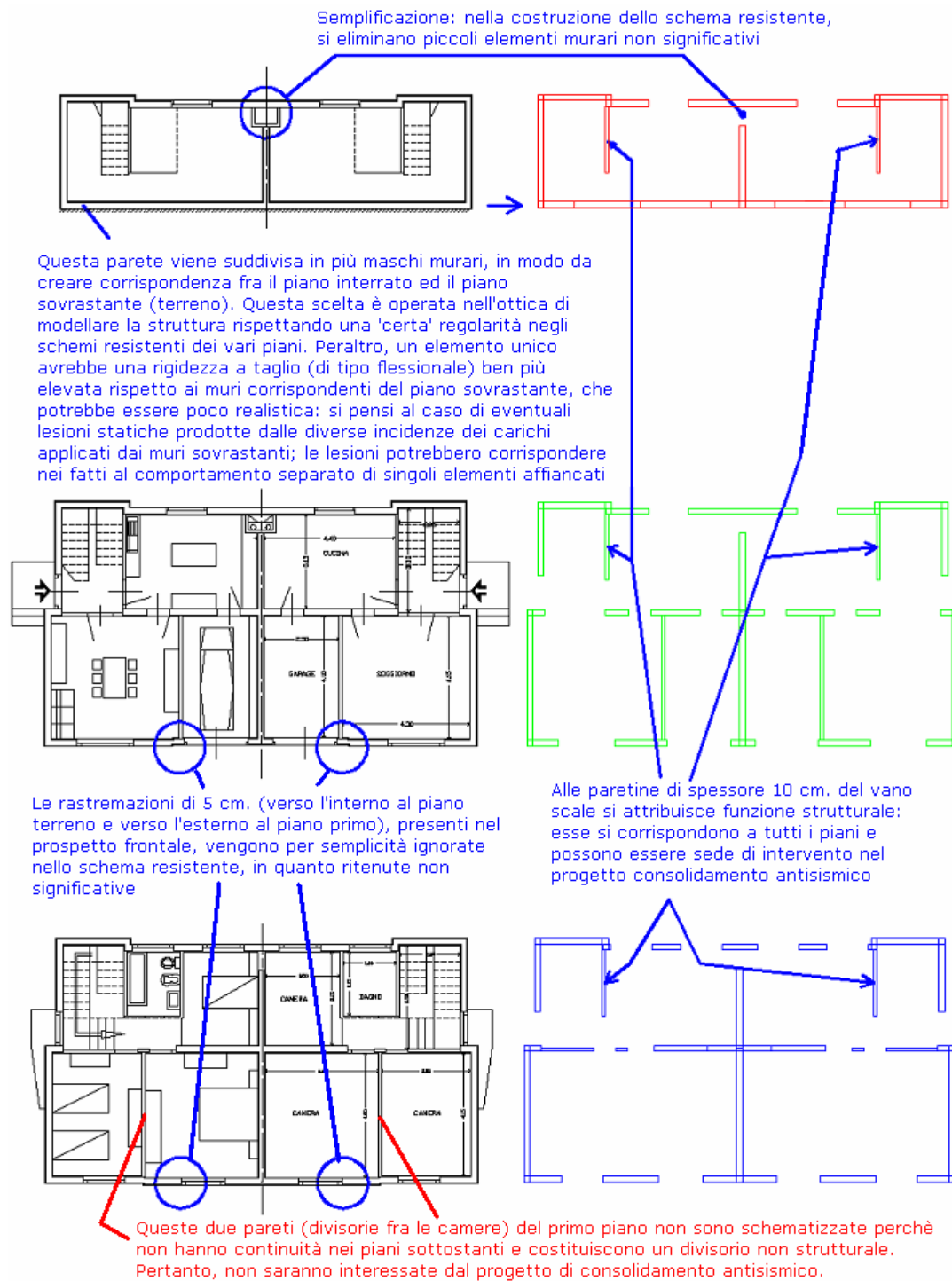


Fig. 1.2.2.

Riguardo **lo spessore delle strutture resistenti** si è scelto di non includere l'intonaco esistente nello spessore resistente delle pareti, definendo quindi murature resistenti di 20 cm effettivi (e non di 25 come si rileva nell'architettico, essendo: 20 muratura portante + 2.5 intonaco interno + 2.5 intonaco esterno). La questione può essere rilevante, in quanto nelle verifiche di stabilità l'aumento dello spessore comporta aumento dei coefficienti di sicurezza, e quindi la verifica considerando la sola muratura effettiva è a favore di sicurezza. La presenza dell'intonaco può essere tenuta in conto nella valutazione del peso specifico del materiale murario, incrementandolo in modo tale che il peso complessivo della parete sia pari alla componente dovuta alla sola muratura più quella dovuta all'intonaco.

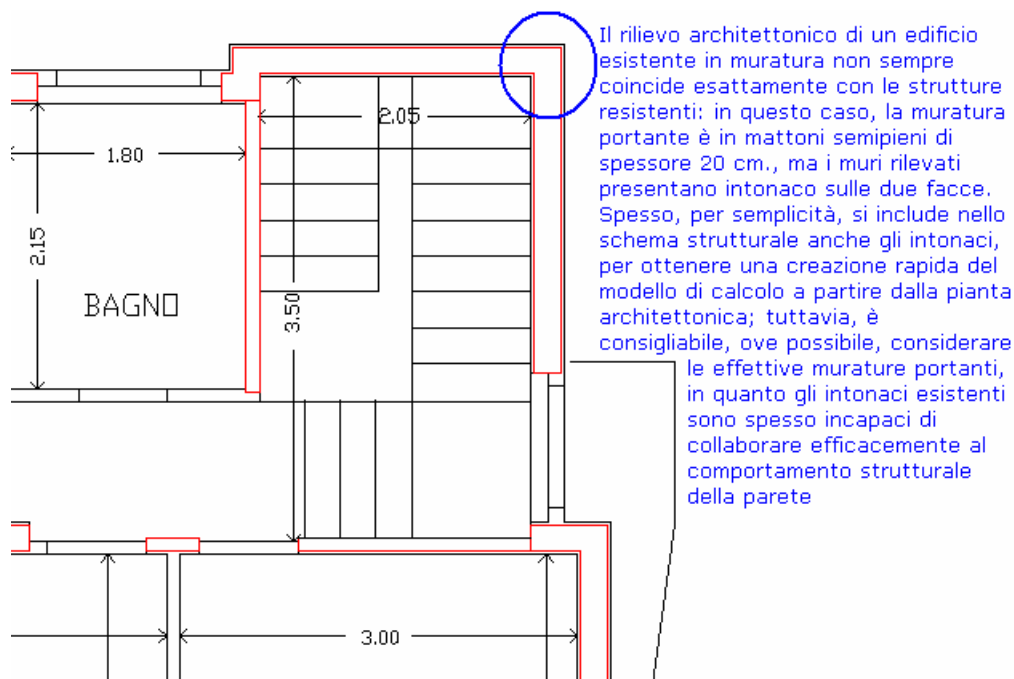


Fig. 1.2.3.

1.3. INPUT IN PC.E TRAMITE FILE DXF

Adesso si lanci PC.E (Start di Windows, Programmi, Aedes 2012, PC.E).

Dal Menu File, selezionare il comando "Input da file DXF", nella finestra che si apre scegliere il file **Tutor2012_01.dxf**. Trattandosi di un disegno elaborato in metri, si può confermare con OK la 'Scala per file DXF in input' proposta (=1).

Si apre una finestra in cui dobbiamo immettere i valori di altezza di piano, delle fasce soprafinestra e dei sottofinestra.

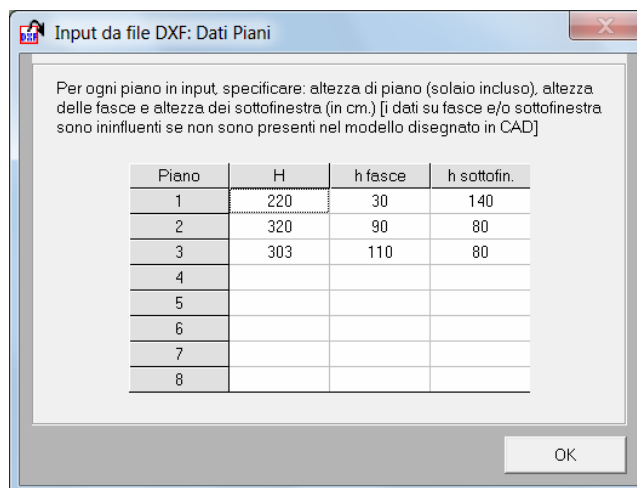


Fig. 1.3.1.

Vediamo quindi il file: **Tutor2012_01.pce**.

Dopo la lettura del file DXF, la grafica presenta una colorazione per materiali. Inizialmente viene proposto un materiale di default (cioè preimpostato), che poi andremo a modificare.

L'ambiente di lavoro di PC.E, prevede due finestre grafiche (2D e 3D) affiancate e una finestra di testo in basso per la gestione delle tabelle dati e di altri contenuti testuali. Adesso nella finestra in basso si trova la tabella dei **"dati progetto"**. In questa i vari tasti che consentono di aprire immediatamente le tabelle dei Dati piani (scorciatoia da tastiera CTRL+P), Materiali (CTRL + M), Sezioni (CTRL + S), Nodi (CTRL + N), Aste (CTRL + A), Solai (CTRL + O), Condizioni di carico elementari e combinazioni di carico. (Altre scorciatoie da tastiera utili sono: CTRL + I per la

finestra Informazioni; CTRL + R per la relazione e CTRL + T per riaprire i Dati Progetto). Qui possiamo vedere anche il numero dei vari elementi.

In questo Tutorial ci riferiamo all'ambiente in versione "full". Il comando in alto a sinistra **full/express** consente il passaggio da una visualizzazione completa, ad una ridotta con i parametri più avanzati nascosti. La versione "express" è editabile: l'utente può scegliere quali comandi nascondere o rendere visibili: vedi par. 1.7. manuale PC.E vol. 4.

Le finestre e tabelle menzionate sono apribili anche tramite le icone presenti nella prima colonna di comandi da destra e dal menu finestra nella barra orizzontale (dove sono ricordate anche le scorciatoie da tastiera). Le barre degli strumenti costituiscono un insieme completo di funzioni che, una volta conosciute, consentono il rapido accesso ai comandi. Insieme ad una descrizione sintetica delle funzionalità di ogni barra degli strumenti, si riportano qui di seguito alcune informazioni utili per alcuni comandi tipici di PC.E.

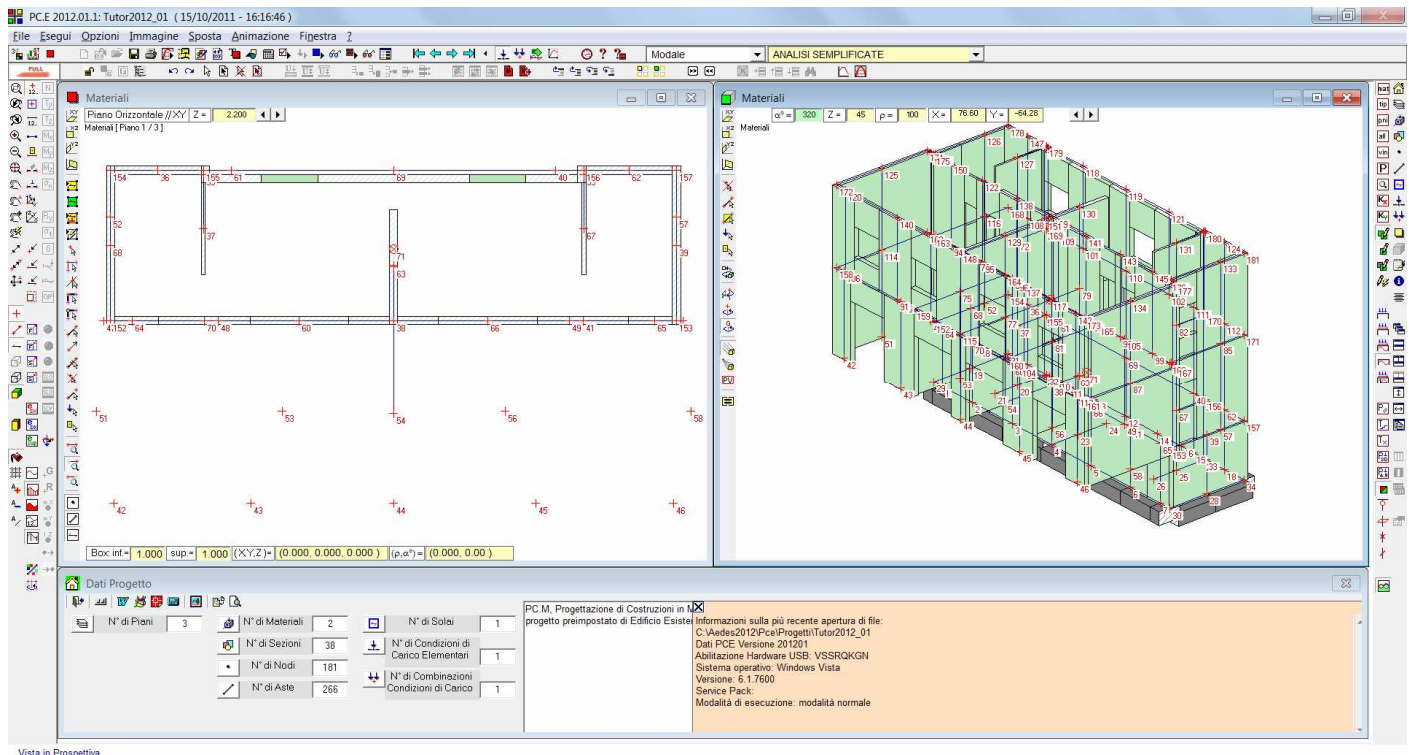


Fig. 1.3.2.

1.4. DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI COMANDI DI PC.E


La **barra degli strumenti sinistra** si compone di tre sequenze verticali:


- **a sinistra:** i comandi di visualizzazione (Zoom, Pan, ecc.), di calcolo distanze, attivazione vista nodi-aste-solai; le 3 modalità di visualizzazione delle superfici (se tutte disattivate, vengono visualizzati i soli assi delle strutture, cioè le aste del telaio equivalente); altri comandi grafici complementari;
- **nel centro:** altri comandi di impostazione grafica (numerazione di nodi e aste, rappresentazione zone rigide, assi locali, ecc.); comandi di amplificazione grafica di forze e spostamenti (per un'efficiente scala di visualizzazione); modalità di rappresentazione dei diagrammi;
- **a destra:** i comandi che attivano la rappresentazione dei diagrammi di stato: caratteristiche di sollecitazione, tensioni verticali, reazioni vincolari, tensioni sul terreno; spostamenti dei nodi, deformata elastica e deformata modale; scelta della rappresentazione degli effetti statici e dei sismici (+ o -); stato limite di danno o ultimo; rappresentazione dei carichi della condizione di carico elementare (CCE) corrente.


A+ A- A/ Ingrandisci caratteri, Riduci caratteri, Caratteri standard: di evidente effetto, consentono rappresentazioni grafiche visivamente più efficaci. Un altro comando di Windows che può essere utilizzato a tal fine nella consultazione delle relazioni è CTRL + scorrimento rotella mouse.

La **barra degli strumenti superiore** si compone di due sequenze orizzontali:


- **riga soprastante**: comandi standard (come Apri, Salva, Stampa, ecc.); esecuzione di check-up, di analisi e di verifiche; visualizzazione dei risultati; frecce di scorrimento per visualizzare (a seconda del pulsante subito a lato attivato): condizioni di carico elementari (CCE), combinazioni di condizioni di carico (CCC), modi di vibrare, curve di capacità; comandi di help (Guida); casella di riepilogo per attivare l'analisi cui viene fatto riferimento nel disegno dei risultati;
- **riga sottostante**: limitazioni sulle modifiche; creazione di gruppi di selezione; il navigatore; altri comandi standard (Annulla, Ripristina, selezioni di nodi/aste); tasti di scorrimento per i passi incrementali delle analisi pushover; creazione e visualizzazione di sottostrutture; controllo velocità di animazione.

 **Tipo di Disegno** (da finestra Grafica: menu Opzioni; o: **F12**): apre la finestra di dialogo dove è possibile scegliere il tipo di disegno correntemente rappresentato nella finestra Grafica chiamante.

 **Parametri di Disegno** (da finestra Grafica: menu Opzioni; o: **F11**): apre la finestra di dialogo dove si scelgono le impostazioni di rappresentazione grafica nell'ambito del tipo di disegno corrente.

 **Esegui Check-up Dati** (da finestra Progetto: menu Esegui; o: **CTRL+K**): analizza i dati, segnalando anomalie per piani, nodi, aste, solai. Il check-up è sempre consigliabile per un controllo immediato dei dati inseriti. Vengono rilevate tutte le anomalie intercettabili (non possono essere ad esempio rilevate alcune errate configurazioni strutturali che conducono a labilità locali; questi aspetti sono in genere segnalati nel corso dell'analisi).

La **barra degli strumenti destra** si compone di due sequenze verticali:

- **a sinistra**: rappresentazione delle pareti (per materiale, per tipologia, per piani, per vincolamento); filtri di rappresentazione grafica per selezione; scelta dell'analisi rappresentata (opera concordemente con la corrispondente casella di riepilogo posta nella barra degli strumenti superiore); verifiche di muratura e lesioni rappresentate;
- **a destra**: gestione finestre (ogni pulsante grafico corrisponde ad una finestra tipica di PC.E); comandi di visualizzazione e di ridimensionamento delle finestre (sovrapposte, affiancate, ecc.), la legenda () che apre una finestra che spiega il significato dei colori nelle varie rappresentazioni.

Altre barre degli strumenti corredano le finestre grafiche ed alcune finestre di testo: si tratta, in tal caso, di comandi specifici della finestra che, ove utilizzati, verranno più avanti descritti.

Nei paragrafi seguenti, possono essere adottate per semplicità alcune convenzioni.

Per indicare in quale barra degli strumenti si trovano i pulsanti grafici richiamati, si accompagna l'icona con la sigla bs.sx, bs.sup, bs.dx, bs.(nome della finestra), dove: bs.=barra degli strumenti, sx=sinistra, sup=superiore, dx=destra, nome della finestra = Grafica 2D, Grafica 3D, o altre finestre corredate di barra degli strumenti. "Fare clic su una finestra" significa su una qualunque parte della finestra stessa, preferibilmente sul suo bordo del titolo.

Le icone delle finestre di PC.E sono tutte visualizzabili a lato dei corrispondenti comandi del menu Finestra, e sono le seguenti:

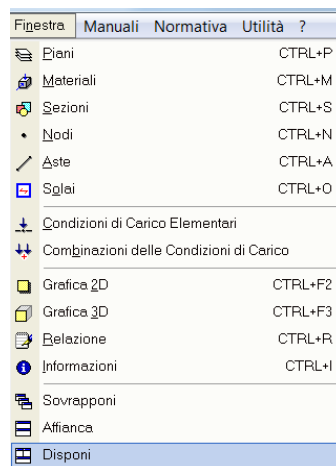




Fig. 1.4.1.

In PC.E inoltre è possibile aprire un **navigatore**, facendo clic sull'icona apposita () nella barra orizzontale in alto. Si tratta di una finestra laterale che contiene un elenco ad albero di tutti i comandi posti in ordine logico. Per una descrizione completa dei comandi e delle funzionalità di PC.E, si rinvia al Manuale d'uso di PC.E, vol. 2.


COMANDI ATTIVABILI CON LO SCROLL DEL MOUSE

- **Zoom** : ruotando lo scroll del mouse;

- **Pan** : premendo lo scroll e trascinando col mouse;
- **Rotazione orizzontale del punto di vista**: tenendo premuto il tasto Maiuscolo/minuscolo, ruotando lo scroll;
- **Variazione dell'altezza del punto di vista**: tenendo premuto il tasto CTRL, ruotando lo scroll;
- **Variazione della distanza del punto di vista**: tenendo premuti il tasto Maiuscolo/minuscolo e CTRL insieme, ruotando lo scroll.

1.5. IL TELAIO EQUIVALENTE IN PC.E

Adesso si cambi la visualizzazione secondo le modalità seguenti (vedi figura).

Si selezioni la finestra 3D. Clic sul pulsante  della barra verticale dei comandi presenti all'interno della finestra, e quindi sul nodo di fondazione 42 (angolo in basso a sx nella grafica 3D). Così nella finestra 2D compare la rappresentazione del prospetto verticale corrispondente. Si tratta del piano verticale parallelo ad XZ, posto alla $Y = 0.10$. Con le frecce poste accanto a questa coordinata si scorrono i vari piani XY.

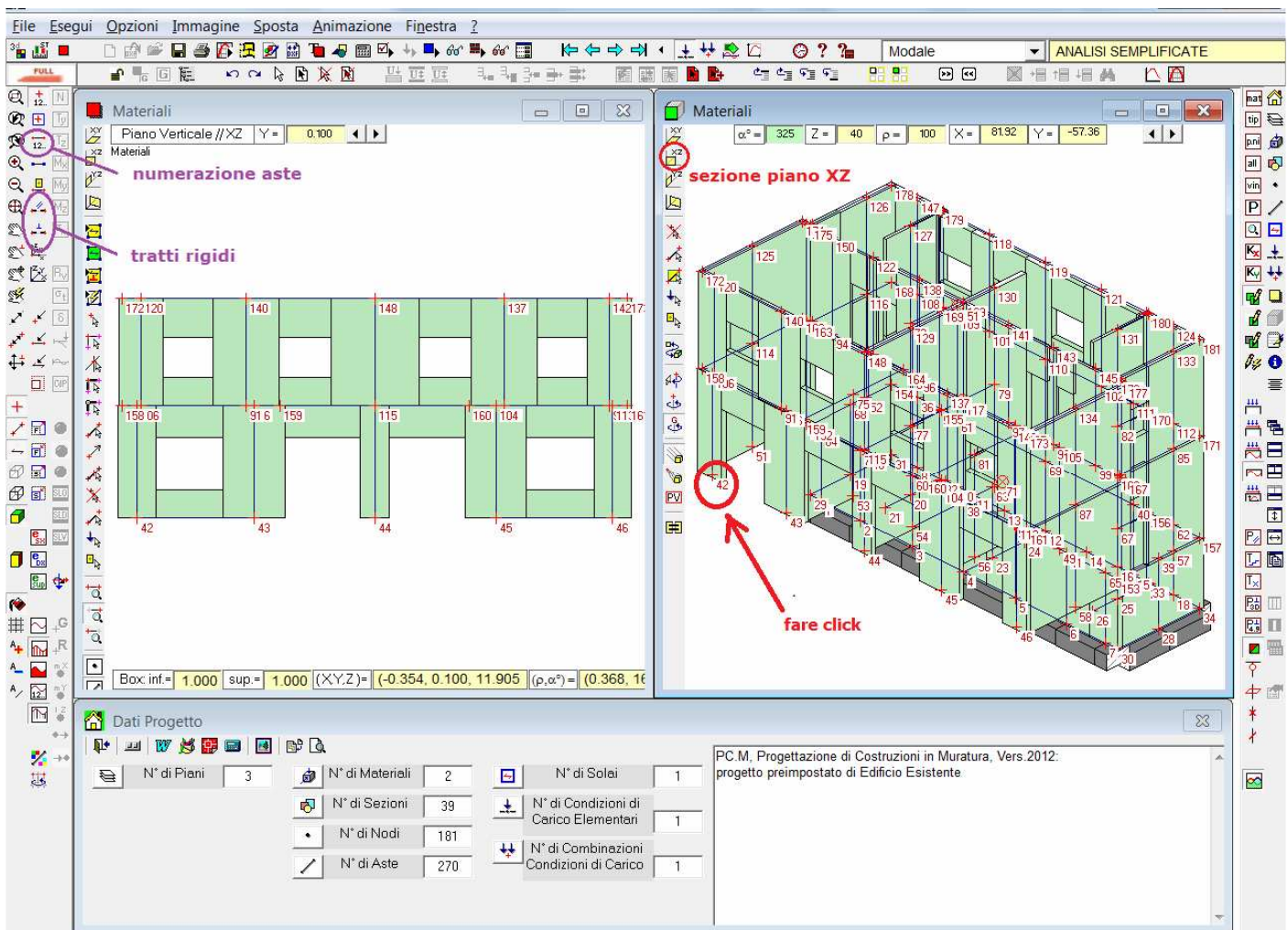




Fig. 1.5.1.

Per comprendere ancora meglio la struttura del telaio equivalente: selezionare la finestra 2D; disattivare il check Disegna Superfici:  (bs.sx), attivare il disegno delle zone rigide per la 2D (bs.sx: ) e ingrandire la finestra 2D a tutto schermo.

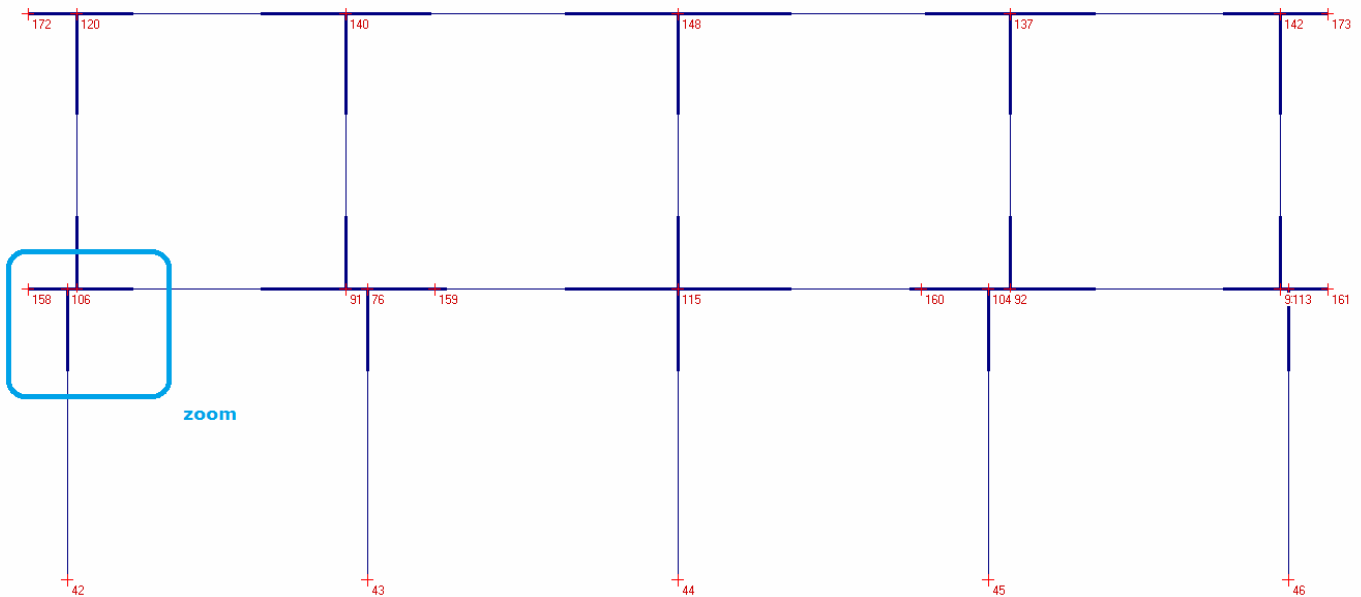


Fig. 1.5.2.

Fare quindi uno zoom sul nodo 106 come evidenziato nella figura:

Attivare la numerazione delle aste: (bs.sx). Questa se è attiva contemporaneamente e quella dei nodi fa sì che accanto al numero dell'asta vengono indicati, tra parentesi quadre, i nodi di estremità: ad. es. 74 [106-90]. Attivare anche il numero di sezione associato all'asta: pulsante (bs.sx).

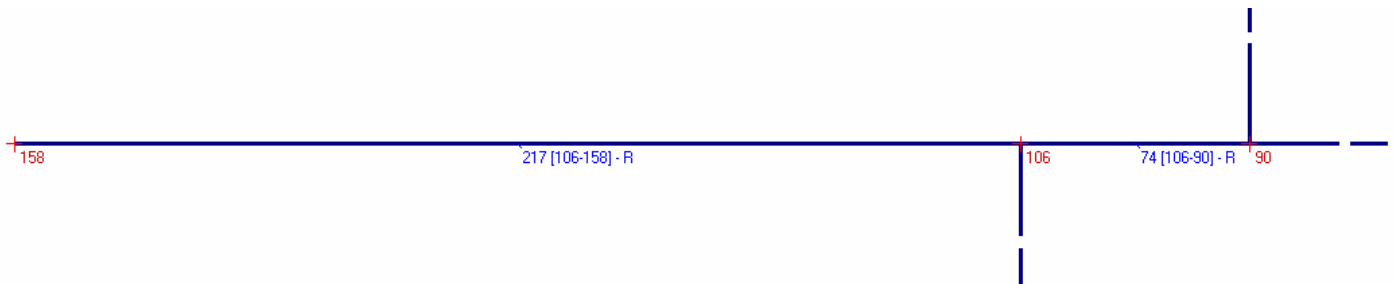


Fig. 1.5.3.

L'asta 74 (definita tra i vertici iniziale 106 e finale 90) è un'asta rigida (infatti è interamente rappresentata in grassetto) e costituisce un elemento rigido di collegamento fra l'asse del maschio inferiore, posto a piano terreno, e quello del piano superiore posto al primo piano. Il nodo di base del maschio superiore non coincide col nodo di sommità del maschio inferiore: la continuità strutturale è stata realizzata attraverso questo elemento rigido di collegamento: l'asta 74 è stata creata automaticamente in fase di esportazione.

Il qualificatore di sezione 'R' indica la Sezione Rigida, una sezione adottata in PC.E per qualificare i link infinitamente rigidi, cioè gli elementi di collegamento, che diversamente dalle travi e dalle pareti non hanno una sezione trasversale geometrica; se si apre la finestra Sezioni (o **CTRL + S**), troviamo come prima la Sezione Rigida. Le sezioni degli elementi asta non infinitamente rigidi invece sono rappresentate da un numero.

Si pone l'attenzione su alcuni punti notevoli, resi già evidenti dai comandi finora effettuati in PC.E, che caratterizzano la modellazione a telaio equivalente per le strutture in muratura:

- 1) la presenza diffusa di elementi infinitamente rigidi**, con la funzione di assicurare i collegamenti fra pareti disassate (nei telai in c.a. i collegamenti generalmente sono rappresentati da travi deformabili);
- 2) l'elevato numero di sezioni distinte** delle pareti, che può arrivare ad essere pari al numero delle aste, dovuto alla irregolarità degli edifici murari e alla differenza di dimensioni fra le pareti (nei telai in c.a. si hanno molti elementi di uguale sezione trasversale).

Altri aspetti importanti che caratterizzano in modo specifico la modellazione a telaio equivalente della muratura sono i seguenti:

- 3) le aste** rappresentative di pareti e fasce di piano (strisce, sottofinestra) **presentano estese zone rigide ai loro estremi**, generalmente assunte coincidenti con le zone di intersezione reciproca.

4) Inoltre, le **zone rigide** sono **distinte tra i due piani locali di flessione xy e xz**: infatti, nella direzione complanare un maschio trova il contrasto offerto dalla striscia e dal sottofinestra, ma in direzione ortogonale non avrà in generale tali irrigidimenti.

Nei telai in c.a. la situazione è più semplice, perché le zone rigide estreme di travi e pilastri sono di piccola dimensione e interessano la zona di nodo dove le aste si intersecano, in generale assunta rigida in ogni direzione (senza distinzione fra i piani di flessione).

Da questi aspetti derivano varie altre considerazioni pratiche, che è opportuno conoscere per affrontare consapevolmente la modellazione a telaio equivalente. Prima di proseguire con l'edificio di esempio, si illustrano quindi alcuni punti significativi. Per ognuno dei punti esaminati, si riportano anche alcune considerazioni su come venivano finora affrontati con metodi tradizionali quali il metodo Por. Il primo caso è quello a cui abbiamo già accennato.

A) Diverse soluzioni per collegare, in uno stesso paramento murario verticale, maschi murari che non si corrispondono fra piani

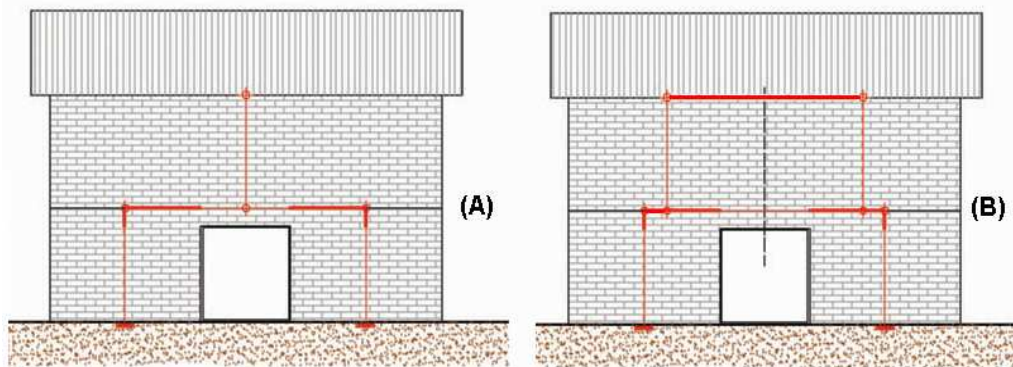


Fig. 1.5.4.

(A): le pareti sono state inserite così come geometricamente sono ad ognuno dei due piani. La conseguenza è che l'asta del maschio superiore si imposta sulla luce deformabile della striscia inferiore: questo, nel modello ad elementi finiti, genera un forte problema di taglio nella striscia. Lo schema peraltro appare poco realistico, perché anche in assenza di architravi o piattabanda, si instaurerà - superiormente all'apertura del piano terra - un effetto arco in grado di ricondurre il carico sovrastante ai due maschi a lato dell'apertura.

(B): il maschio del piano superiore è stato suddiviso in due parti, con linea di divisione in corrispondenza della mezzzeria dell'apertura. A due maschi inferiori corrispondono quindi due maschi superiori, le cui aste rappresentative si impostano ora sulle 'zone rigide' della striscia: una tale configurazione è senz'altro più aderente alla realtà, e non genera alcun problema particolare di taglio nella striscia.

Un'ulteriore possibilità potrebbe essere quella di creare superiormente 3 maschi murari, di cui due di sezione uguale ai corrispondenti inferiori, e un terzo corrispondente all'apertura. Il maschio centrale (quello corrispondente all'apertura) dovrebbe essere qualificato non sismicamente resistente: in PC.E può essere assimilato a una biella. La sua presenza avrà comunque l'effetto di trasmettere una parte relativamente piccola di carico alla luce deformabile della striscia inferiore (è il carico che sul maschio centrale proviene dalla copertura, una frazione importante del quale verrà comunque assorbita dai maschi laterali a causa del collegamento rigido che collegherà le sezioni di sommità dei tre maschi). Si tratta della schematizzazione richiesta dalle NTC 2008 per gli edifici nuovi, dove si presuppone che una buona progettazione delle nuove strutture in muratura ricerchi la continuità da terra a tetto delle strutture portanti verticali.


Si osservi che la quota parte di rigidità alla traslazione di origine flessionale perduta a causa della suddivisione di un maschio che in realtà è geometricamente unico, può essere recuperata attraverso il comando di 'assemblaggio delle pareti aventi uguale sigla e allineamento' presente nei Parametri di Calcolo di PC.E (scheda 'Generali'). Il comando, per ogni piano, calcola la rigidità complessiva degli elementi aventi uguali sigla e allineamento, come se si trattasse di un'unica sezione (cfr. Manuale Vol. 2 par. 3.4.4.1).

Come si trattava quest'aspetto con i metodi tipo Por?

I metodi tipo **Por** procedono **per interpiani singoli**: pertanto l'influenza statica reciproca dei piani si esplica solo nei carichi trasmessi dai piani superiori, ma non nell'assetto dei vincoli interni e dei collegamenti strutturali. Per ogni interpiano, tutte le aste presenti sono pensate incastrate alla base e in genere con incastro scorrevole in sommità (tradizionale comportamento shear-type); se anche si corregge il vincolo in sommità, comunque l'analisi non prende in considerazione il collegamento con le strutture sovrastanti.

→ Si ricorda che **la principale differenza fra i metodi tipo Por (Normativa tradizionale D.M.'96) e quelli a struttura a telaio unica (NTC08, OPCM 3274)** risiede non nell'utilizzo di elementi monodimensionali (anche l'analisi statica non lineare Por procede in tal modo), e quindi: non nello schema a telaio equivalente, ma nel fatto che il Por lavora per interpiani singoli, separatamente l'uno dell'altro, ricercando la soluzione come la più sfavorevole fra i vari piani, mentre la struttura a telaio unica descrive in un unico modello tutto l'edificio e persegue una sola specifica soluzione rappresentativa del comportamento complessivo. Ecco perché le novità più importanti risiedono proprio nel collegamento fra le strutture dei diversi piani, un aspetto che nel Por poteva sostanzialmente essere trascurato e rendeva possibile l'analisi anche nel caso di schemi contenenti imprecisioni nelle corrispondenze fra piani.

Le NTC 2008 consentono, per edifici in aggregato con piani rigidi uno studio per interpiani. PC.E rende disponibile tale modalità di modellazione (cfr. Manuale Vol. 4, par. 1.2B).

 **Suggerimento** Si deve tuttavia considerare che i modelli per interpiani secondo la nuova Norma non conservano la semplicità di verifica delle norme precedenti in quanto dopo l'analisi la verifica di sicurezza richiede sempre il ricorso all'oscillatore monodimensionale equivalente con confronto tra capacità e domanda e non più un semplice confronto tra forze resistenti e sismiche. La complessità nel condurre il confronto tra capacità e domanda per ogni singolo piano può suggerire di operare in generale con i modelli completi. ■

B) Diverse scelte sulle zone rigide alle estremità di un maschio murario corrispondente ad una parete chiusa

Si faccia riferimento alla figura seguenti dove abbiamo evidenziato l'angolo in corrispondenza del nodo 172 di sommità. Come si vede chiaramente i tratti infinitamente rigidi di estremità delle varie aste verticali sono fissati automaticamente dal programma in base alle dimensioni delle aperture verticali. La conseguenza di questo automatismo è che laddove non sono presenti aperture tra maschi, questi vengono definiti come deformabili.

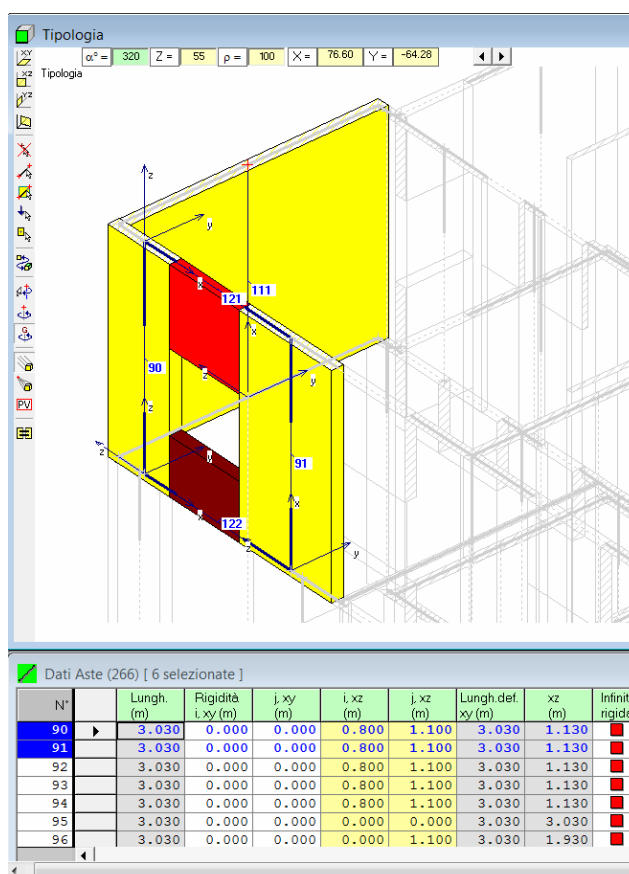


Fig. 1.5.5.

La definizione automatica del modello a telaio ha introdotto nell'asta 90 una zona infinitamente rigida complanare all'estremo superiore lunga 1.10 m pari all'altezza della striscia adiacente e una inferiore lunga 0.80 m, pari all'altezza del sottofinestra adiacente. Non vi sono tratti rigidi ortogonali. Osserviamo nella tabella aste i campi Rigidità (i,xy i,xz j,xy j,xz): i campi colorati in giallo sono quelli complanari.

La parete 111 invece, orientata secondo Y, non ha zone rigide perché non vi sono aperture con corrispondenti strisce sovrastanti. Se si desidera assegnare un tratto infinitamente rigido anche questa asta è sufficiente andare

nei dati aste, nei campi relativi alla rigidità dei nodi di estremità i e j e ai due piani della parete. Come detto infatti i tratti infinitamente rigidi possono essere diversi per i due piani della parete. In questo caso, quindi si potrebbe valutare l'inserimento di un tratto infinitamente rigido superiore di lunghezza 1.10 m nel piano locale complanare xy. In figura gli assi locali evidenziano i piani complanare e ortogonale.

Come si trattava quest'aspetto con i metodi tipo Por?

Spesso con i metodi tipo Por si è proceduto attribuendo a tutti i maschi l'altezza di interpiano, senza porsi la questione delle zone rigide. Già con PC.M, tuttavia, la problematica era stata affrontata, potendo definire per ogni singola parete una altezza di calcolo complanare diversa dalle altre.

C) Opportunità di effettuare collegamenti rigidi agli angoli

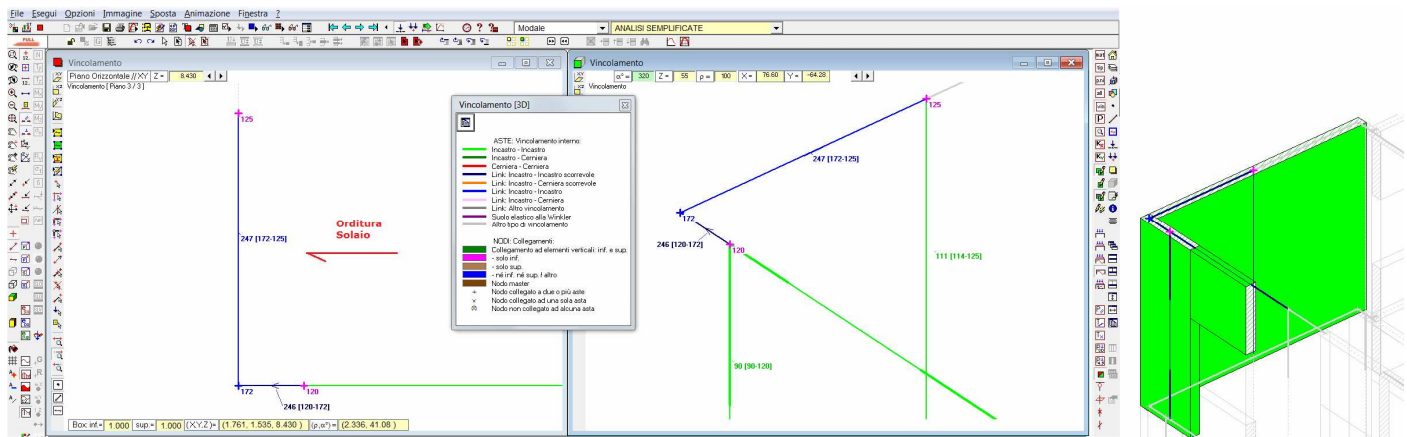




Fig. 1.5.6.

In figura 1.5.6. si riporta la vista per vincolamenti , una vista fondamentale in PC.E, probabilmente la più importante. Attivando la legenda  si vede il significato dei colori, che si riferiscono ai vincoli interni delle aste e dei link. Si evidenzia, affiancando alla vista 3D una vista in pianta [piano XY], un **collegamento rigido d'angolo** fra i maschi murari 90 e 111. Questo collegamento viene realizzato automaticamente, in tutti gli angoli in cui due maschi murari si intersecano.

Nella generazione del modello a telaio sono stati creati il nodo 172 e due collegamenti rigidi, il 246 ed il 247. Come detto questi collegamenti non sono elementi con una sezione geometrica trasversale (aste), ma degli elementi monodimensionali infinitamente rigidi che servono a completare il telaio (la loro sezione, nei dati sezione è indicata con 'R' infatti)

Poiché normalmente si ipotizza che il carico da solaio sia applicato solo sugli elementi su cui il solaio si appoggia, cioè quelli ortogonali all'orditura (l'asta 247 in questo esempio), è importante lo svincolamento a taglio del link 246. Per evitare che il carico del solaio arrivi fino al maschio 90, il link 246 ha uno svincolamento interno di tipo [000000 - 001000], cioè tale da liberare al nodo 172 di estremità lo spostamento lungo z (asse locale; per le aste nel piano orizzontale coincide con l'asse Z globale).

1.6. ASTE E VINCOLAMENTI

Analizziamo adesso, in particolare, il nodo 106 visto in prospettiva

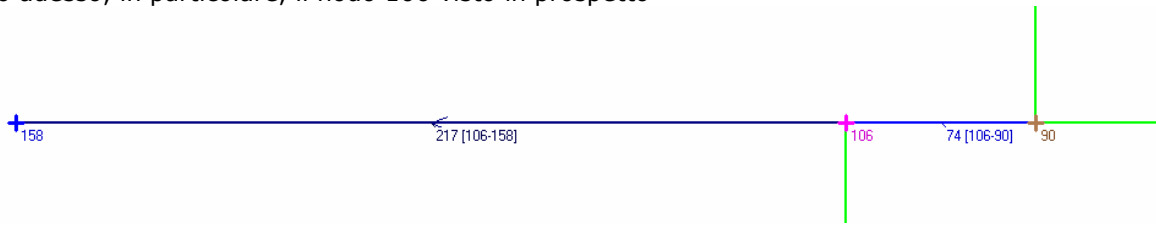



Fig. 1.6.1.

Il blu indica un link incastro-incastro [000000-000000] come il 74; il blu scuro con freccia un link incastro-incastro scorrevole in direzione verticale [001000-000000] come il 217, la freccia indica l'estremo svincolato a taglio, il nodo 158; il verde chiaro indica un'asta incastrata agli estremi, come i maschi verticali inferiore e superiore 45 e 90; la striscia 195; il sottofinestra 122.




Anche il colore dei nodi è indicativo: il blu indica un nodo non collegato ad aste verticali, come il 158 che ha solo un collegamento orizzontale; il magenta indica un nodo collegato ad un'asta verticale inferiore, come il 106, che è collegato al maschio 47; il marrone indica un nodo collegato ad un'asta verticale superiore, come il 90, che è collegato al maschio 94; il verde indica un nodo collegato sia ad un'asta verticale superiore che ad un'asta verticale inferiore, come il 115 del nostro prospetto (per vederlo basta tornare all'immagine di tutto il prospetto, ad esempio usando il comando ottimizza  presente nella barra verticale sinistra).

In alcuni schemi (p.es. shear-type, dove i nodi dei maschi non ruotano, ed in presenza di piano rigido, dove esiste un nodo master cui sono vincolati rigidamente gli spostamenti degli altri nodi di piano), i collegamenti d'angolo potrebbero essere considerati superflui; in generale però essi svolgono un ruolo fondamentale, assicurando la continuità della struttura. Per quanto riguarda la deformazione nel piano, se si desidera consentire la chiusura o l'apertura dell'angolo retto, è possibile inserirvi una cerniera: ad un estremo di una delle due aste si possono liberare le rotazioni. Quindi è possibile creare modelli ancora più raffinati, ma la situazione reale generalmente viene rappresentata in modo appropriato anche con le configurazioni appena descritte.

La definizione dei collegamenti d'angolo è inoltre necessaria per sfruttare l'opportunità di analisi dei carichi sulle pareti murarie attraverso la definizione di maglie di solaio. Infatti, l'analisi automatica dei carichi gravanti sulle strutture murarie su cui il solaio si appoggia avviene attraverso gli elementi perimetrali della maglia, che possono essere: strisce, o travi reali, o elementi rigidi di collegamento; in ogni caso, è necessario che la maglia sia chiusa con aste che ne collegano i vari nodi.

Come si trattava quest'aspetto con i metodi tipo Por?

Nell'ambito dei metodi tipo Por, l'analisi per interpiani e l'utilizzo dello schema shear-type rendeva superflua la creazione dei collegamenti rigidi.

Si ridispongano le finestre in modo standard (). Si tolga la numerazione dei nodi () e delle aste () nella vista 3D e si attivi la visualizzazione per tipologie nella finestra 3D, selezionandola e facendo clic sul comando della seconda colonna da destra evidenziato in figura. Si faccia lo stesso nella 2D.

Attivando la legenda troviamo la spiegazione dei colori degli elementi presenti nel nostro modello: pareti in muratura ordinaria, strisce, sottofinestra, fondazioni e collegamenti rigidi.

Si visualizzi la tabella di gestione dei Dati delle Aste: menu Finestra, Aste (, o: **CTRL+A**).

Nel campo tipologie dei dati aste troviamo il menu a tendina che ci permette di vedere tutte le tipologie presenti, che per comodità del lettore sono riportate nello schema interno alla figura. Per una descrizione delle tipologie che non utilizzeremo in questo Tutorial si rimanda al Manuale d'uso di PC.E, Vol. 2.

1. Analisi secondo D.M.14.1.2008. Introduzione dati

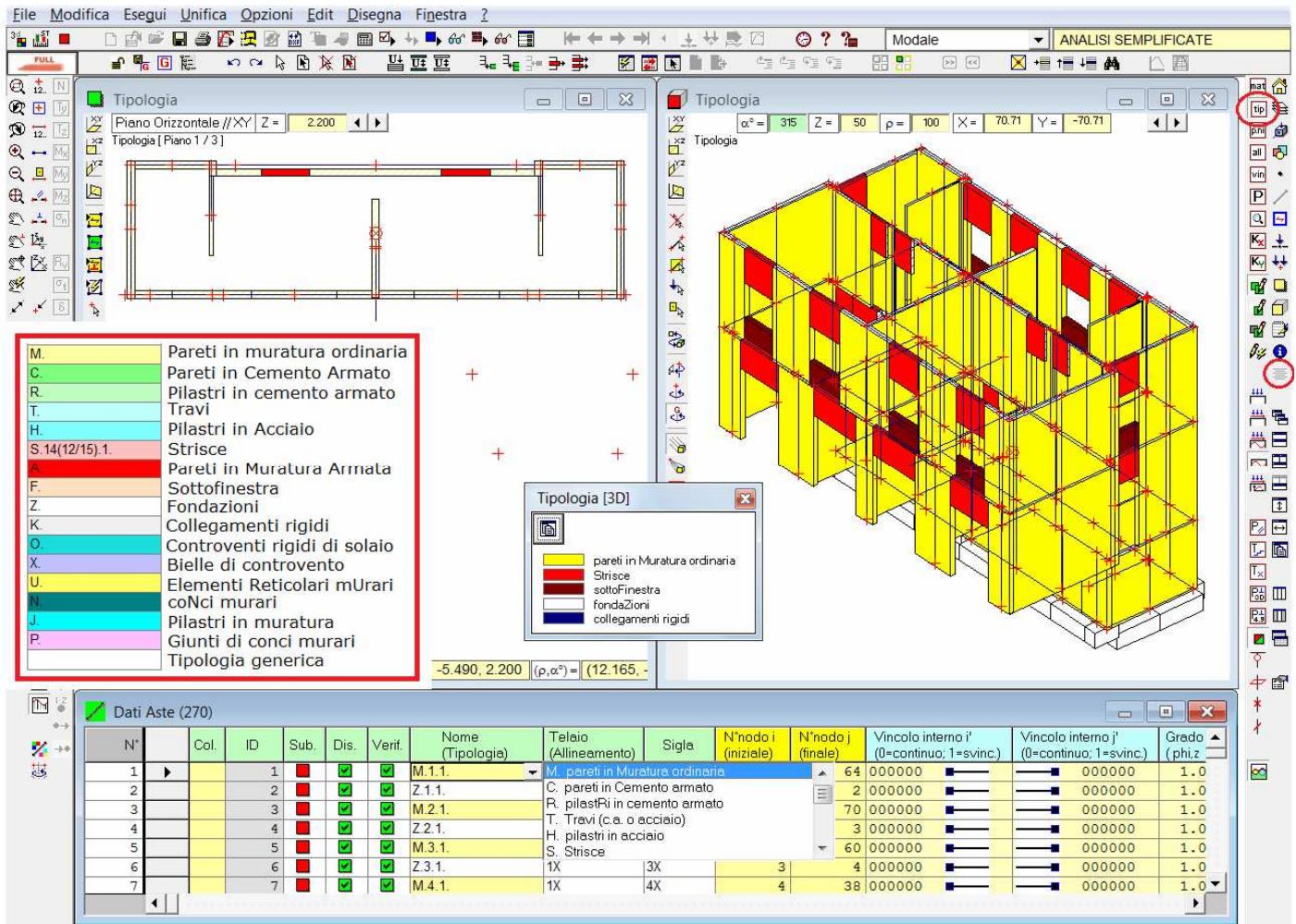


Fig. 1.6.2.

Nei Dati Aste, fare clic sulla riga della tabella corrispondente all'asta **36**: per selezionare l'asta si deve fare clic in corrispondenza della colonna interposta fra il numero dell'asta e il primo campo dati.

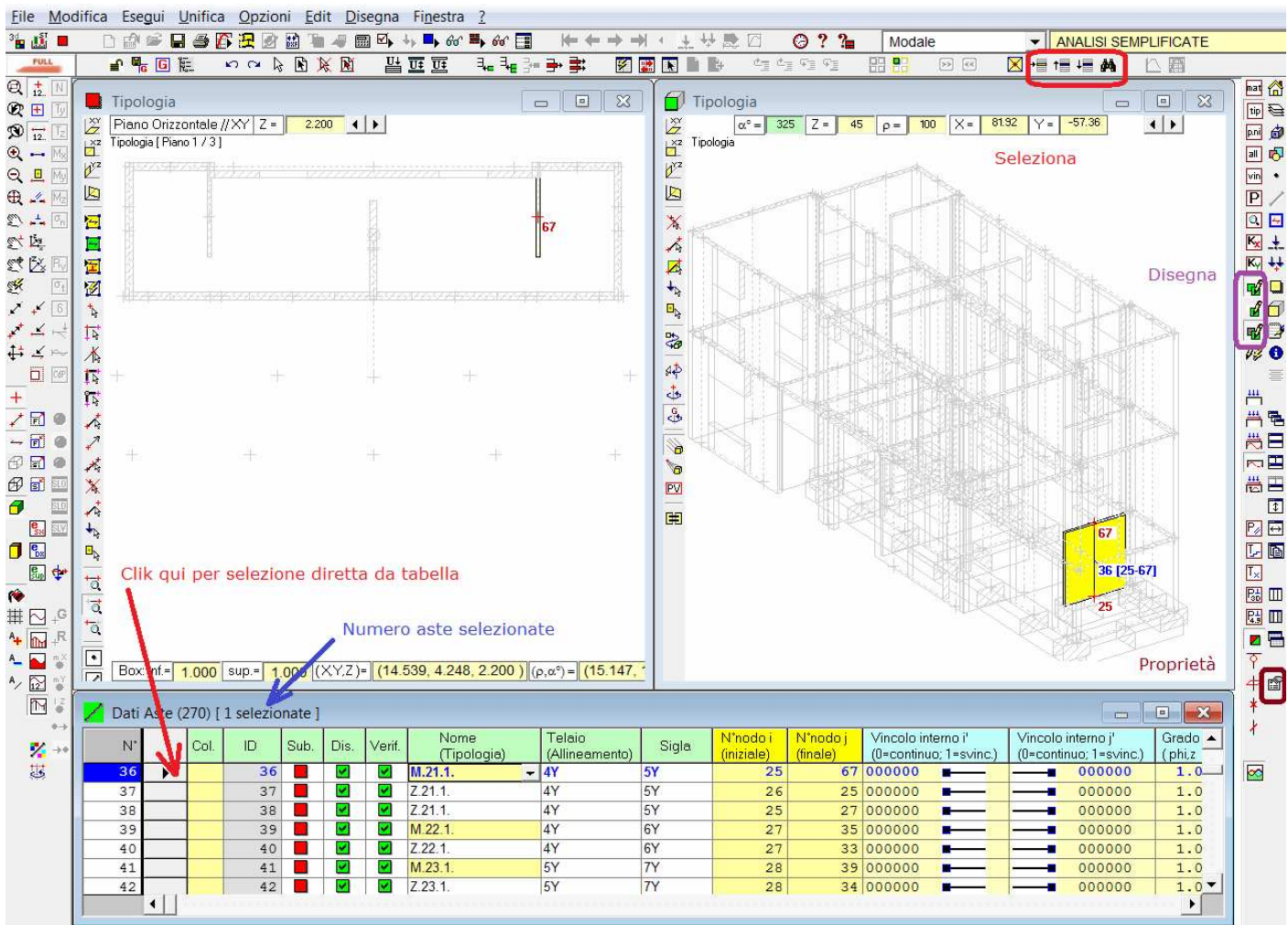


Fig. 1.6.3.

La selezione delle aste può avvenire anche graficamente: è sufficiente fare clic su una finestra grafica e selezionare il pulsante (bs.sup.), a questo punto si includono gli elementi desiderati definendo un rettangolo nella vista grafica. Accanto al comando di selezione, troviamo altri fondamentali comandi: seleziona tutto, deselecta e deselecta tutto, che sono importanti per assicurarsi di selezionare gli elementi giusti.

Un'ulteriore alternativa per selezionare un'asta specifica a partire dal suo numero è l'utilizzo del comando **'Cambia Asta corrente'** (), del menu Modifica, che apre una finestra in cui si deve digitare il numero dell'asta desiderata, con successiva selezione dell'asta.

Se si selezionano graficamente più aste, la tabella scorre automaticamente posizionandosi sulla prima asta dell'insieme selezionato. Inoltre è possibile utilizzare i comandi "Vai all'asta selezionata precedente"

[scorciatoia **F5**] e "Vai all'asta selezionata successiva" [**F6**], in modo da saltare da un elemento selezionato all'altro senza dover scorrere tutta la tabella.

Quanto descritto per la selezione e la visualizzazione delle aste, vale anche per i nodi.

Il comando **'Cerca asta'** (), invece, consente di trovare un'asta digitando i numeri dei nodi di estremità.

Quando nella tabella vi sono una o più aste selezionate, è possibile evidenziarle nel 3D tramite il comando **'Evidenzia Selezione'** (vd. anche in figura): (bs.dx) che pone in luminosità ridotta tutte le altre aste.


Altri comandi collegati alla vista delle aste sono i seguenti:



Disegna Solo Selezione = nasconde le aste non selezionate

Disegna Tutto = disegna comunque tutte le aste, tracciando in grassetto le aste selezionate

Disegna Solo Elemento Corrente = disegna soltanto l'asta su cui si trova attualmente la cella di input.

Questo comando fornisce i migliori risultati visivi utilizzato in combinazione a 'Disegna Tutto': in tal caso, per tutte le altre aste sono disegnati in tratteggio i soli assi.

Con la finestra Aste selezionate, se si fa clic sull'apposito comando ( bs. dx.), si apre la **finestra proprietà**. Facendo clic con il tasto destro del mouse su un'asta nella finestra 2D o 3D, questa finestra visualizza la riga corrispondente nei dati aste per quell'elemento e consente di apportare tutti i cambiamenti desiderati. Questa visualizzazione, con la finestra 3D a tutto schermo può essere particolarmente utile per il controllo dei vincolamenti interni. Si hanno finestre analoghe per i nodi e i solai, apribili nel solito modo o direttamente dalla riga dei comandi presenti nella finestra proprietà.

 **Nota bene** PC.E consente anche l'archiviazione ed il richiamo di **Gruppi di Selezione** (insiemi di elementi selezionati) in modo da gestire efficientemente sottoinsiemi omogenei di struttura (p.es. tutte le pareti di un allineamento, oppure tutte le fasce di un piano, tutti i sottofinestra, solo le aste aventi un certo vincolamento, ecc.) senza dover riselectare tutte le volte ogni singola asta. E' inoltre possibile gestire **SottoStrutture**, ossia limitare il campo di visualizzazione e gestione dati nelle tabelle a sottoinsiemi (che possono essere creati prima selezionando un insieme di elementi e poi ponendo SottoStruttura = Elementi Selezionati): questa funzionalità è dedicata alle strutture complesse, dove la rigenerazione delle immagini (p.es. con l'ottimizzazione del disegno: comando grafico , bs.sx) coinvolgerebbe comunque tutta la struttura, facendo perdere l'attenzione su una particolare zona, e dove comunque potrebbe essere difficile gestire con i vari comandi grafici le zone che interessano.

Per mettere a punto l'input di un edificio complesso si rivelerà molto utile lavorare per singole sottoparti. Per la gestione dei Gruppi di Selezione e delle SottoStrutture si rimanda al Manuale Completo di PC.E. ■

Nei Dati Aste, le colonne in tabella: **Vincolo interno i' - Vincolo interno j'** rappresentano i vincolamenti interni dell'asta, agli estremi della luce deformabile. Per quanto già trattato sulla presenza di importanti zone rigide agli estremi delle aste nei modelli murari a telaio equivalente, risulta evidente che una proprietà dell'asta è la sua lunghezza totale, mentre un'altra proprietà è la sua luce deformabile in ognuno dei due piani di flessioni locali xy e xz. Come risulta sia graficamente sia dalla consultazione dei campi 'Lungh.' e 'Lungh. def. xy, xz' dei Dati Aste, molti elementi hanno luce deformabile ridotta rispetto alla lunghezza totale.

Per una qualsiasi asta, **i** e **j** sono i vertici di nodo (quindi incluso il tratto rigido estremo); **i'** e **j'** sono i vertici della luce deformabile (fine tratto deformabile e inizio tratto rigido). I nodi **i'** e **j'** individuano le sezioni in corrispondenza delle quali si eseguiranno le verifiche di resistenza per la muratura.

I vincoli interni vengono descritti da una sequenza di 6 valori 0 e/o 1, corrispondenti ai movimenti indipendenti:

u v w ϕ_x ϕ_y ϕ_z

0=movimento vincolato, 1=svincolato

Ad esempio:

- l'asta **36** presenta:

vincolamento interno 000000 all'estremo i' della parte deformabile, stesso vincolamento 000000 all'estremo j'; pertanto si tratta di un'asta incastrata ad entrambi gli estremi. Quest'asta quindi reagisce a tutte le componenti della sollecitazione (sforzo normale, momento torcente, tagli e momenti flettenti nei due piani: N; Mx; Ty e Mz; Tz e My).

- Per l'asta **181**, si ha:

Vincolo interno j' = 000111, che significa:

000111: u(=δx)=0, traslazione parallela all'asse locale x (lungo l'asse dell'asta): vincolata

000111: v(=δy)=0, traslazione parallela all'asse locale y: vincolata

000111: w(=δz)=0, traslazione parallela all'asse locale z: vincolata

000111: $\phi_x=1$, rotazione torsionale intorno all'asse locale x: svincolata (libera)

000111: $\phi_y=1$, rotazione intorno all'asse locale y: svincolata (libera)



000111: $\phi_z=1$, rotazione intorno all'asse locale z: svincolata (libera)

Questo vincolo interno rappresenta una **cerniera sferica** (tutte le rotazioni interne sono svincolate), posta all'estremità iniziale i' della luce deformabile.

Il vincolo interno i' è pari a: 000011, di significato evidente. La rotazione ϕ_x è in tal caso vincolata in quanto lo svincolamento di entrambi gli estremi dell'asta per rotazione torsionale produrrebbe una labilità locale.

Pertanto, l'asta è una **biella** spaziale: potrà assumere solo sforzo normale, ma i momenti ed i tagli risulteranno tutti nulli.

L'asta 181 è un link, ma questo tipo di vincolamento a biella viene utilizzato anche per schematizzare i maschi murari portanti alle azioni verticali ma non a quelle orizzontali. Negli edifici nuovi viene utilizzato per le pareti che non soddisfano i requisiti geometrici delle pareti resistenti al sisma (Tab.7.8.II).

Si attivi il comando 'vin'  (bs. dx); si eliminino numerazioni e vista delle superfici, sia nella vista 2D che nella 3D. Si attivi anche la legenda  (bs. dx).

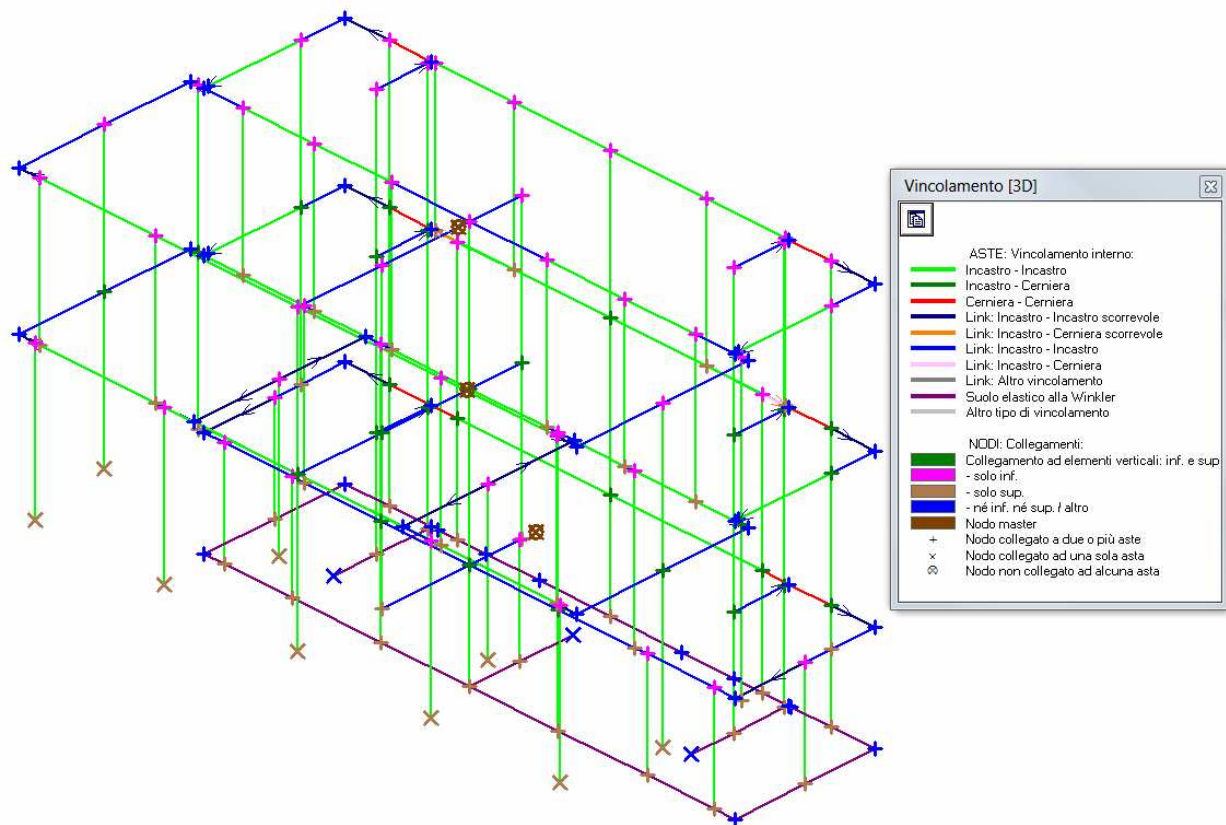



Fig. 1.6.4.

Il controllo e la scelta dei vincolamenti è fondamentale per la costruzione del telaio. Le scelte operate dal software in modo automatico devono essere considerate come una proposta che l'utente deve valutare attentamente attraverso la vista per vincolamenti.

In questo modello abbiamo scelto di modellare anche pareti sottili di 10 cm di spessore, perché vogliamo considerarle come elementi portanti alle azioni verticali ma non a quelle orizzontali e quindi non di controvento nello stato attuale; queste pareti poi saranno demolite e ricostruite come resistenti a tutti i tipi di azione nello stato di progetto.

Si tratta delle 12 pareti: 29, 36, 64, 66, 69-70, 96-97, 101-102, 113, 117. (utilizziamo il trattino - tra due numeri per indicare di selezionare tutte le aste presenti nell'intervallo estremi compresi). Un modo agevole di selezionarle oltre a quelli già descritti è tramite l'apertura della finestra di selezione/deselezione effettuata dal comando "Seleziona/Deseleziona"  (bs.sup.). Si apre una finestra apposita che consente la selezione di elementi con uguale materiale, tipologia, ecc, cioè tramite criteri logici e associativi.

Nel nostro caso è sufficiente selezionare una di queste pareti, aprire questa finestra di selezione, attivare il check relativo a "criterio dimensionale", premere il corrispondente pulsante di comando, scegliere "spessore", indicare l'operatore "=" ed il valore di confronto 0.10.

Per far sì che queste pareti nello stato attuale siano portanti alle sole azioni verticali le schematizziamo come bielle: per questo è sufficiente, dopo averle selezionate, e i con i dati aste aperti, andare nel menu Opzioni, comando "vincoli per aste selezionate: Cerniera- Cerniera".

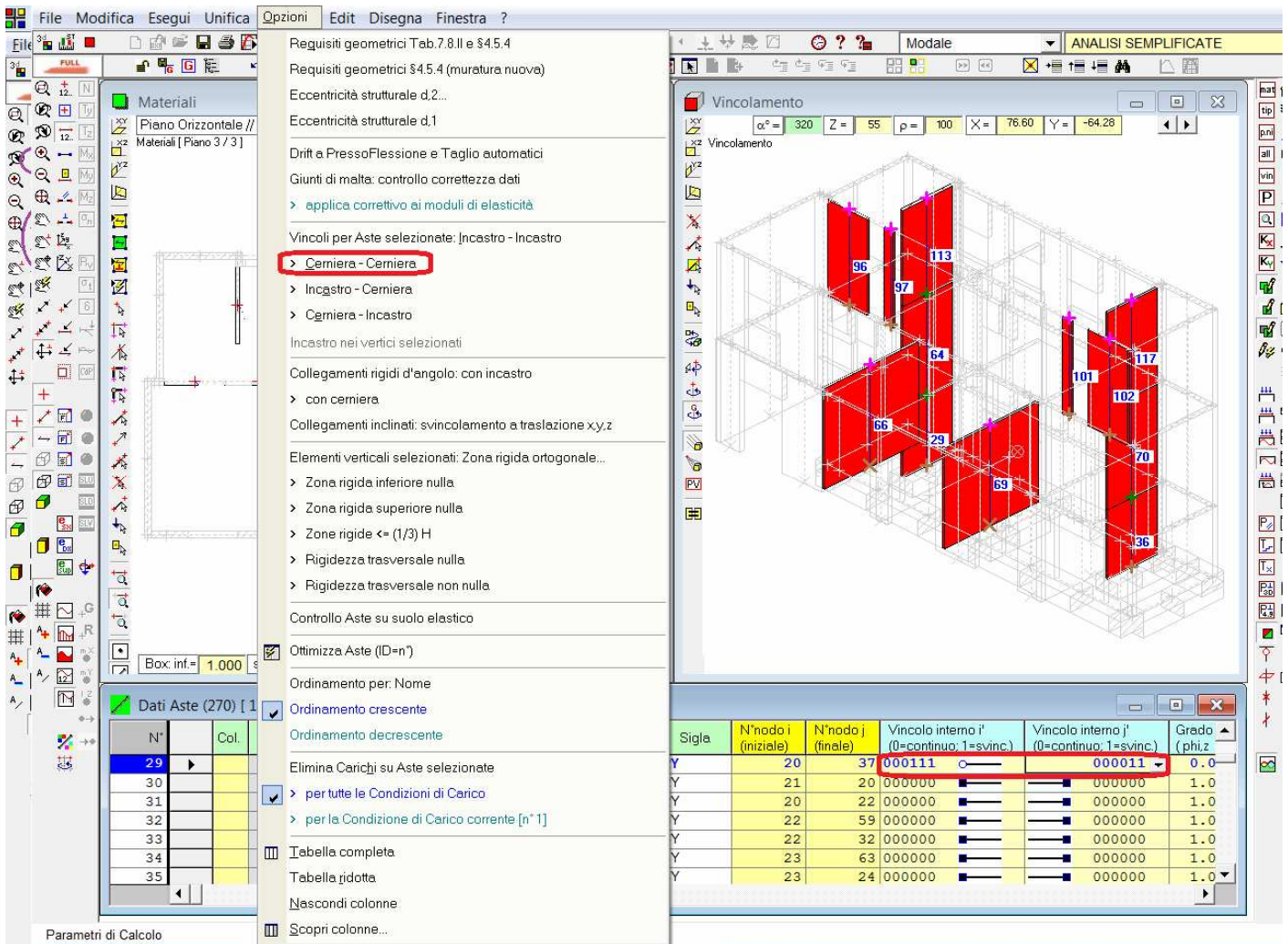





Fig. 1.6.5.

Negli edifici nuovi invece possono aversi bielle verticali quando non c'è il rispetto dei requisiti dimensionali minimi di spessore e snellezza richiesti dalla tabella 7.8.II del D.M. 14.1.2008 (vedi il comando apposito nel menu opzioni dei dati aste, vedi figura: "requisiti geometrici Tab. 7.8.II")

1.7. MODELLAZIONE DEGLI IMPALCATI

Per tornare al disegno completo dell'edificio, deseleggiamo il comando grafico "Evidenzia Selezione"  (bs.dx). Per vedere le fondazioni ci posizioniamo sul piano orizzontale $Z = 0.000$, attraverso il pulsante  (attivabile nella vista 2D o 3D) e un clic su un nodo di fondazione, come ad es. il 30.

Scorriamo adesso le varie piante con le frecce poste nella Grafica 2D , analizzando la situazione degli allineamenti, dei collegamenti, delle sezioni e dei vincolamenti. Restiamo nella vista vincolamenti.

1.7.1. PIANO 0 (Z=0.000)

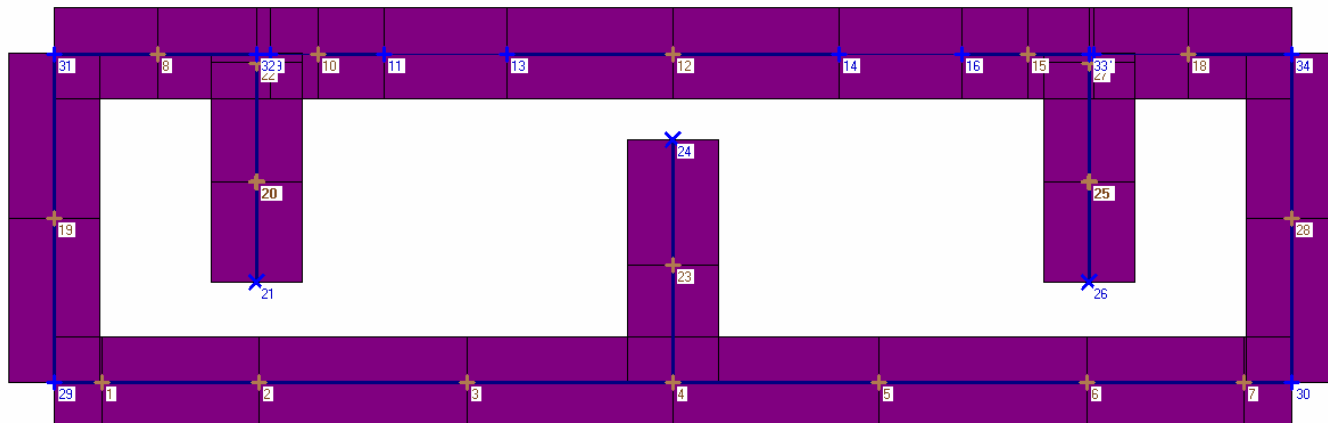


Fig. 1.7.1.

Alle fondazioni è stata assegnata una sezione predefinita di dimensioni 1.00×0.50 m (base x altezza). Pertanto apriamo i dati sezione, selezioniamo la sezione di fondazione, la numero 3, i caratteri vengono colorati in grassetto magenta. Cambiamo la larghezza B ponendola pari a 0.50 m. Graficamente possiamo vedere il cambiamento. Per coerenza cambiamo anche il commento corrispondente. Inoltre notiamo che ci sono dei tratti di fondazione non collegati: ciò è dovuto al fatto che i maschi murari che vanno a scaricare su di esse non si intersecano con le pareti ortogonali. Vediamo che i nodi 21, 24 e 26 nella vista vincolamenti sono colorati in azzurro e pertanto sono collegati solo ad aste orizzontali: possiamo quindi spostarli senza modificare l'assetto delle pareti verticali.

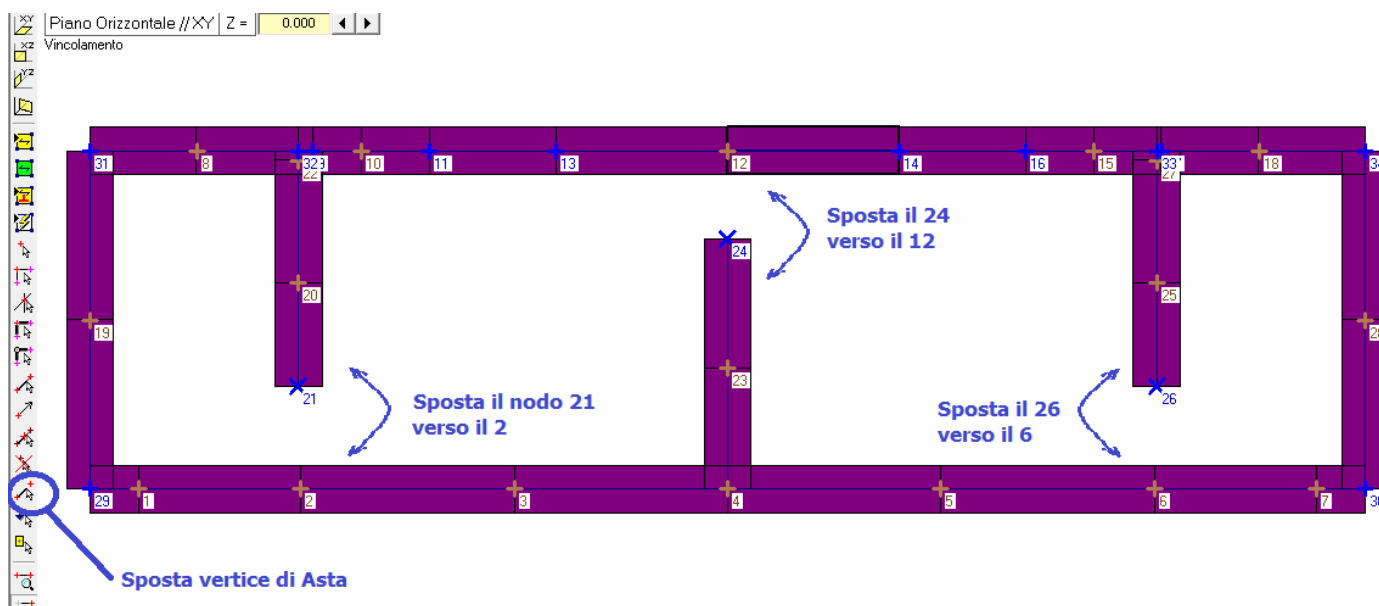


Fig. 1.7.2.

Pertanto utilizziamo il comando "sposta vertice di asta" presente nella colonna dei comandi 2D: lo selezioniamo, facciamo clic col tasto sinistro del mouse sul nodo 21 e trasciniamo il mouse fino al due. L'asta viene allungata. Stessa operazione tra il nodo 24 ed il 12 e tra il 26 ed il 6.

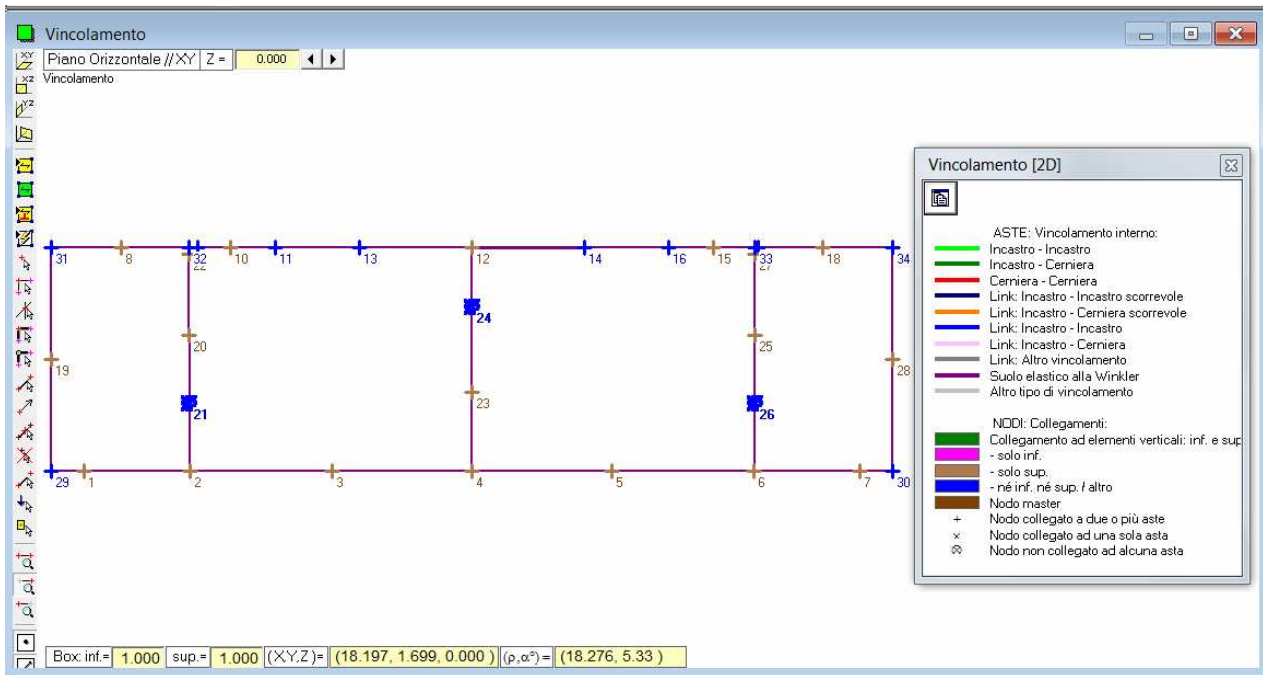


Fig. 1.7.3.

Se togliamo il disegno delle superfici ci accorgiamo che i nodi 21, 24, 26 adesso sono non collegati alla struttura come mostra il loro simbolo grafico, vedi legenda vista vincolamenti. Li possiamo selezionare ed eliminare. Per far questo è sufficiente, aprire la tabella dei dati Nodi, selezionarli ed utilizzare il comando "elimina nodi selezionati", posto nella barra orizzontale

Nota bene In alternativa si possono selezionare graficamente ed eliminarli col tasto CANC attivo per la finestra grafica 2D: occorre fare attenzione al fatto che nel rettangolo di selezione di un nodo potrebbe restare inclusa la selezione di un'asta. Per selezionare nodi senza intercettare alcuna asta, si deve disattivare la selezionabilità delle aste. Il relativo pulsante si trova in fondo alla barra strumenti grafica 2D (ingrandire la finestra se tale barra fosse solo parzialmente visibile). ■

1.7.2. PIANO 1 (Z= 2.200)

Saliamo con (Grafica 2D) all'impalcato 1 (Z=2.200). (Vista vincolamenti, senza superfici, numerazione dei nodi attiva). Fissiamo l'attenzione sulla parte inferiore dove con la vista vincolamenti vediamo tutta una serie di nodi marroni: nodi non collegati, si tratta dei nodi terminali dei maschi murari che non continuano al piano inferiore e che hanno bisogno della definizione della fondazione a livello del piano 1.

Vincolamento [Piano 1 / 3]

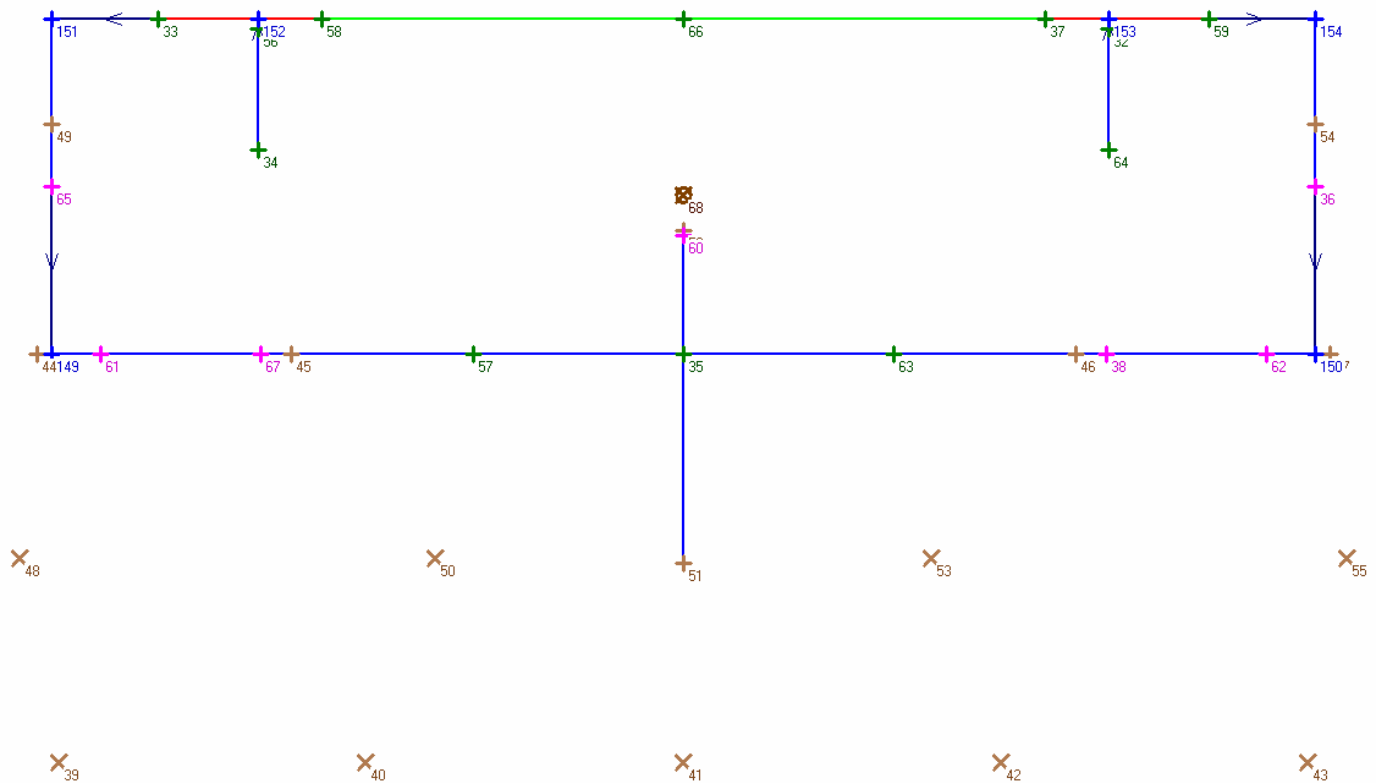


Fig. 1.7.4.

Per capire meglio la struttura in molti casi è utile servirsi del comando presente nella barra verticale della Grafica 3D "vista: collegamento 2D -> 3D". Questo permette di vedere nella 3D gli stessi elementi della 2D.

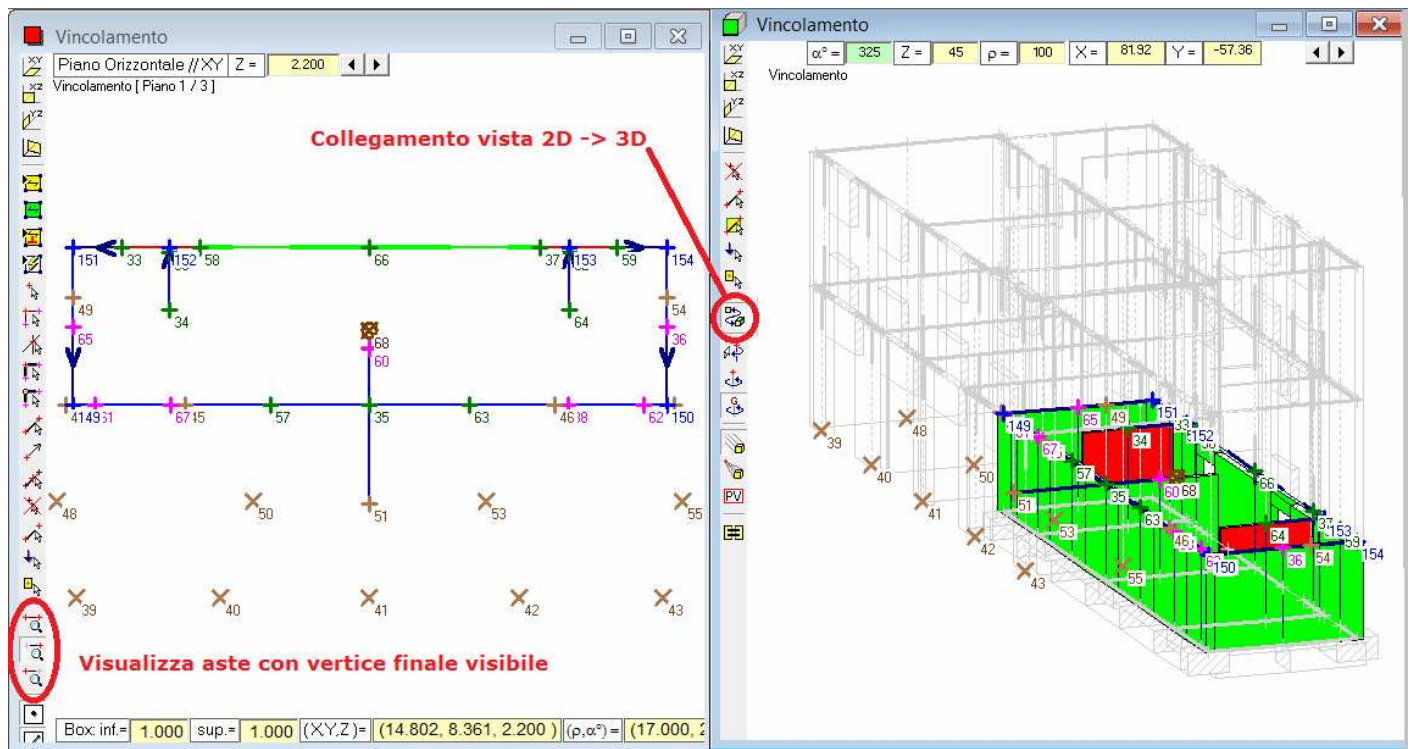


Fig. 1.7.5.

Si notino inoltre i seguenti pulsanti della barra degli strumenti della finestra grafica 2D, riguardanti la visibilità delle aste nel quadro 2D:

= con entrambi i vertici visibili, = con vertice finale visibile, = con vertice iniziale visibile.

Indipendentemente dallo spazio-box corrente (definito dai valori correnti del Box inf. e del Box. sup., in basso nella finestra grafica 2D), questi tre pulsanti consentono diversi filtri per la rappresentazione in pianta della struttura.

Con il pulsante attivo, si visualizzano tutte le aste con entrambi i vertici visibili: nel caso della pianta (piano XY), si tratta delle aste orizzontali poste alla quota corrente: travi, strisce, eventuali sottofinestra del piano superiore. Se invece si attiva il pulsante , saranno visibili non solo le aste orizzontali ma anche i maschi sottostanti (aventi appunto il vertice finale visibile in pianta): si vedranno quindi le aste orizzontali impostate sulle strutture murarie sottostanti; l'altra opzione, , può essere utile per visualizzare invece i maschi sovrastanti. Ai fini delle operazioni di inserimento delle maglie di solaio può essere conveniente la scelta della visibilità in pianta delle sole aste orizzontali: . Nel nostro caso visualizziamo solo le aste con vertice finale visibile, quindi come è chiaro dalla figura, vediamo tutte le aste orizzontali del piano con $Z = 2.200$ e quelle con il vertice superiore su questo piano. Notiamo pertanto che per preimpostazione PC.E ha creato le fondazioni sul piano 0, mentre sugli altri ha lasciato i nodi incastrati alla base.

Apriamo i dati sezione, selezioniamo la sezione della fondazione, la riga n. 3, che viene colorata di magenta. Così le prossime aste che andremo a definire avranno tale sezione.

Tra i nodi allineati infatti dobbiamo inserire delle nuove aste, tramite il comando **'definisci asta'** presente anch'esso nella finestra 2D. Lo selezioniamo, facciamo clic nella 2D sul nodo 39 e tenendo il pulsante sinistro del mouse premuto trasciniamo il cursore fino al nodo 40. Viene creata l'asta 267.

Facciamo la stessa operazione tra i nodi 40 e 41, tra il 41 ed il 42, tra il 42 ed il 43 ed in direzione ortogonale tra il 41 ed il 51. Risultano così definite le nuove aste 268, 269, 270 e 271.

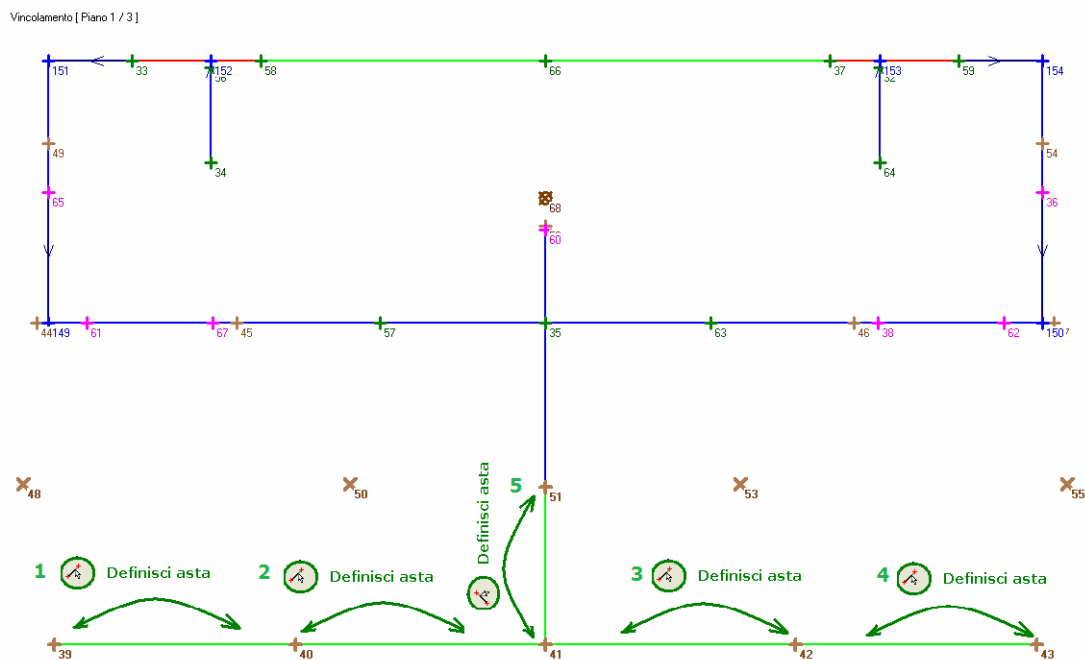


Fig. 1.7.6.

Definisci asta si presta bene per collegare due nodi posti sullo stesso allineamento, ma spesso dobbiamo collegare due nodi non allineati come il 48 ed il 39. Per questo dobbiamo utilizzare un altro comando: **'definisci collegamento rigido con incastro'** .

Pertanto nella vista 2D selezioniamo il comando, facciamo clic col bottone sinistro del mouse nel nodo 48; tenendolo premuto trascinare fino al nodo 39. Vengono creati i link 272 e 273 e il nodo 179 come visibile in figura.

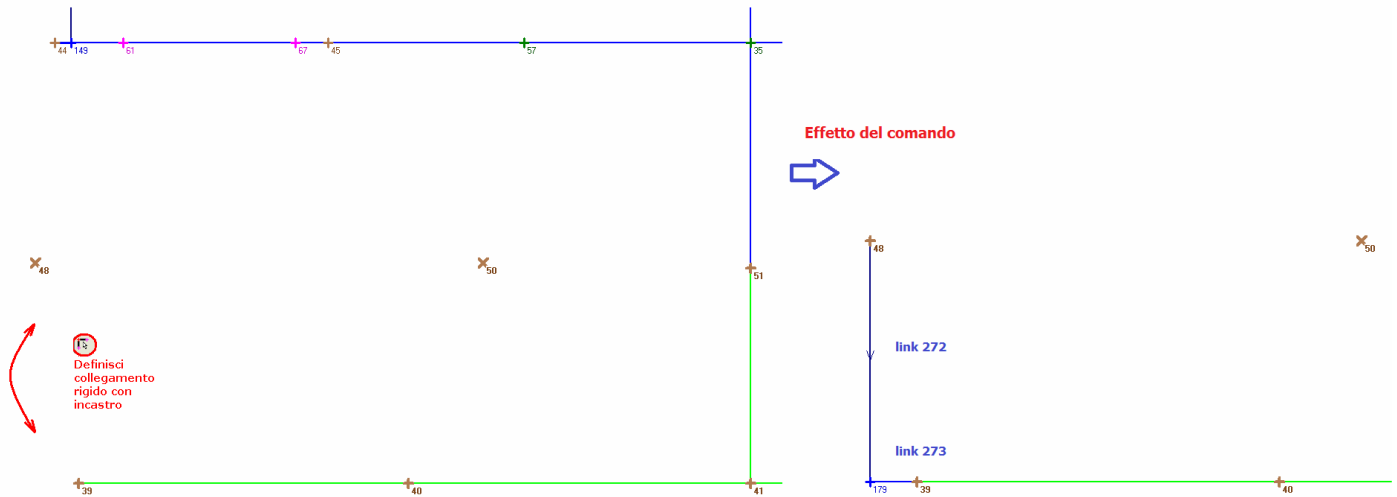


Fig. 1.7.7.

Ripetiamo la stessa operazione, come illustrato in figura, tra il nodo 48 ed il 44, tra il 50 ed il 40; tra il 50 ed il 57 nella parte di sinistra. Nella parte di destra stessa operazione tra il nodo 53 ed il 42; il 53 ed il 63, il 55 ed il 43 e il 55 ed il 47. Vengono automaticamente definiti i nodi 180-186, come visibile in figura.

Vincolamento [Piano 1 / 3]

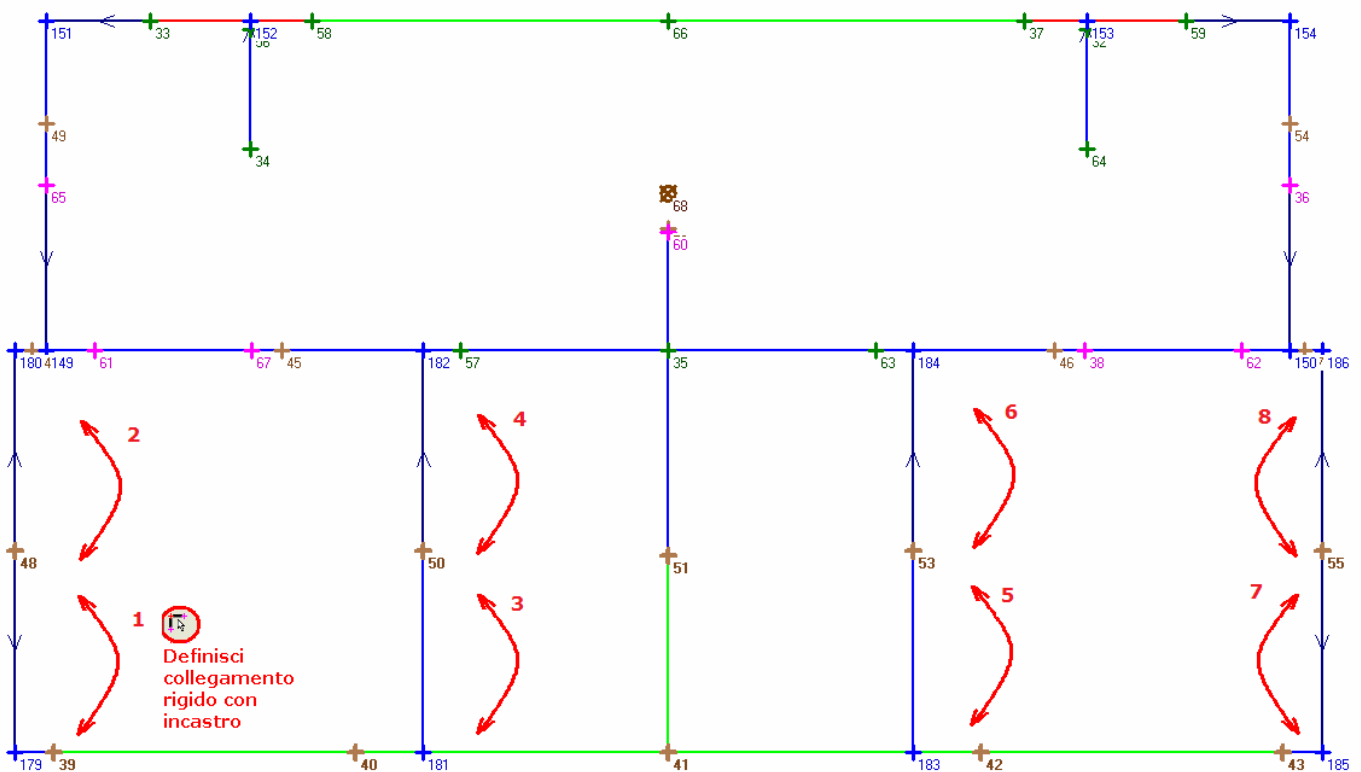


Fig. 1.7.8.

Adesso dobbiamo completare la parte superiore della pianta in cui mancano alcuni link rigidi, pertanto andiamo nei dati sezione e selezioniamo la sezione rigida R.

Adesso utilizziamo il comando definisci asta tra i nodi 34 e 67, tra i nodi 66 e 52 e tra i nodi 64 e 38. Vengono definite le aste 288-290.

Definisci asta tra i nodi 66 e 52

Definisci asta tra i nodi 34 e 67

Definisci asta tra i nodi 64 e 38

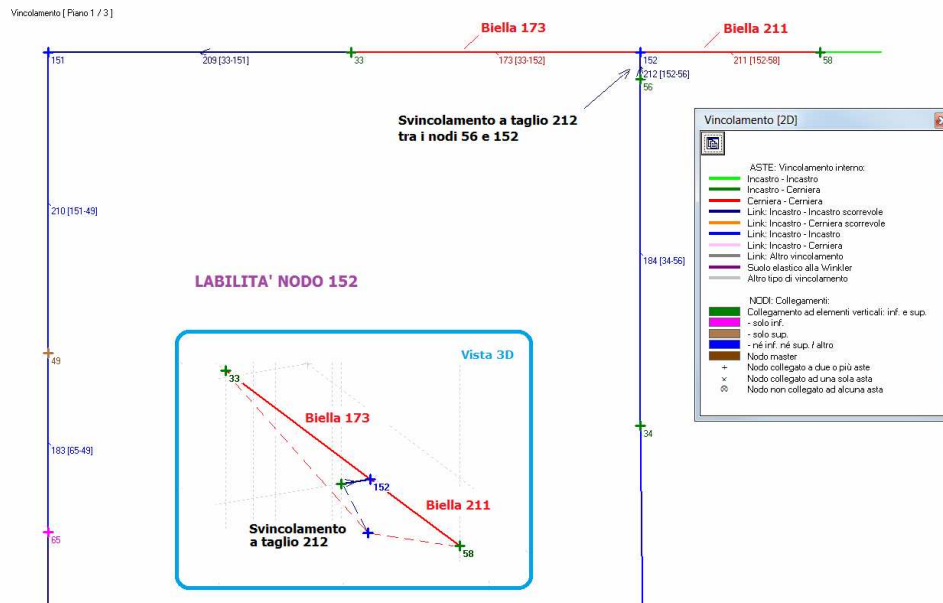
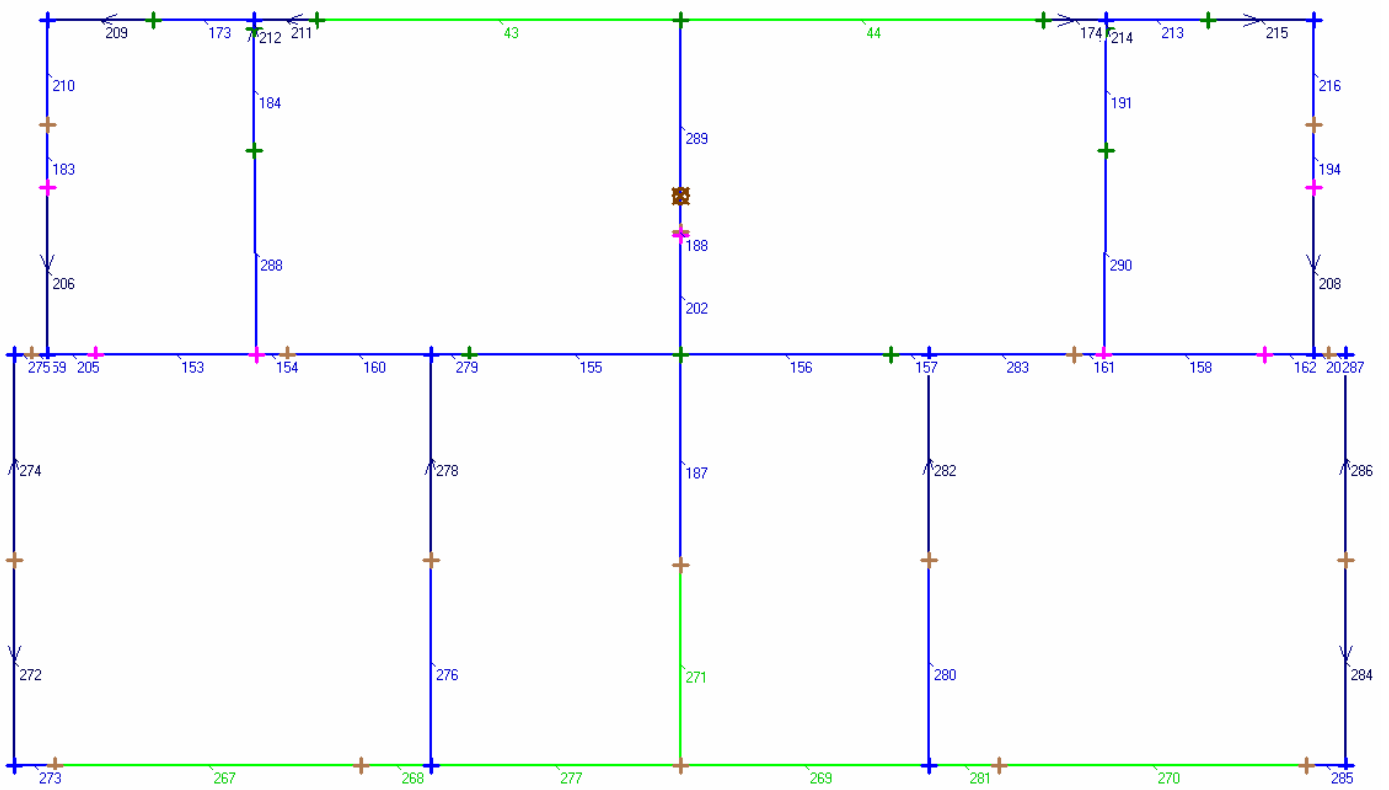


Fig. 1.7.10.

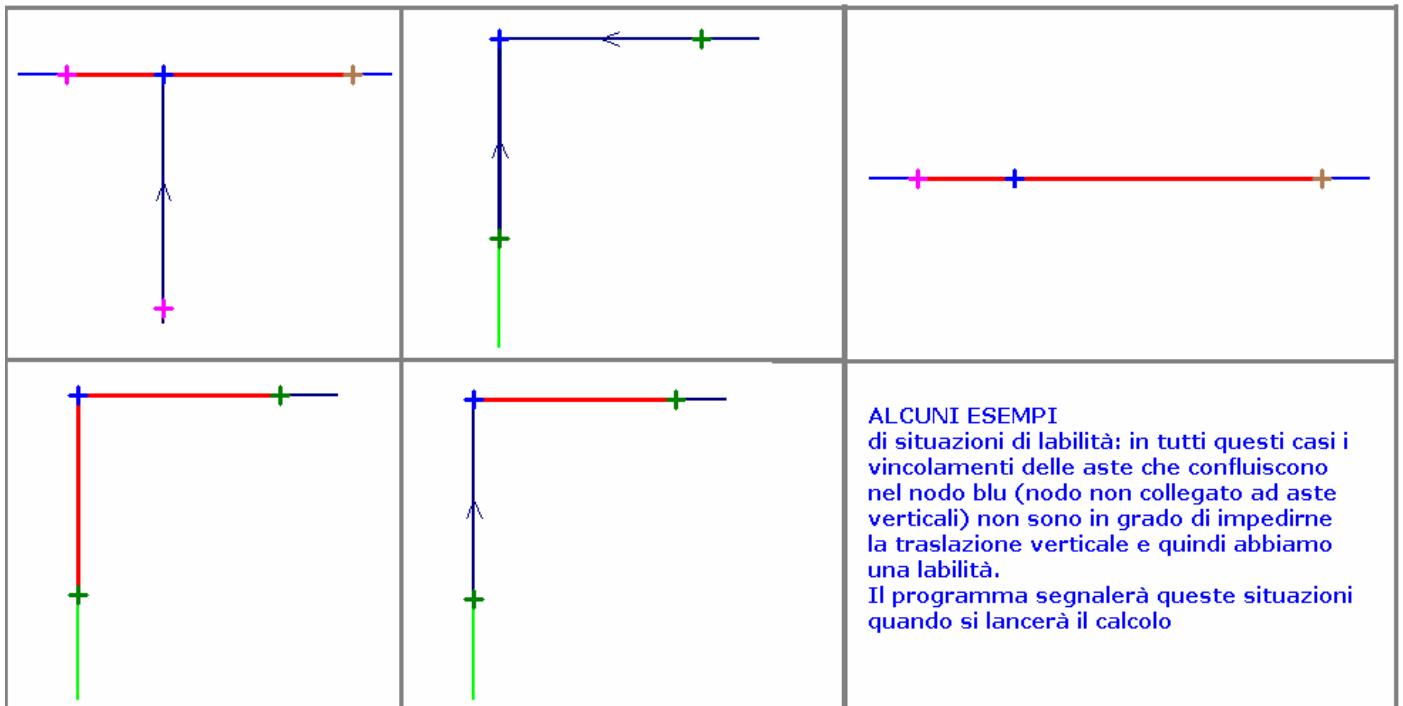
Per eliminare la labilità incastriamo ai due estremi l'asta 173 e trasformiamo in uno svincolamento a taglio l'asta 211: si tratta di svincolare a taglio (001000 nei dati vincolamenti) l'estremo verso il nodo 152 e lasciare l'altro estremo incastato (000000: basta digitare un solo zero nella casella corrispondente). Per far questo agiamo nei dati asta. Poiché la situazione è simmetrica per quanto riguarda il nodo 155 nella parte destra, anche qui dobbiamo incastare l'asta 213 e svincolare a taglio l'asta 174 (svincolamento all'estremo verso il nodo 153).

Per modificare il vincolamento si interviene nella tabella dati aste, oppure si utilizza la finestra delle proprietà delle aste. Per selezionare tutti gli elementi con un certo vincolamento basta selezionarne uno graficamente, aprire la tabella dei dati aste; clic su "Seleziona/Deseleziona" (bs.sup.): si deve selezionare "vincolamento corrente". Molto utili per cambiare i vincolamenti di più aste selezionate sono i comandi che troviamo nel menu 'opzioni' della tabella dati aste: 'vincoli per aste selezionate: incastro-incastro...cerniera-cerniera, ecc.

Vincolamento [Piano 1 / 3]


Fig. 1.7.11.

Nell'immagine seguente sono riportate altre situazioni di labilità. Per risolverle dobbiamo capire il meccanismo che si forma in base ai vincolamenti scelti e agire di conseguenza sui gradi di libertà dei vari elementi.


Fig. 1.7.12.

Adesso attiviamo la vista delle superfici e il comando posto nella finestra 3D "vista: collegamento 2D -> 3D". E utilizziamo la: "Visibilità aste: con vertice finale visibile".

I vertici visibili sono quelli che si trovano all'interno del box di selezione. In pianta infatti in questo caso, poiché il piano in questione è posto a $Z = 2.200$ m e i valori di Box. Inf e Box. Sup. sono pari ad 1 m, vediamo la proiezione di tutto ciò che si trova tra il piano posto a $Z = 3.200$ m e $Z = 1.200$ m. Si possono variare i valori del Box. Inf. e Sup., agendo direttamente nelle caselle di testo corrispondenti della finestra 2D, digitando i nuovi valori.

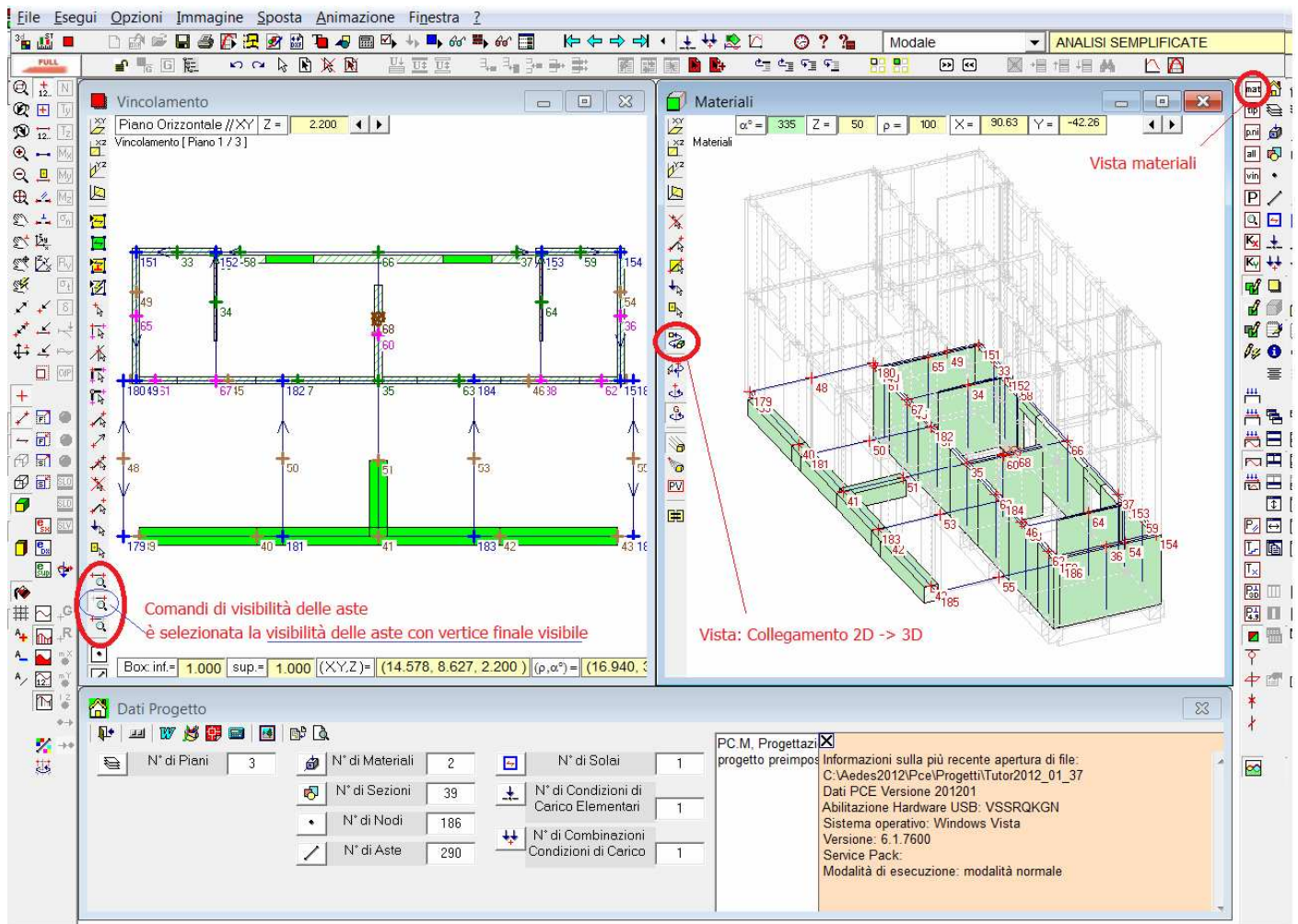


Fig. 1.7.13.

Selezioniamo le aste del piano 1 indicate in figura: le 22 aste numero 159, 187; 207; 267-278; 280-282; 284-287. La via più rapida è l'uso di più selezioni grafiche da utilizzare insieme al comando di zoom (attivabile con la rotellina del mouse). È molto utile il comando "Evidenzia Selezione" (bs.dx) per controllare l'esattezza delle scelte operate.

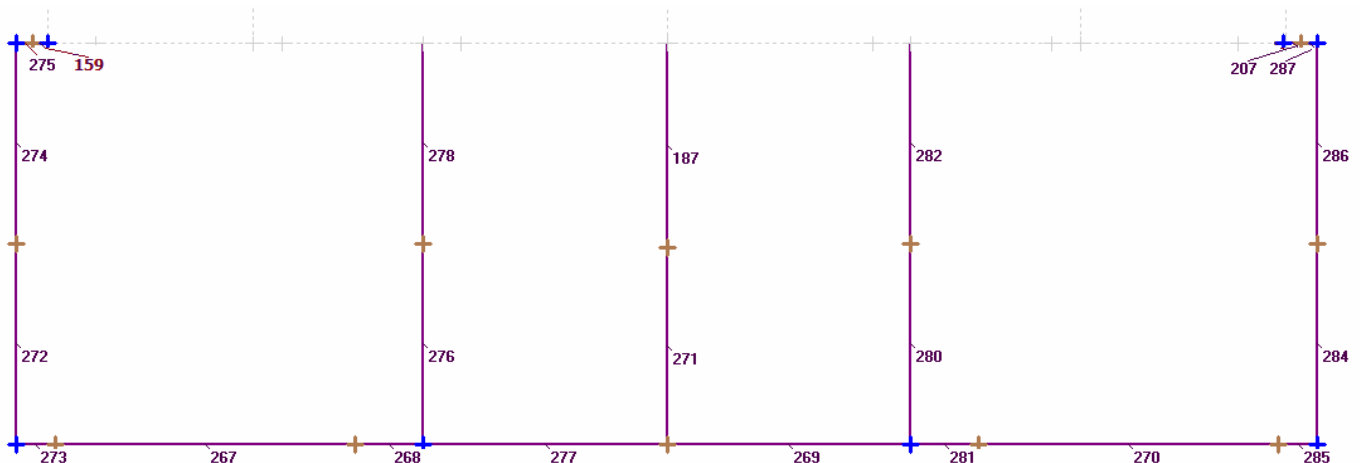



Fig. 1.7.14.

Dobbiamo attribuire il materiale calcestruzzo a tutte queste aste. In corrispondenza della 270, nei dati aste, scorriamo sulla destra fino a trovare la casella "N° Mat". e scegliamo 1 nel menu a tendina (o digitiamo 1). Poi si esegua unifica selezione  (barra strumenti superiore).

Sulla riga della stessa asta, scorrendo verso sinistra, in corrispondenza della colonna "Nome (Tipologia)", digitare Z o scegliere dal menu a tendina "fondazioni". Unifichiamo la selezione.

Selezioniamo adesso i nodi di fondazione del piano 1. Sono 23 nodi: i numeri 35, 39-44, 47-48, 50-51, 53, 55, 149-150, 179-186. Con questi elementi selezionati apriamo la tabella dei dati nodi. In PC.E tutti e soli i nodi di fondazione a qualsiasi altezza si trovino devono appartenere al piano 0, pertanto andiamo nella casella della tabella nodi apposita (piano), cambiando il piano di un nodo da 1 a 0 e facciamo unifica selezione. Inoltre dobbiamo cambiare il vincolo di questi nodi: in corrispondenza di uno di essi, nella colonna "Vincolo esterno" dei dati nodi, mettiamo vincolo su suolo elastico, tramite il menu a tendina e unifichiamo la selezione.

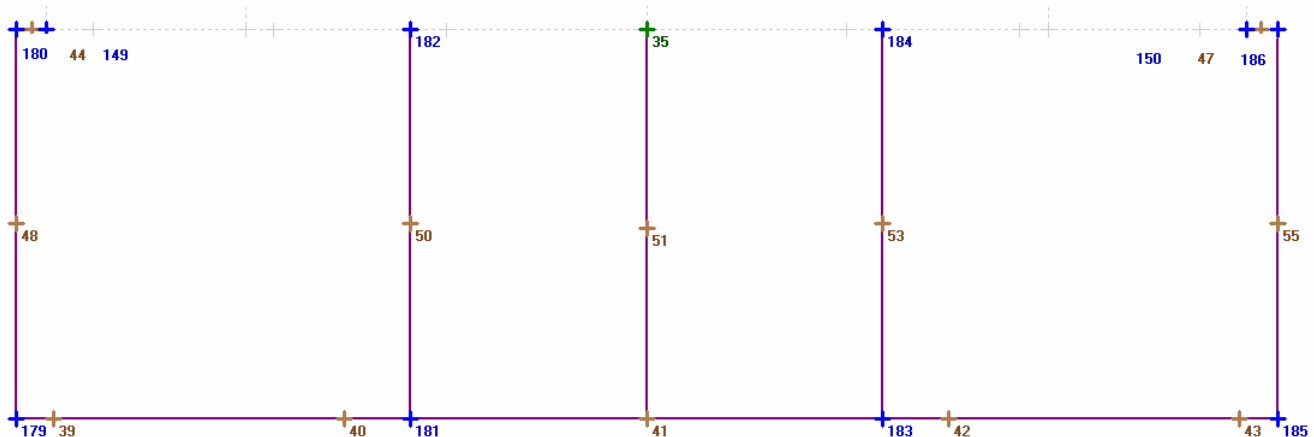



Fig. 1.7.15.

Con la visualizzazione piani (comando  della colonna di destra) ed il comando che consente di leggere il vincolamento dei nodi anche in pianta (barra verticale di sinistra) possiamo vedere il cambiamento.

Si può leggere in pianta il vincolamento dei nodi tramite il comando apposito


Effetto del cambiamento di Piano e di Vincolamento dei Nodi di fondazione del Piano1

Tramite il colore dei nodi nella vista Piani si vede il piano di appartenenza

N°	ID	Sub	Dis	Nome	X (m)	Y (m)	Z (m)	Piano	Vincolo esterno (T=consentito, U=no)	u (cm)	v (cm)	w (cm)	phX (kg/cm)	phY (kg/cm)	phZ (kg/cm)	Kx (kg/cm)	Ky (kg/cm)	Kw (kg/cm)	KphX (kg/m/mrad)	KphY (kg/m/mrad)	KphZ (kg/m/mrad)
35	39			M.4.1.	7.250	4.500	2.200	0	001110												
36	40			M.2.1.	14.050	6.300	2.200	0	001110												
37	41			M.13.1.	11.150	8.100	2.200	1	001000												
38	42			M.6.1.	11.800	4.500	2.200	1	001000												
39	43			M.1.2.	0.529	0.100	2.200	0	001110												
40	44			M.3.2.	3.828	0.100	2.200	0	001110												
41	45			M.5.2.	7.250	0.100	2.200	0	001110												
42	46			M.7.2.	10.672	0.100	2.200	0	001110												
43	47			M.9.2.	13.971	0.100	2.200	0	001110												

Fig. 1.7.16.

A questo punto il piano primo è concluso. Salviamo con nome: *Tutor2012_02.pce*.

 **Suggerimento** Il file: **Tutor2012_02.pce** presente nella cartella Progetti di PC.E contiene tutti i passi eseguiti fino a questo punto. ■

1.7.4. PIANO 2 (Z=5.400)

Salire con  (Grafica 2D) all'impalcato 2 (Z=5.400). Vista vincolamenti.

Il piano 2 poiché non presenta fondazioni sfalsate ha bisogno di un numero minore di interventi sull'input.

Dalla vista vincolamenti senza superfici ci accorgiamo, come prima cosa, che mancano alcune aste a chiudere le maglie di solaio.

Pertanto utilizziamo:

- il comando definisci asta tra il nodo 76 ed il 107 (si accerti che nei dati sezione la cella di input si anella riga della sezione rigida)
- il comando definisci collegamento rigido con incastro tra i nodi 69 e 75 e tra i nodi 79 e 102.

Vincolamento [Piano 2 / 3]

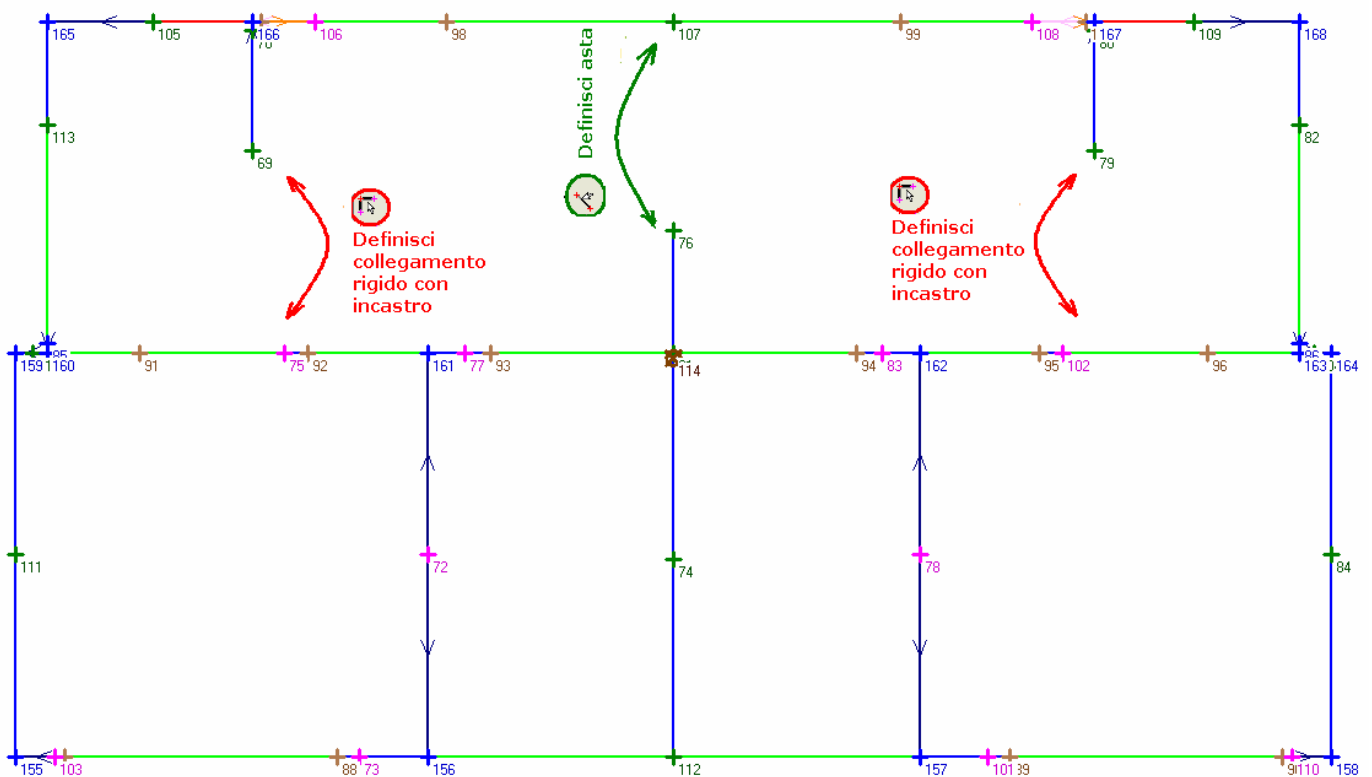


Fig. 1.7.17.

Il risultato finale è il seguente:

Vincolamento [Piano 2 / 3]

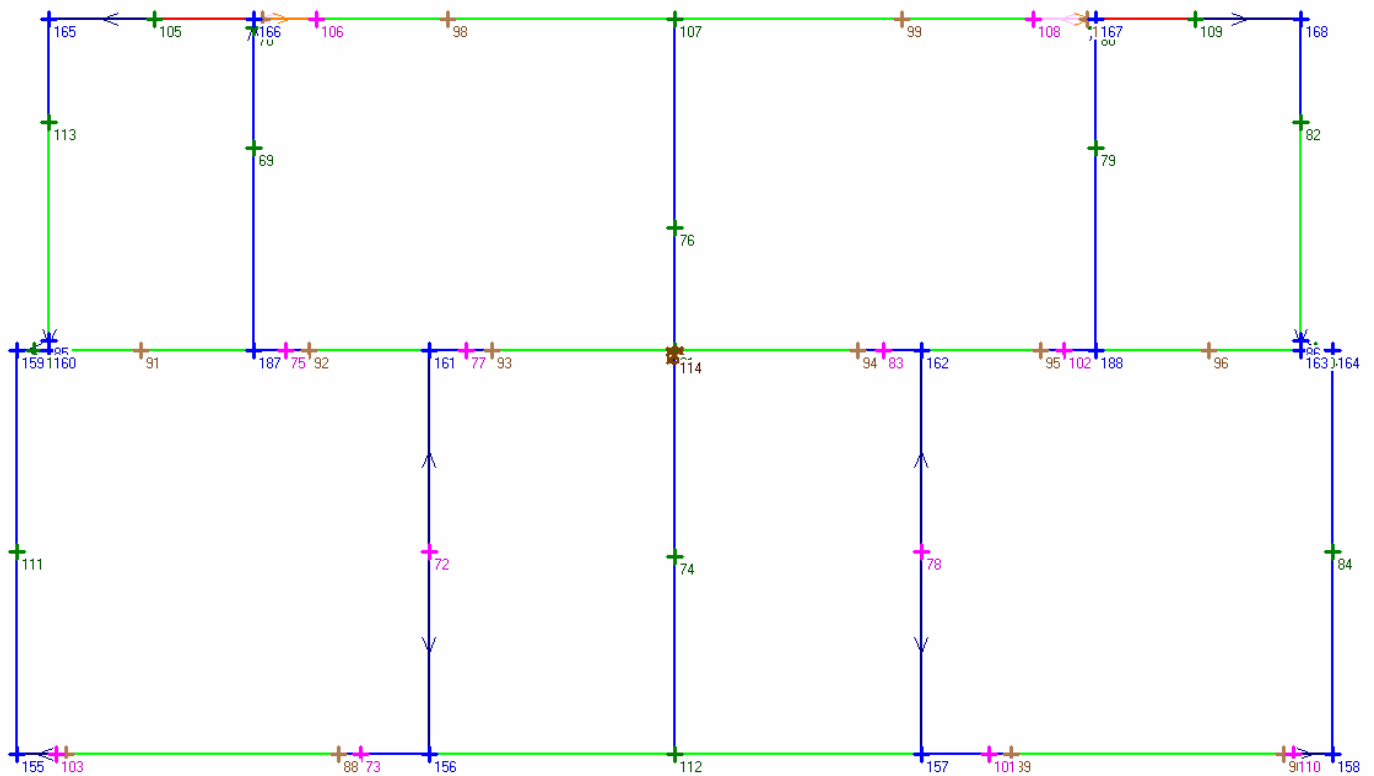


Fig. 1.7.18.

Per quanto riguarda le labilità: notiamo che le aste che confluiscono nel nodo 166 (in alto a sinistra) sono: la biella 175, lo svincolamento incastro-Cerniera 240, l'incastro-cerniera scorrevole 177 e l'asta svincolata a taglio 241. Pertanto decidiamo di incastrare le aste 175 e 177 e di svincolare a taglio l'asta 240 (vincolo 001000 al nodo 166).

Nella parte simmetrica, a destra, in corrispondenza del nodo 180 abbiamo la stessa situazione e quindi si tratta di incastrare le aste 176 e 242 e svincolare a taglio l'asta 180 (vincolo 001000 al nodo 167).

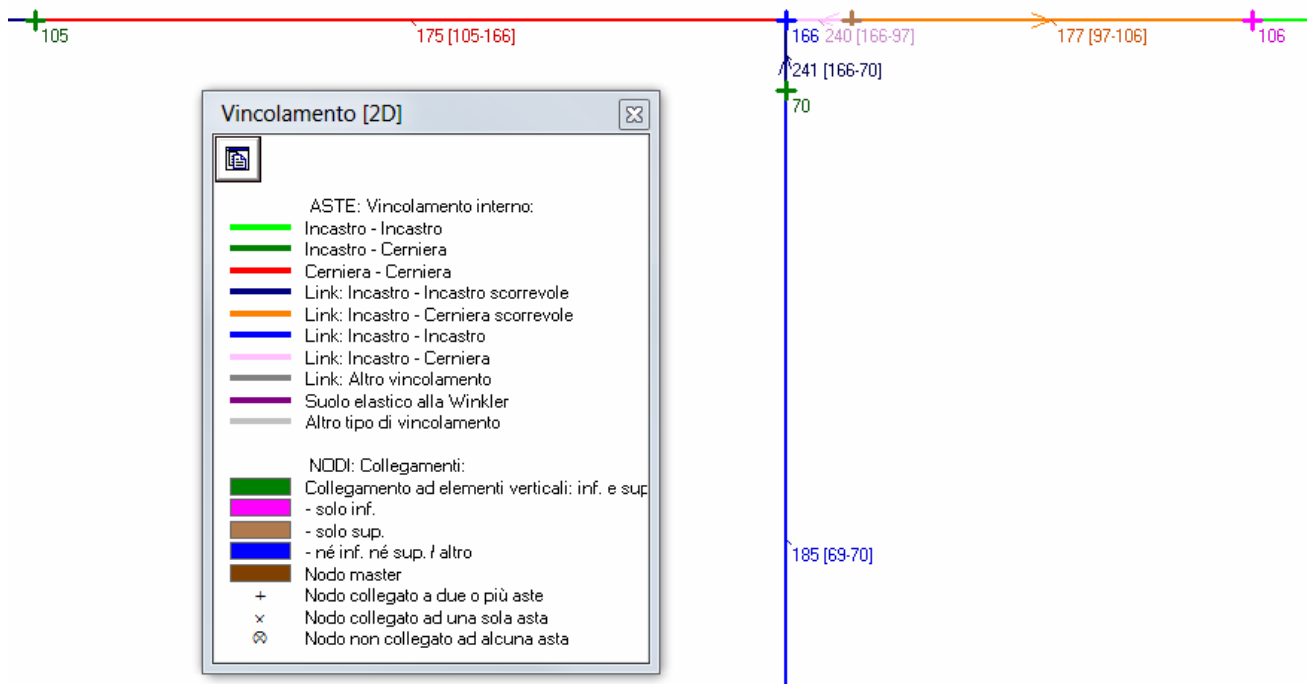


Fig. 1.7.19.

La situazione finale, con la vista superfici attivata, è la seguente:

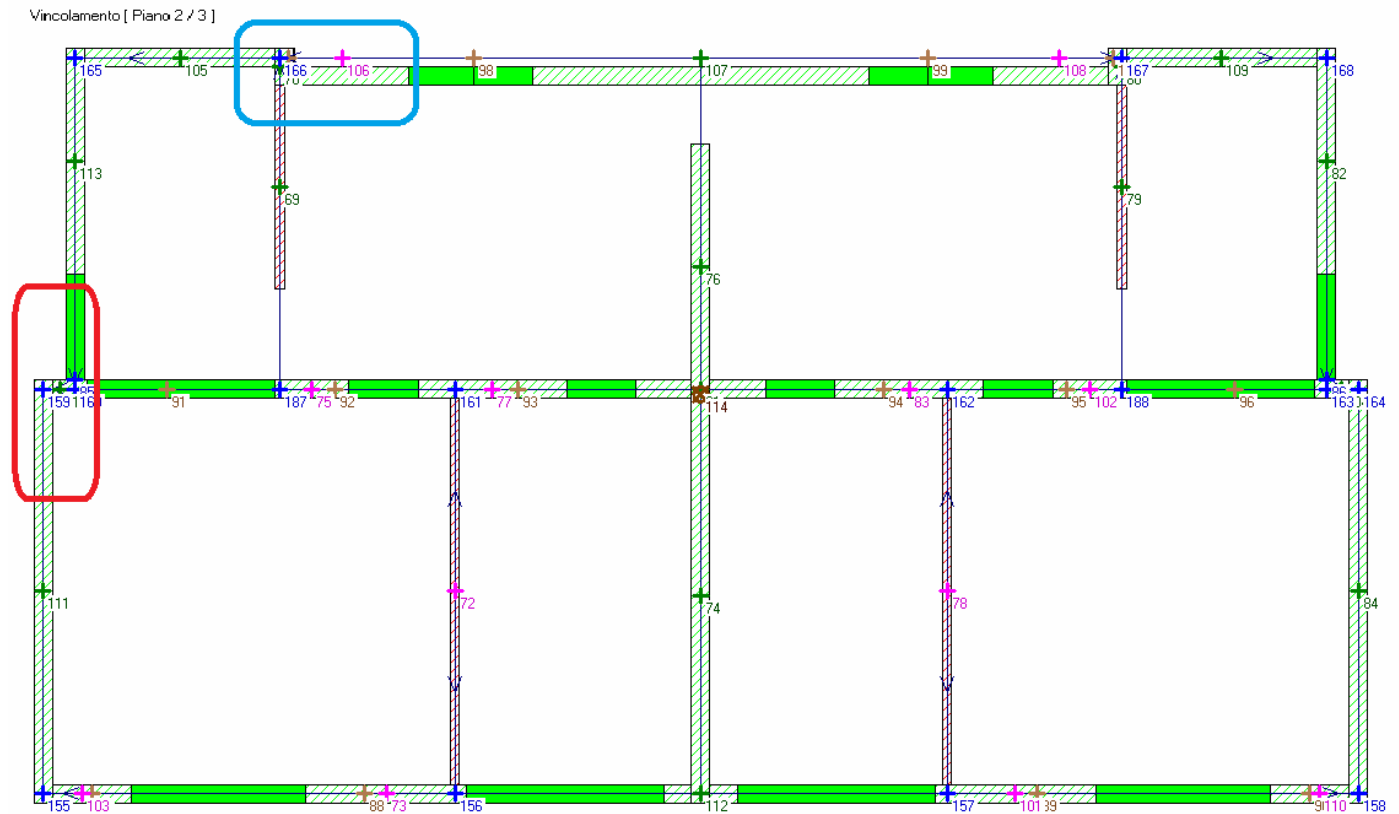



Fig. 1.7.20.

Osserviamo l'allineamento X superiore: i nodi 165, 105, 106, 98, 107, 99, 108, 109, 168 risultano allineati, mentre il disegno dei maschi murari presenta un disallineamento (zona evidenziata in azzurro). Il motivo è il seguente: in questo prospetto in CAD, seguendo la conformazione reale dell'edificio, si sono disegnati dei maschi murari che risultano sfalsati di poco.

In fase di lettura da DXF le tolleranze interne consentono la definizione di un unico allineamento. I nodi cioè sono stati posti su di un unico piano verticale gestendo con scostamenti grafici la posizione delle superfici strutturali (cfr. nei dati aste i campi "Scost. y,z").

Diversa è la situazione del prospetto laterale sinistro evidenziato in rosso: nodi 155, 111, 159, 160, 85, 113, 165. In tal caso lo scostamento supera la tolleranza e vengono generati due allineamenti distinti.

1.7.5. PIANO 3 (Z = 8.430)

Salire con  (Grafica 2D) all'impalcato 3 (Z = 8.430).

Completiamo la chiusura delle maglie utilizzando il comando definisci asta (di tipo rigido) tra il nodo 127 e il 116 e il comando definisci collegamento rigido con incastro tra i nodi 124 e 119 e tra i nodi 128 e 140.

Vincolamento [Piano 3 / 3]

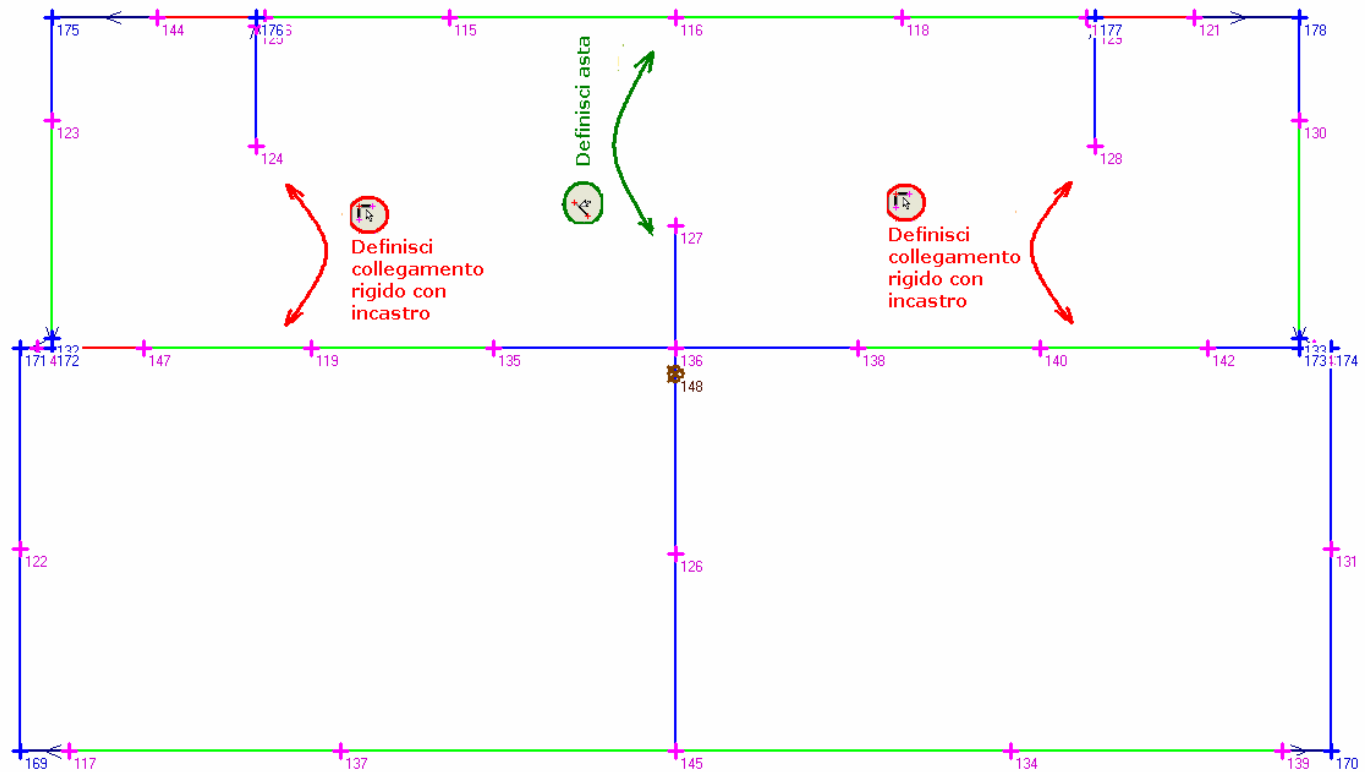


Fig. 1.7.21.

In modo analogo a quanto fatto precedentemente interveniamo sul vincolamento interno delle aste per eliminare le labilità presenti: pertanto incastriamo le aste 181 e 263. Svincoliamo a taglio ad un estremo (001000) le aste 182 e 261 (da svincolare a taglio rispettivamente all'estremo 177 e 176).

Inoltre poiché la copertura è inclinata dobbiamo cambiare il valore della coordinata Z ai nodi dell'allineamento centrale. Pertanto li selezioniamo. Ingrandiamo la finestra 2D per utilizzare il comando che permette la selezione dei soli nodi (gli altri comandi riguardano la selezionabilità delle sole aste o dei soli solai). I nodi da selezionare vanno presi tramite un rettangolo di selezione grafica relativo all'allineamento X centrale e sono 17: i n° 119, 132-133, 135-136, 138, 140-143, 147, 171-174, 189-190. Nei dati nodi cambiamo la Z di uno di essi dal valore attuale (8.430) al valore Z = 10.53. Unifichiamo la selezione.

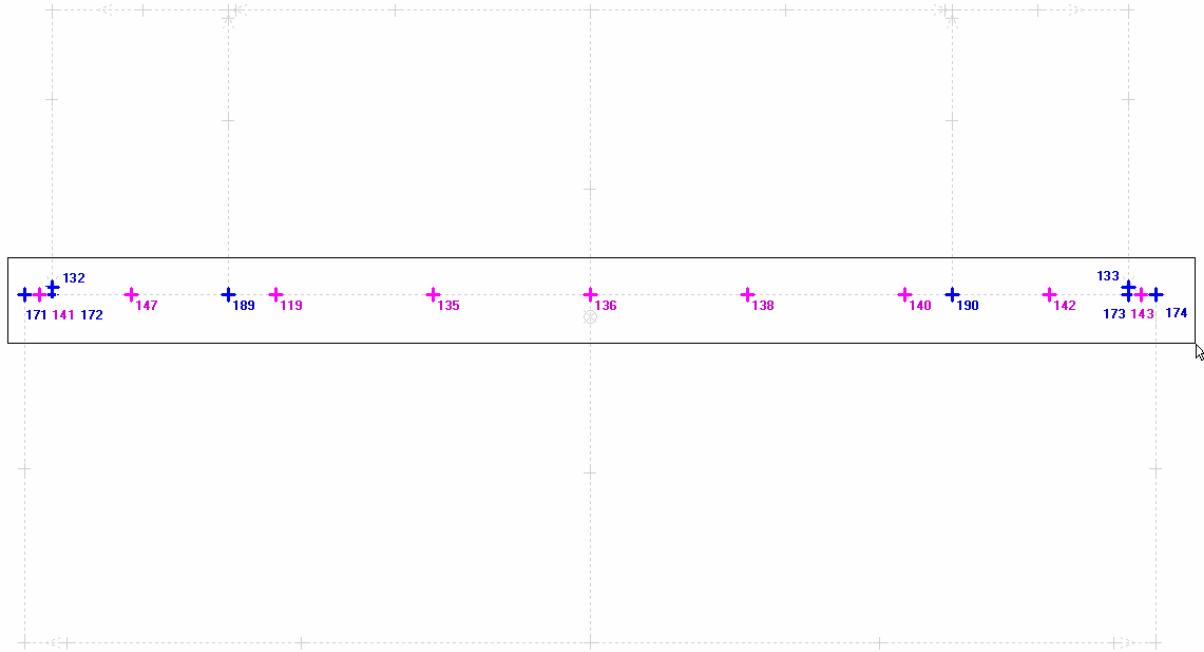


Fig. 1.7.22.

Utilizziamo il comando "deseleziona tutto"  (barra degli strumenti superiori).

Adesso dobbiamo regolare l'altezza di altri nodi del piano 3 perché la struttura presenta due falde inclinate in copertura: pertanto dobbiamo cambiare le quote in modo che questi siano i nuovi valori:

- Nodi: 123, 130 $Z = 9.05 \text{ m}$
- Nodi: 124, 128 $Z = 9.20 \text{ m}$
- Nodi: 122, 126, 131 $Z = 9.45 \text{ m}$
- Nodo: 127 $Z = 9.70 \text{ m}$

Inoltre dobbiamo cambiare nei dati aste la pendenza dei maschi murari inclinati:

- Aste: 111, 115, 120 $\text{pendenza} = 47 \%$
- Aste: 112, 113, 116, 117, 119 $\text{pendenza} = -60 \%$

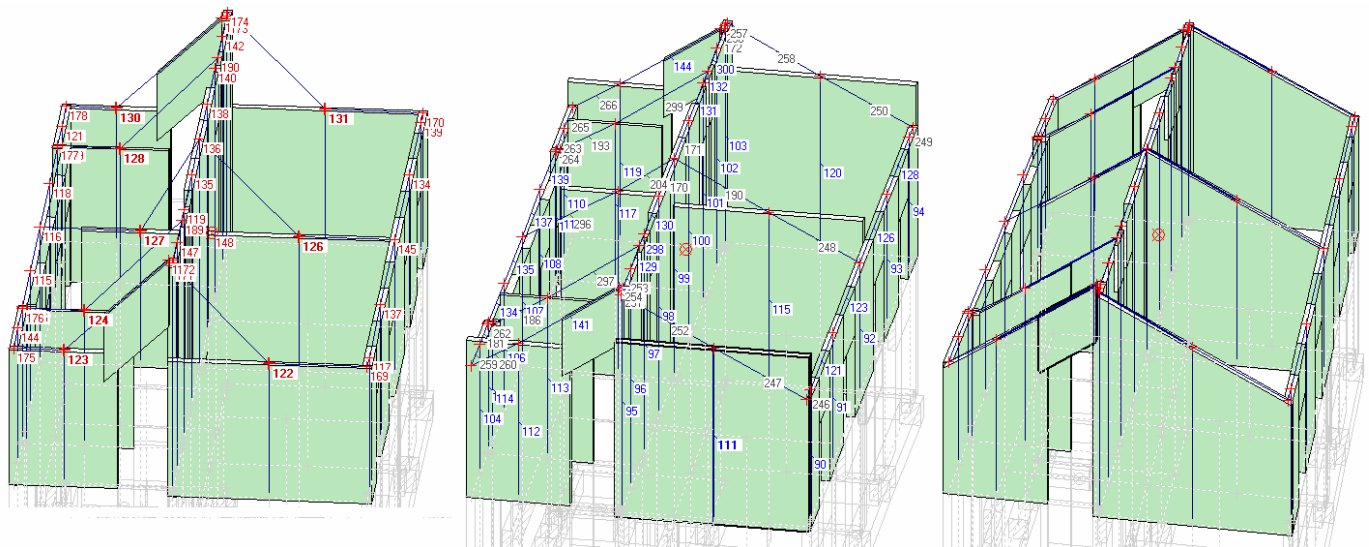



Fig. 1.7.23.

Spesso i maschi murari in sommità dell'edificio, a causa dello scarso carico verticale e dei collegamenti rigidi ad essi sovrastanti, possono manifestare sollecitazioni di trazione in fase statica. È quindi consigliare evitare, se possibile, tali comportamenti, che sono poco realistici. Nel nostro caso, svincoliamo ad un estremo tutte le

componenti di traslazione per le aste 190, 204, 297 e 299. In concreto, si tratta di aprire i dati aste, andare alla riga relativa all'asta 190 e digitare lo svincolamento 111000 all'estremo 136, l'altro estremo rimane incastrato. Analogamente si opera per le aste 204, 297 e 299 che hanno come estremo svincolato a traslazione (111000), rispettivamente i nodi 136, 189, 190. Nella grafica, come sempre, la freccia indica i nodi svincolati. Tale tipologia di vincolamento è colorata in grigio nella vista vincolamenti.

 **Nota bene** In alternativa, un metodo, altrettanto efficace per eliminare trazioni nelle sezioni di sommità dei maschi, consiste nello svincolare lo spostamento assiale dell'asta verticale, in corrispondenza del nodo superiore. Poiché l'asse longitudinale è l'asse locale x, in pratica si tratta di introdurre all'estremo superiore il vincolo 100000. Ovviamente occorre attenzione a non creare conseguenti labilità, perché quel nodo di estremità superiore del maschio avrà spostamento verticale libero. ■

Vincolamento
Cond.Car. 1 / 1 : Condizione di Carico n° 1

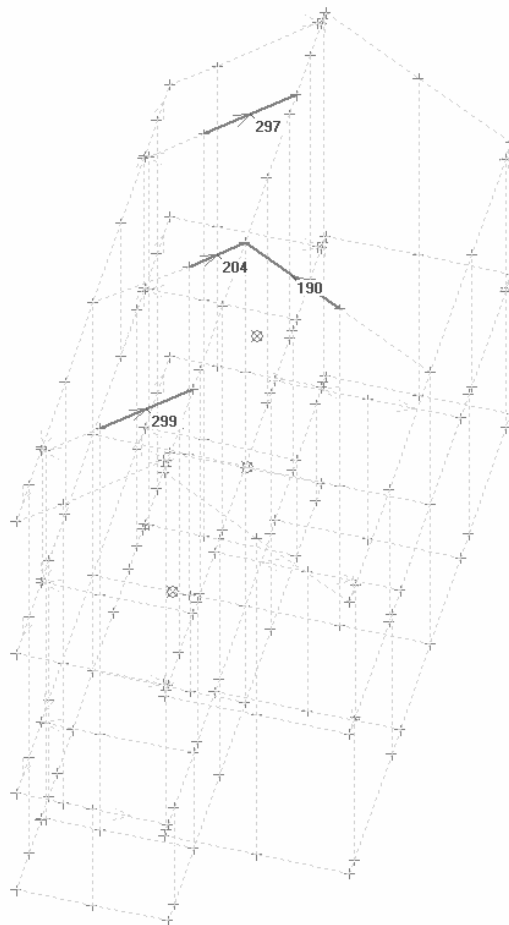


Fig. 1.7.24.

1.8. INSERIMENTO SOLAI


Adesso definiamo le maglie di solaio.

Per l'inserimento delle maglie di solaio sono disponibili alcuni metodi alternativi.



a) Il metodo consigliato è l'**inserimento automatico dei solai** che consente l'inserimento in una maglia chiusa di qualsiasi forma semplicemente con un clic all'interno della campata interessata: occorre in tal caso aver preventivamente definito eventuali nodi assenti (p.es. negli angoli della maglia) e relativi collegamenti rigidi.

b) In alternativa **Maglie generiche** possono essere inserite facendo clic progressivamente (in senso orario o antiorario) sui nodi interessati.

c) La **sequenza** di nodi costituenti la maglia di solaio infine può essere **direttamente inserita in input nei Dati Solai**.

Scegliamo il primo metodo. Si apre la finestra Dati Solai ( , o: **CTRL+O**): questa si predispone per la prima maglia.

Andiamo al piano 1 (Z= 2.200 m)

Si attivi nella finestra Grafica 2D il pulsante  relativo alla modalità di inserimento automatico. Fare clic sul pulsante grafico di inizio inserimento . Quindi, fare clic su un punto interno alla maglia di solaio in alto a sinistra. Viene costruita la maglia di solaio indicata con il retino nella vedi figura sottostante. Nei dati solai si possono leggere i nodi collegati dal solaio: 149 65 49 151 33 152 56 34 67 61.

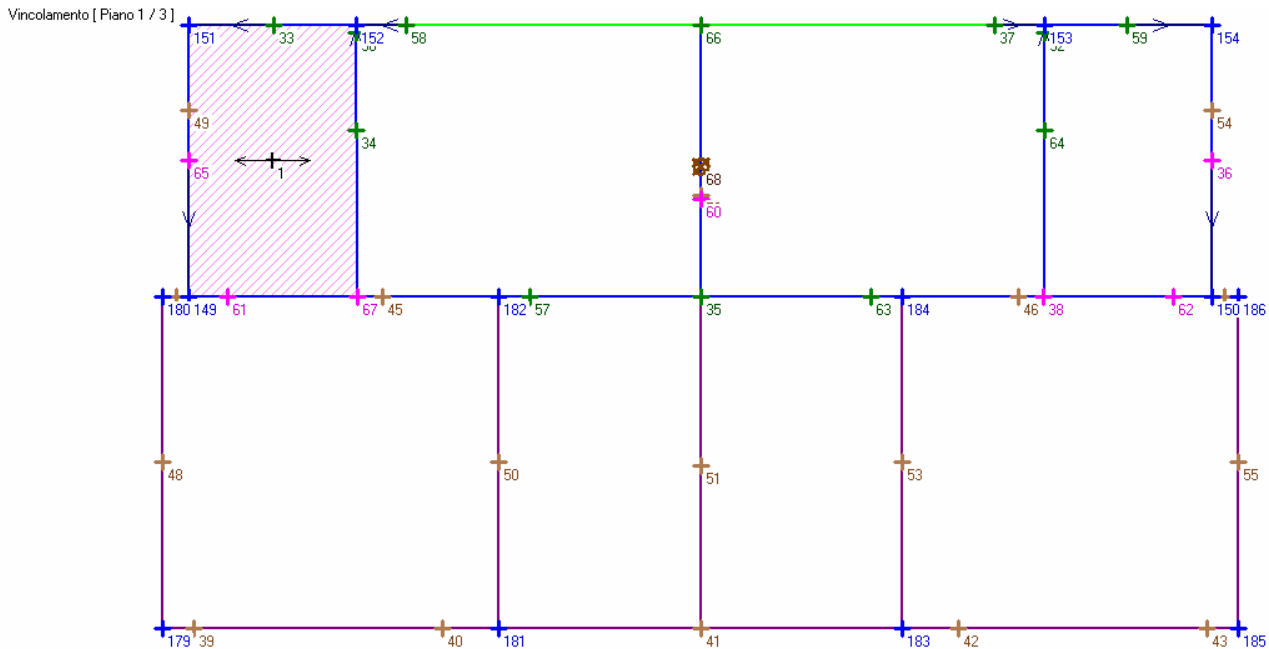


Fig. 1.8.1.

L'angolo di orditura del solaio è automaticamente preimpostato 0° (parallelo a X): in tal modo, la generazione dei carichi sulle aste produrrà carichi sulle aste ortogonali all'orditura, nel caso di solaio monodirezionale. Ovviamente, le aste interessate dal carico di solaio cambiano se si cambia l'angolo di orditura o la natura del solaio (un solaio bidirezionale, come si può definire nei Dati Solai nella colonna 'Schema statico', scarica anche sulle aste parallele all'orditura, secondo la percentuale indicata nell'apposita casella).

I carichi che verranno applicati sulle aste orizzontali della maglia andranno poi ad agire sulle pareti sottostanti, in base ai collegamenti fra le varie membrature strutturali.

Si torni alla vista in pianta, e tramite operazioni analoghe alle precedenti, si definiscano le altre 3 maglie di solaio del primo impalcato. Decidiamo infatti non definire solai che insistano direttamente sulle fondazioni

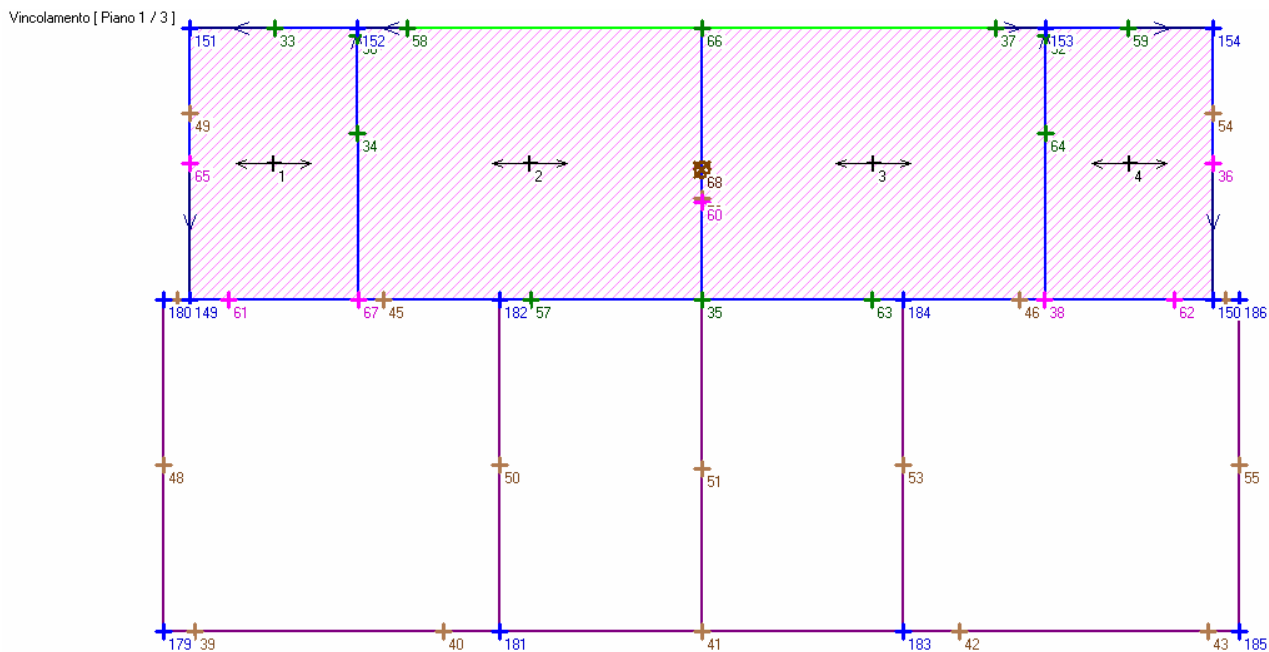


Fig. 1.8.2.

Al primo impalcato sono stati definiti tutti i solai. Gli angoli di orditura, i carichi e le condizioni di carico corrispondenti verranno riesaminate al termine dell'inserimento di tutti i solai dell'edificio.

PIANO 2

Prima di definire altri solai ai piani superiori facciamo notare che è importante controllare la posizione della cella nella finestra Dati Solai: l'inserimento grafico infatti si riferirà alla riga corrente. Se eventuali altre operazioni hanno spostato la cella dall'ultima riga occorre riposizionarla, in modo che i nuovi solai vengano aggiunti in sequenza.

In modo analogo definiamo gli 8 solai del piano 2 (n° 5-12), facendo clic all'interno di ciascuna maglia.

Alla fine selezioniamo graficamente gli otto solai e nella tabella solai andiamo a modificare il campo colore del primo, in giallo e unifichiamo la selezione.

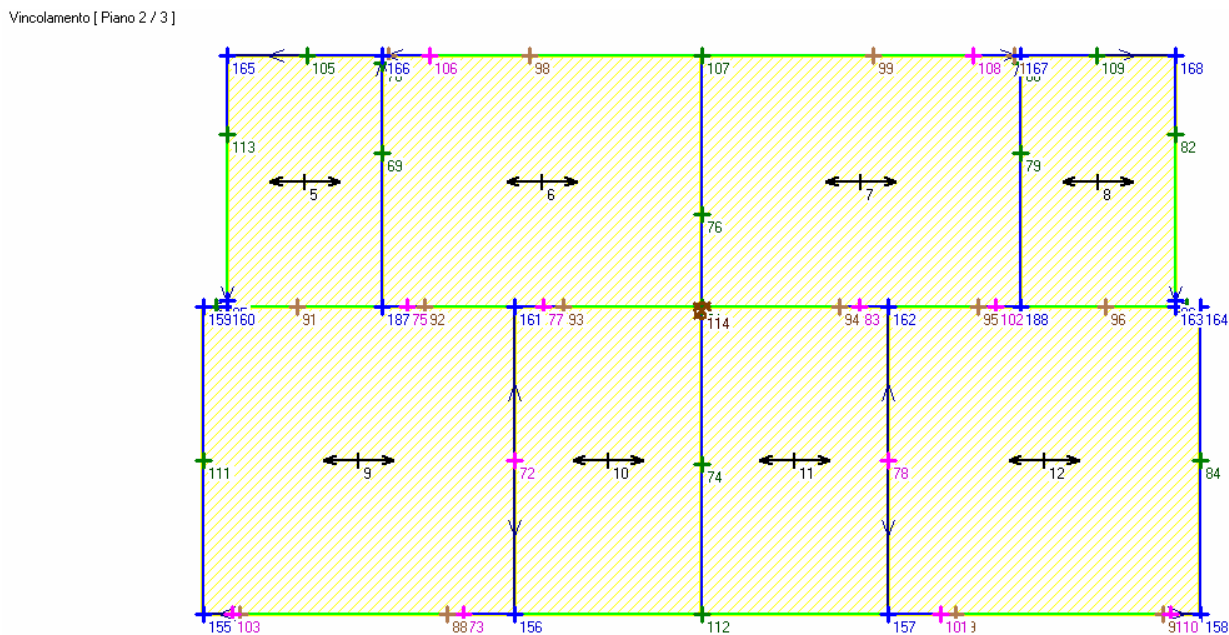



Fig. 1.8.3.

PIANO 3

Al piano 3 per vedere in pianta in modo completo le maglie che costituiscono i solai dobbiamo impostare il valore Box. Sup con un valore più elevato, pari ad esempio a 3 m.

Si definiscono altre 6 maglie di solaio le numero 13-18 (vedi figura) a cui assegniamo il colore blu nello stesso modo precedentemente descritto.

Poiché abbiamo scelto di non modellare il sottotetto come piano a sé stante ma di raddoppiare i solai in copertura, con questi 6 solai selezionati, andiamo nel menu Edit dei dati solai e selezioniamo il primo comando: Solai selezionati per nodi: copia. Viene chiesto il piano di destinazione, indichiamo il solito, il terzo. Abbiamo così i nuovi solai 19-24 a cui cambiamo colore scegliendo l'arancione (basta selezionare il primo, il 19 cambiargli il colore e

utilizzare il comando "unifica seguenti"  della barra strumenti superiori). Per vedere solo alcuni solai basta utilizzare il check Dis. (terza colonna della tabella solai), che elimina o meno il disegno dell'elemento.

Vincolamento [Piano 3 / 3]

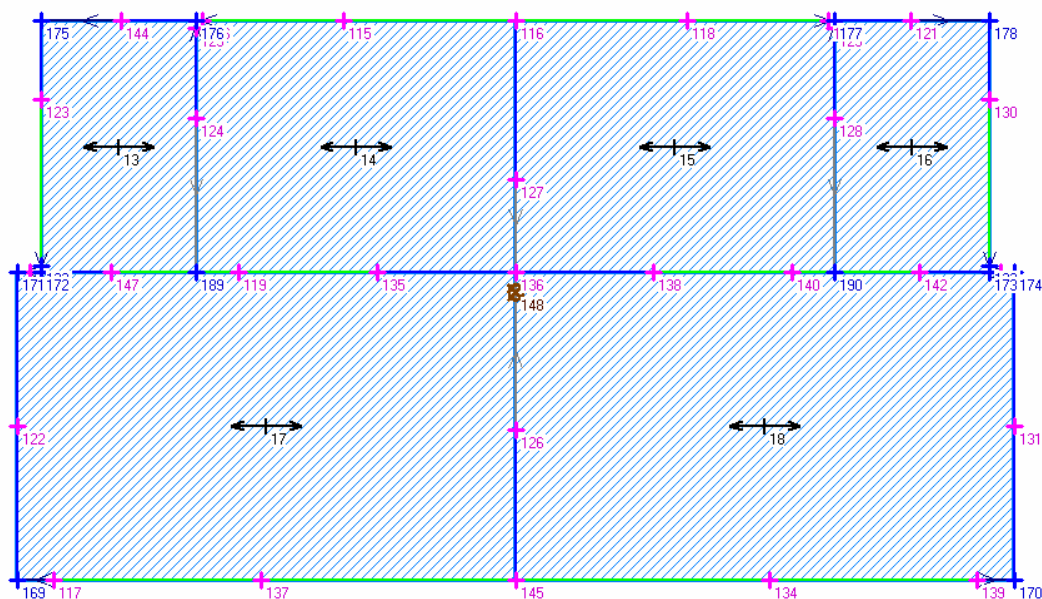


Fig. 1.8.4.

Vincolamento [Piano 3 / 3]

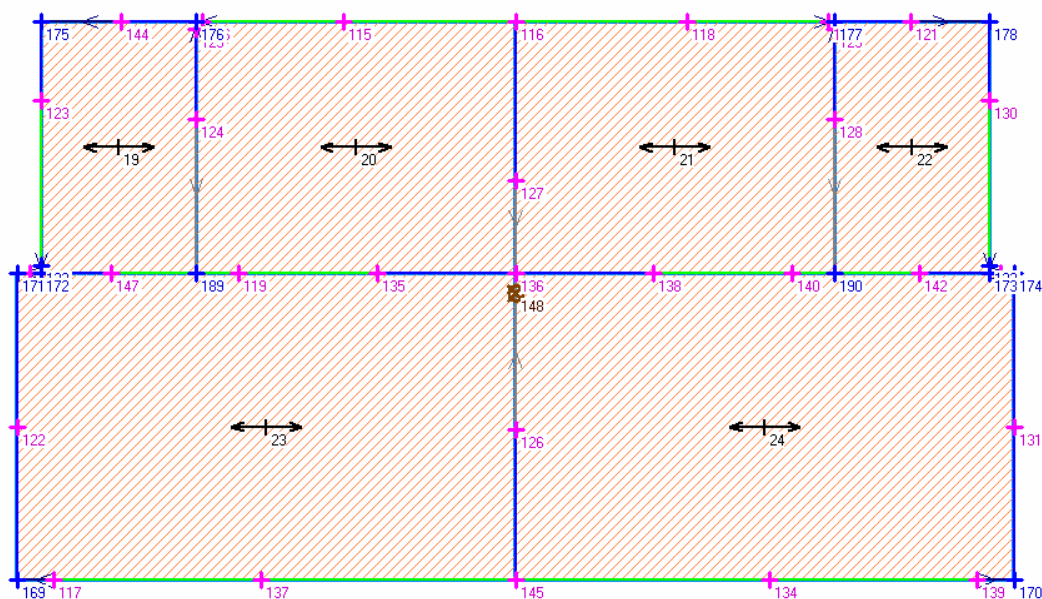


Fig. 1.8.5.

1.9. PERIMETRI DI PIANO

Utilizziamo adesso una modalità che consente di introdurre facilmente i carichi da vento nelle varie aste: anche se questi possono essere inseriti manualmente sulle singole aste verticali interessate, è molto più efficiente la generazione automatica, resa possibile dal riconoscimento automatico delle pareti perimetrali soggette al carico distribuito ortogonale del vento in pressione o depressione.

Affinché ciò sia possibile, è necessario definire ad ogni piano una particolare maglia di solaio, detta 'Perimetro di Piano', in un modo del tutto analogo a qualunque altra maglia di solaio. Tale maglia ha schema statico "E" (che significa appunto 'pErimetro di piano') e carichi tutti nulli; la sua finalità è quella di percorrere il perimetro identificando le pareti che saranno direttamente investite dall'azione del vento (in generale, non tutte le pareti saranno soggette contemporaneamente all'azione del vento, ma alcune pareti saranno investite dal vento X e altre dal vento Y).

Per definire agevolmente il perimetro di piano, si può utilizzare il comando di generazione automatica della maglia, facendo clic su un nodo esterno al perimetro. Qualora questa modalità non andasse a buon fine, si utilizzerà la definizione nodo per nodo.

Scegliamo di non considerare l'effetto del vento per le pareti del primo livello poiché sono interrato, quindi andiamo direttamente alla pianta del secondo livello, posta alla $z=5.400$ m. Utilizziamo il comando aggiungi riga. Posizioniamo la cella di input nella nuova riga, la 25, selezioniamo il comando per la creazione automatica del solaio nella finestra 2D e il comando 'inizio inserimento solaio', come già fatto precedentemente per i solai. Adesso però, per definire il perimetro di piano, facciamo un clic in un punto qualsiasi esterno all'impalcato corrente. Adesso andiamo a cambiare, nei dati solai, alla riga 25 la tipologia del solaio in perimetro di piano

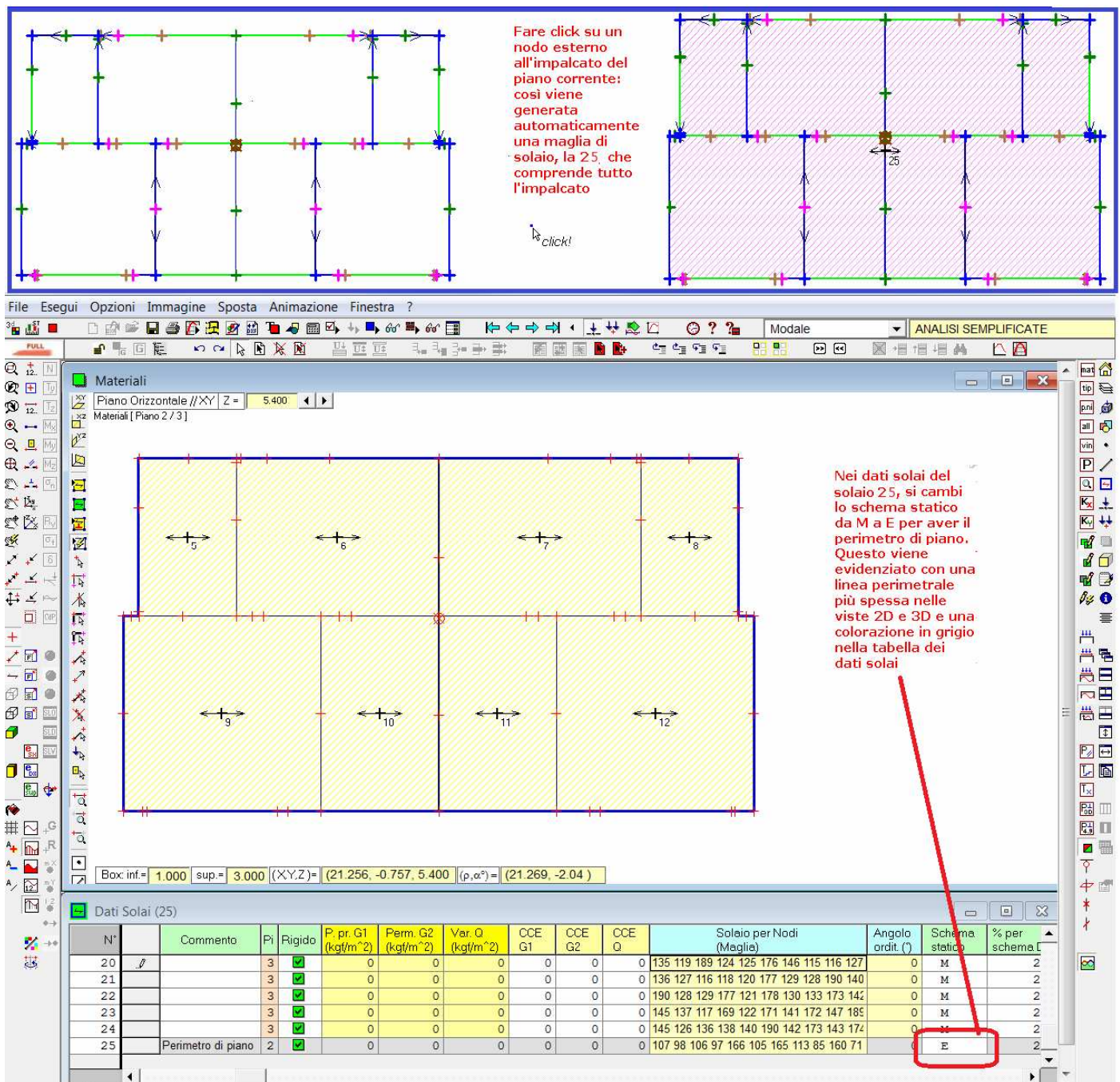


Fig. 1.9.1.

In modo analogo è immediatamente definibile il perimetro di piano al livello 3: basta porsi al piano $Z=8.43$ e fare clic in un punto esterno e cambiare la tipologia.

La situazione finale è la seguente:

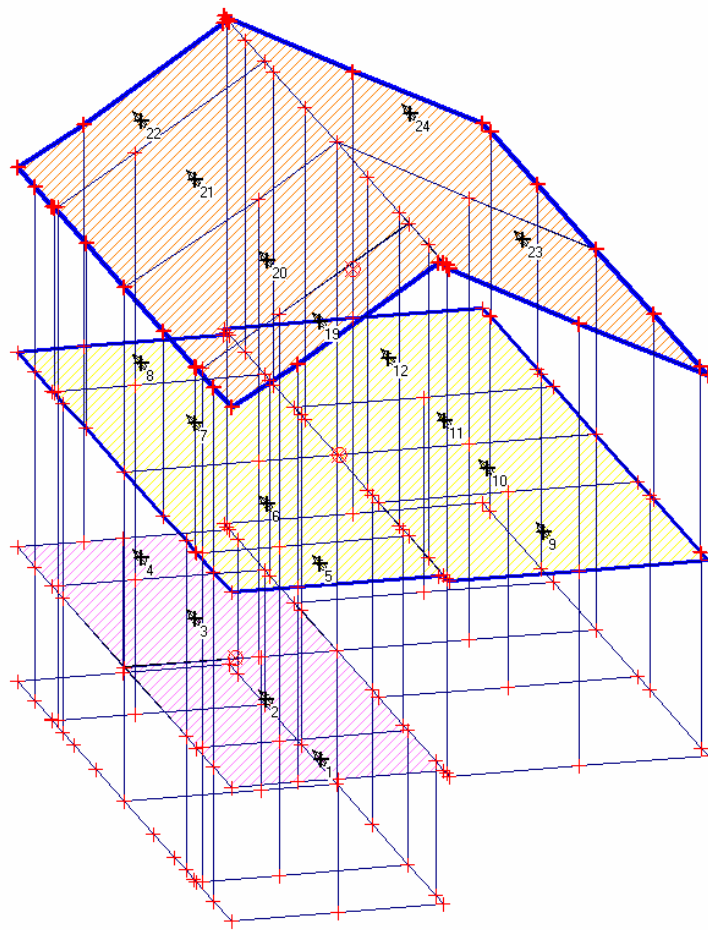


Fig. 1.9.2.

Il disegno è generato con punto di vista $\alpha = 160^\circ$.

Salviamo con nome: Tutor2012_03.pce.



Suggerimento

Il file: **Tutor2012_03.pce** contiene tutti i passi eseguiti fino a questo punto. ■

1.10. MATERIALI

Nella grafica 3D, con il disegno delle pareti attivo (bs.sin: superfici nascoste,), ma non la visualizzazione dei solai, si attivi il disegno per materiali (bs.dx in alto).

L'edificio in oggetto adesso ha le fondazioni in calcestruzzo e le pareti di un unico materiale, quello di default; in realtà la struttura è caratterizzata da tre materiali: il piano interrato è realizzato in blocchi di calcestruzzo semipieni ed il resto della struttura in mattoni semipieni, tranne le pareti interne sottili che sono in mattoni pieni.

Apriamo la Tabella Dati Materiali: (bs dx : o **CTRL+M**), che al momento contiene solo due materiali, il calcestruzzo armato e un materiale murario di default.

Dalla barra della finestra dei Dati Materiali è apribile, tramite il comando apposito (), la tabella dei 'Parametri di riferimento per Muratura Esistente': un database interno che propone le tipologie di muratura presenti nella Normativa di riferimento; selezionando un materiale e facendo clic sul comando 'applica al materiale corrente'

(), la riga corrispondente dei dati materiali viene aggiornata.

A disposizione dell'utente è presente anche una guida dei materiali, apribile con il comando .

Parametri di calcolo

aggiungi più materiali

Questo comando, che si trova anche nella finestra 'Dati Materiali', apre una Guida per la scelta dei Materiali

Una volta selezionato un materiale di Normativa nei Parametri di Riferimento, premendo questo comando, questo viene caricato nei dati materiali nella riga selezionata, sostituendo il materiale precedente. La colorazione per materiali rende evidente il cambiamento anche nella vista 3D

Questo comando apre la finestra dei 'Parametri di riferimento per muratura esistente'

Qui è indicato il Livello di Conoscenza (LC) selezionato nei Parametri di Calcolo

Tipologie di Muratura...

Muratura irregolare, in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)

Costituita prevalentemente da elementi con superficie liscia e forma arrotondata, o da ciottoli di fiume di piccoli e medie dimensioni; si presenta tanto con tessitura disordinata quanto ordinata.

Senza ricorsi

Dati Materiali (2) - Edificio Esistente: Livello di Conoscenza LC1

N°	Col.	Tipologia materiale	Descrizione [parametri meccanici in: kgf/cm ²]	Mur. nuova	Tipologia muratura	E	G	(eps).2 (%) (parabola-rettangolo)	(eps).u (%)	f.m	tk	tvmo (mur. tau, o (mur. tau, o
1		1	Conglomerato Cementizio Armato C25/30			310000	130000	0.20	0.35		250.0	
2		3	Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.:doppio UNI foratura <=40%)		7	35000	8750	0.20	0.35	50.0		

Fig. 1.10.1.

La normativa vigente prevede tre livelli di conoscenza, in questo esempio ci riferiamo a LC1: per operare tale scelta si vada nei Parametri di Calcolo , nella scheda "Muratura (1)". Alla modifica di LC seguiranno le corrispondenti modifiche nei parametri dei materiali.

Si selezioni la seconda riga della tabella dei Dati Materiali e poi si utilizzi il comando 'Parametri di riferimento per le murature' : si apre il database aggiornato con l'ultima normativa, secondo il livello di conoscenza indicato. Si scelga il materiale **n. 7** "Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.:doppio UNI foratura <=40%)".

A questo punto si faccia clic sul comando 'Applica al materiale corrente' (),

il colore dei materiali cambia e la seconda riga della tabella viene aggiornata con i seguenti valori:

$$E = 35\,000 \text{ kg/cm}^2 = 3\,500 \text{ MPa} = \text{N/mm}^2 = 350\,000 \text{ t/m}^2$$

$$G = 8\,750 \text{ kg/cm}^2 = 875 \text{ Mpa} = 87\,500 \text{ t/m}^2$$

$$f,m = 50 \text{ kg/cm}^2 = 5.0 \text{ Mpa} = 500 \text{ t/m}^2 (= \text{N/cm}^2)$$

$$\tau,0 = 2.4 \text{ kg/cm}^2 = 0.24 \text{ Mpa} = 24 \text{ t/m}^2 (= \text{N/cm}^2)$$


$$\text{peso specifico} = 1500 \text{ kg/m}^3.$$

(t/m² è l'unità di misura tradizionalmente utilizzata con metodi tipo Por, equivalente a N/cm²).

Attenzione I valori dei moduli elastici (E e G) per LC1 vengono impostati come minimi, conformemente alla formulazione originaria di OPCM 3431/2005 (§ 11.5.3.), in quanto si ritiene che i valori medi indicati in § C8A.1.A.4. siano un refuso: l'Utente ha la possibilità di cambiare i valori direttamente nei dati materiali se vuole operare diversamente. ■

Come facilmente verificabile nelle viste 2D e 3D con attiva la colorazione per materiali, adesso tutte le pareti dell'edificio hanno questo materiale (il n° 2 dei dati materiali).

Dobbiamo aggiungerne altri due, uno per le pareti interne sottili e uno per il seminterrato.

Per questo, con la finestra dati materiali attiva, si aggiungano due righe alla tabella tramite il comando "aggiungi più materiali" nella bs. sup ().

Si selezioni la terza riga dei dati materiali e poi si vada nei parametri di riferimento e si scelga il materiale **n. 6**, "Muratura in mattoni pieni e malta di calce", il quale presenta le seguenti caratteristiche:

$$E = 12\,000 \text{ kg/cm}^2 = 1\,200 \text{ MPa} = \text{N/mm}^2 = 120\,000 \text{ t/m}^2$$

$$G = 4\,000 \text{ kg/cm}^2 = 400 \text{ Mpa} = 40\,000 \text{ t/m}^2$$

$$f, m = 24 \text{ kg/cm}^2 = 2.4 \text{ Mpa} = 240 \text{ t/m}^2 (= \text{N/cm}^2)$$

$$\tau, 0 = 0.6 \text{ kg/cm}^2 = 0.06 \text{ Mpa} = 60 \text{ t/m}^2 (= \text{N/cm}^2)$$

$$\text{peso specifico} = 1800 \text{ kg/m}^3.$$

Stessa operazione per la quarta riga della tabella materiali, a cui deve essere assegnato il materiale **n. 11**:

"Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (forat.<45%)":

$$E = 24\,000 \text{ kg/cm}^2 = 2\,400 \text{ MPa} = \text{N/mm}^2 = 240\,000 \text{ t/m}^2$$

$$G = 6\,000 \text{ kg/cm}^2 = 600 \text{ Mpa} = 60\,000 \text{ t/m}^2$$

$$f, m = 30 \text{ kg/cm}^2 = 30 \text{ Mpa} = 300 \text{ t/m}^2 (= \text{N/cm}^2)$$

$$\tau, 0 = 1.8 \text{ kg/cm}^2 = 0.18 \text{ Mpa} = 18 \text{ t/m}^2 (= \text{N/cm}^2)$$

$$\text{peso specifico} = 1400 \text{ kg/m}^3$$

Alla fine di queste operazioni i dati materiali corretti sono i seguenti:







Dati Materiali (4) - Edificio Esistente: Livello di Conoscenza: LC1																		
N°	Col.	Tipologia materiale	Descrizione [parametri meccanici in kg/cm ²]	Mat nuovo	Tipologia muratura	E	G	t _m	t _k	t _{vmo} (mur nuova) / tau.0 (mur esistente)	t _{vko}	t _{td} malta	t _{td} muratura: fessuraz. diag.	t _{hm}	Duttilità (du / de)	Coeff. attrito	Coeff. dilataz. termica (°C ⁻¹)	Peso sp. (kg/m ³)
1		1	Conglomerato Cementizio Armato C25/30			310000	130000		250.0								0.000010	2500
2		3	Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura <=40%)		7	350000	8750	50.0		2.40		0.00	0.00	25.0	1.50	0.40	0.000006	1500
3		3	Muratura in mattoni pieni e malta di calce		6	120000	4000	24.0		0.60		0.00	0.00	12.0	1.50	0.40	0.000006	1800
4		3	Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (forat. <45%)		11	240000	6000	30.0		1.80		0.00	0.00	15.0	1.50	0.40	0.000006	1400

Fig. 1.10.2.

Definiti i materiali corretti, si devono assegnare agli elementi corrispondenti.

Si vada nella Finestra Aste e si scorra orizzontalmente la tabella fino a visualizzare il campo 'N° Mat.' in colore verde. Facendo clic all'interno compare una lista in cui è possibile selezionare il materiale da utilizzare.

- Si selezionino (tramite la tabella di selezione e gli strumenti di unificazione o graficamente) tutte le pareti e strisce del piano interrato (22 elementi) a questi deve essere assegnato nei dati aste il materiale n° 4. Un metodo veloce è selezionare una parete del piano (ad esempio la n. 11), fare clic su "Seleziona/Deseleziona"  (bs.sup.) e scegliere i check tipologia corrente e piano corrente, cambiare il materiale e comando unifica a seguire. Stessa procedura per le strisce 43 e 44.

- Resta infine da assegnare la muratura a mattoni pieni e malta di calce (n° 3) a 18 elementi: alle pareti e strisce sottili presenti ai diversi piani e cioè:
al Piano 1 le pareti 29 e 36; al Piano 2 le pareti 64, 66, 69-70; al Piano 3 le pareti 96-97, 101-102, 113, 117 e le strisce 129-132, 298, 300.

Si tratta dei 18 elementi che vengono evidenziati nella figura seguente.

Si selezionino tutti questi elementi, si assegni ad uno di questi il materiale n° 3 e si unifichi la selezione.

Materiali

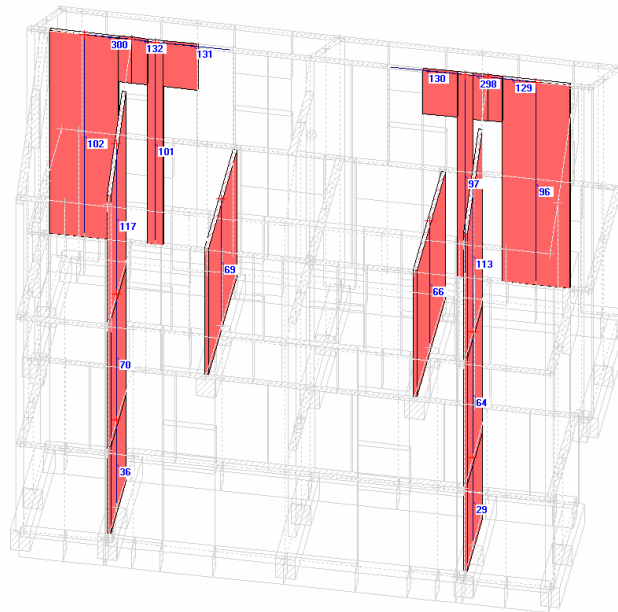


Fig. 1.10.3.

Nella figura seguente, il disegno dei materiali evidenzia la diversa natura delle murature. Per un controllo oltre alla legenda e alla vista 2D e globale 3D, è molto utile anche la vista 3D piano per piano (comando Vista: collegamento 2D - 3D).

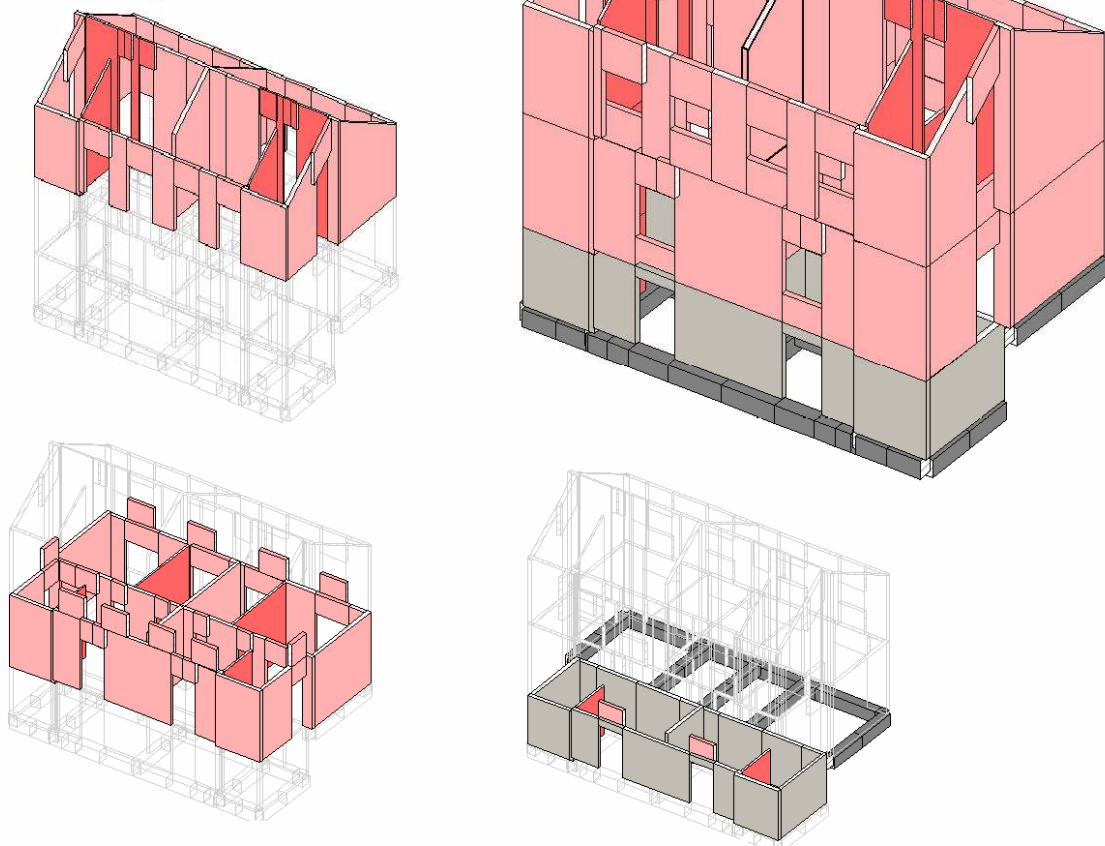
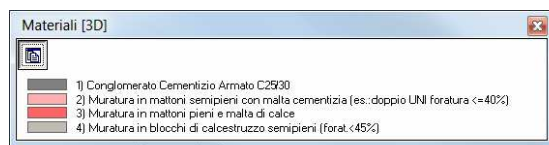


Fig. 1.10.4.

Per quanto riguarda la caratterizzazione dei materiali, oltre il Livello di Conoscenza, che viene scelto nei Parametri di Calcolo, sono di fondamentale importanza i parametri migliorativi o peggiorativi proposti dalla Circ.617 a NTC08. I valori dei parametri dei materiali infatti sono quelli minimi, ma nei dati aste si può tenere conto facilmente della presenza di malta buona, giunti sottili, listature, connessioni trasversali (diatoni), iniezioni, intonaco armato. Si tiene conto anche dell'effetto peggiorativo dovuto alla presenza di un nucleo scadente nelle murature a sacco. Per utilizzare questi parametri che influenzano notevolmente i risultati è sufficiente andare nei dati aste degli elementi interessati nelle caselle apposite. In questo modo è possibile tener conto anche dell'intervento di intonaco armato nello stato di progetto. Tutti i parametri sono singolarmente modificabili per ogni singola asta.


N°	Mur. nuova	Rinforzi con arm. orizz. (a taglio)	Malta buona	Giunti sottili	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente	Iniezioni di miscele	Intonaco armato	E (kg/cm²)	G	t.m.
1										24000	6000	30
2										310000	130000	0
3										24000	6000	30
4										310000	130000	0
5										24000	6000	30
6										310000	130000	0
7										24000	6000	30

Fig. 1.10.5.

1.11. CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI (CCE)

Si definiscono ora le Condizioni di Carico Elementari, sulla base delle quali sarà possibile distinguere i vari contributi di carico, ognuno caratterizzato dai propri coefficienti sismici.

Su questi aspetti è utile la guida pdf sull'analisi statica che si può aprire dai Parametri di Calcolo, scheda Generali, pulsante 'Info su Analisi Statica...' a lato del check che seleziona l'Analisi Statica Lineare NON Sismica; i contenuti sono anche riportati nel Manuale d'uso di PC.E, Vol. 2, par. 12.4.1.

Si apra la finestra dedicata (CCE) (Bs. dx: ): questa si predispose sulla prima CCE.

Nella barra orizzontale in alto selezioniamo dal menu 'carichi' il comando 'Imposta condizioni standard per edifici residenziali'.

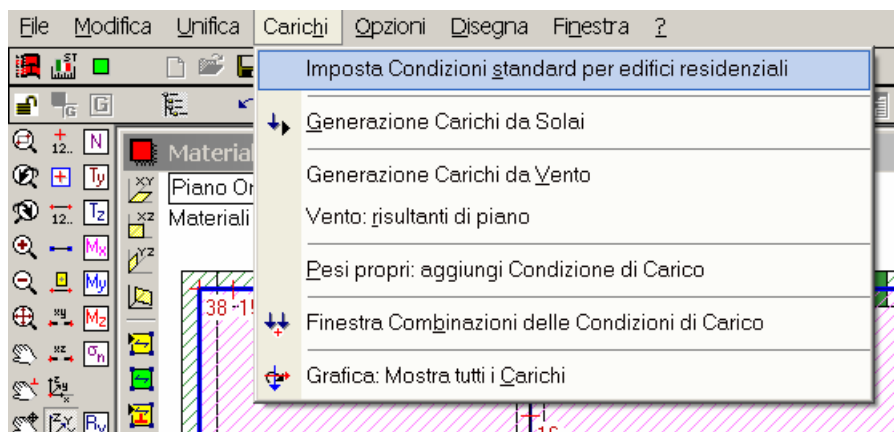


Fig. 1.11.1.

Il comando ha l'effetto di predisporre le seguenti CCE:

1. Permanenti, tipologia: G,1 (§2.5.1.3): carichi permanenti delle strutture di solaio;
2. Permanenti non strutturali, tipologia G,2 (§2.5.1.3): pesi di tutti gli elementi non strutturali (es.: pavimentazioni, tramezzi, intonaco);
3. Variabili: civile abitazione: Qk (§2.5.2);
4. Variabili: neve: Qk (§2.5.2);
5. Variabili: vento +X;
6. Variabili: vento +Y;
7. Variabili: vento -X;
8. Variabili: vento -Y.

La predisposizione è una 'preparazione' delle CCE che successivamente riceveranno i carichi calcolati automaticamente dalla generazione dei carichi dai solai e da vento, oltre che eventuali altri carichi direttamente inseriti dall'Utente.

PESO PROPRIO

Oltre a queste, aggiungiamo la condizione n. 9 relativi ai pesi propri con il comando relativo: "Pesi propri: aggiungi condizioni di carico" anch'essa presente nel menu Carichi.

Dati CCE (9) - 1: Permanenti										
N°	Commento	Tipol.	Tipo di azione	Psi.0 (raro)	Psi.1 (freq.)	Psi.2 (quasi perm.)	Moltip. masse	Nodi: Carichi Concentrati	Nodi: Cedimenti Vincolari	Nodi: Masse Concentrate
1	Permanenti	1	1. G1, Perm. strutt.							
2	Permanenti non strutturali	1	2. G2, Perm. non strutt.							
3	Variabili: Civile abitazione	1	4. Qk, residenziale							
4	Variabili: Neve	1	16. Qk, neve <=1000m	0.5	0.2	0.0	110001			
5	Variabili: Vento +X	1	12. Qk, vento +X	0.6	0.2	0.0	110001			
6	Variabili: Vento +Y	1	13. Qk, vento +Y	0.6	0.2	0.0	110001			
7	Variabili: Vento -X	1	14. Qk, vento -X	0.6	0.2	0.0	110001			
8	Variabili: Vento -Y	1	15. Qk, vento -Y	0.6	0.2	0.0	110001			
9	Pesi Propri	2	1. G1, Perm. strutt.	1.0	1.0	1.0	110001			

Fig. 1.11.2.

Il dato 'Tipo di azione' nella finestra Dati CCE consente la specifica della tipologia dell'azione, che oltre ad essere preimpostata può anche essere scelta dall'Utente, secondo la convenzione qui di seguito riportata (si indicano, in sequenza: numero identificativo del tipo di azione, descrizione del tipo di azione, corrispondenti coefficienti ψ_0 , ψ_1 , ψ_2 ; per i carichi permanenti i coefficienti ψ sono tutti posti pari a 1.0):

- 1) Permanente strutturale (G1), 1.0,1.0,1.0
- 2) Permanente non strutturale (G2), 1.0,1.0,1.0
- 3) Precompressione (P), 1.0,1.0,1.0
- 4) Var.(Qk): Cat.A: Ambienti ad uso residenziale, 0.7,0.5,0.3
- 5) Var.(Qk): Cat.B: Uffici, 0.7,0.5,0.3
- 6) Var.(Qk): Cat.C: Ambienti suscettibili di affollamento, 0.7,0.7,0.6
- 7) Var.(Qk): Cat.D: Ambienti ad uso commerciale, 0.7,0.7,0.6
- 8) Var.(Qk): Cat.E: Biblioteche, archivi, magazzini ed ambienti ad uso industriale, 1.0,0.9,0.8
- 9) Var.(Qk): Cat.F: Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN), 0.7,0.7,0.6
- 10) Var.(Qk): Cat.G: Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN), 0.7,0.5,0.3
- 11) Var.(Qk): Cat.H: Coperture, 0.0,0.0,0.0
- 12) Var.(Qk): Vento +X, 0.6,0.2,0.0
- 13) Var.(Qk): Vento +Y, 0.6,0.2,0.0
- 14) Var.(Qk): Vento -X, 0.6,0.2,0.0
- 15) Var.(Qk): Vento -Y, 0.6,0.2,0.0
- 16) Var.(Qk): Neve (a quota ≤ 1000 m. slm)
- 17) Var.(Qk): Neve (a quota > 1000 m. slm)
- 18) Var.(Qk): Variazioni termiche, 0.6,0.5,0.0

I dati dei tipi di azione da 4) a 18) coincidono con quanto riportato in Tabella 2.5.I (§2.5.3):

ATTRIBUZIONE DEI CARICHI AI SOLAI

Si torni ora alla finestra Dati Solai e si attribuisca ad ogni maglia di solaio il carico applicato (kg/m^2) e la CCE corrispondente:

- solai del piano 1 (n° 1-4), del piano 2 (n° 5-12) e del sottotetto (n° 13-18)

Carichi	P.pr. G1 = 250	Perm. G2=190	Q=200
CCE corrispondenti	CCE P.pr = 1	CCE G2 = 2	CCE Q = 3

Il metodo più rapido consiste nel digitare il valore nel primo solaio e unificare i carichi usando il comando "Carichi" del menu "Unifica", della finestra Dati Solai.

- solai 19-24 del piano 3 (copertura con neve):

Carichi	P.pr. G1=250	Perm. G2=75	Q=130
---------	--------------	-------------	-------

CCE corrispondenti	CCE P.pr = 1	CCE G2 = 2	CCE Q = 4
--------------------	--------------	------------	-----------

In modo analogo a prima, modificare i dati per il solaio 19 ed utilizzare il comando Carichi del menu Unifica.

Nei dati solai poi si deve impostare, per tutti i solai l'angolo di orditura pari a 90° (basta cambiare l'angolo del primo da 0 a 90 e poi fare unifica seguenti).



Si abbia cura di verificare che tutti i solai abbiano schema statico M, cioè monodirezionale (eccetto i perimetri di piano).

Anche dei brevi commenti possono risultare molto utili per identificare la natura del solaio.

Alla fine dovrebbe risultare la seguente tabella dei Dati Solai:

N°	Col.	Trasp.	Dis.	Commento	Piano	Rigido	P. pr. G1 (kg/m ²)	Perm. G2 (kg/m ²)	Var. Q (kg/m ²)	CCE G1	CCE G2	CCE Q	Solaio per Nodi (Maglia)	Angolo ordit. (°)	Schema statico
1		✓	✓	Abitazione piano 1	0	✓	250	190	200	1	2	3	34 67 61 149 65 49 151 33 152 56	90	M
2		✓	✓	Abitazione piano 1	0	✓	250	190	200	1	2	3	182 45 67 34 56 152 58 66 52 60 35 57	90	M
3		✓	✓	Abitazione piano 1	0	✓	250	190	200	1	2	3	35 60 52 66 37 153 32 64 38 46 184 63	90	M
4		✓	✓	Abitazione piano 1	0	✓	250	190	200	1	2	3	64 32 153 59 154 54 36 150 62 38	90	M
5	▶	✓	✓	Abitazione piano 2	2	✓	250	190	200	1	2	3	187 91 160 85 113 165 105 166 70 69	90	M
6		✓	✓	Abitazione piano 2	2	✓	250	190	200	1	2	3	93 77 161 92 75 187 69 70 166 97 106 98	90	M
7		✓	✓	Abitazione piano 2	2	✓	250	190	200	1	2	3	162 83 94 81 76 107 99 108 100 167 80 75	90	M
8		✓	✓	Abitazione piano 2	2	✓	250	190	200	1	2	3	86 163 96 188 79 80 167 109 168 82	90	M
9		✓	✓	Abitazione piano 2	2	✓	250	190	200	1	2	3	161 72 156 73 88 87 103 155 111 159 71 1	90	M
10		✓	✓	Abitazione piano 2	2	✓	250	190	200	1	2	3	74 112 156 72 161 77 93 81	90	M
11		✓	✓	Abitazione piano 2	2	✓	250	190	200	1	2	3	162 78 157 112 74 81 94 83	90	M
12		✓	✓	Abitazione piano 2	2	✓	250	190	200	1	2	3	162 95 102 188 96 163 104 164 84 158 11	90	M
13		✓	✓	Sottotetto	3	✓	250	190	200	1	2	3	132 123 175 144 176 125 124 189 147 172	90	M
14		✓	✓	Sottotetto	3	✓	250	190	200	1	2	3	146 115 116 127 136 135 119 189 124 125	90	M
15		✓	✓	Sottotetto	3	✓	250	190	200	1	2	3	127 116 118 120 177 129 128 190 140 138	90	M
16		✓	✓	Sottotetto	3	✓	250	190	200	1	2	3	190 128 129 177 121 178 130 133 173 142	90	M
17		✓	✓	Sottotetto	3	✓	250	190	200	1	2	3	119 135 136 126 145 137 117 169 122 171	90	M
18		✓	✓	Sottotetto	3	✓	250	190	200	1	2	3	145 126 136 138 140 190 142 173 143 174	90	M
19		✓	✓	Tetto	3	✓	250	75	130	1	2	4	132 123 175 144 176 125 124 189 147 172	90	M
20		✓	✓	Tetto	3	✓	250	75	130	1	2	4	119 189 124 125 176 146 115 116 127 136	90	M
21		✓	✓	Tetto	3	✓	250	75	130	1	2	4	136 127 116 118 120 177 129 128 190 140	90	M
22		✓	✓	Tetto	3	✓	250	75	130	1	2	4	133 173 142 190 128 129 177 121 178 130	90	M
23		✓	✓	Tetto	3	✓	250	75	130	1	2	4	145 137 117 169 122 171 141 172 147 189	90	M
24		✓	✓	Tetto	3	✓	250	75	130	1	2	4	145 126 136 138 140 190 142 173 143 174	90	M
25		✓	✓	Perimetro di piano	2	✓	0	0	0	0	0	0	98 106 97 166 105 165 113 85 160 71 159	0	E
26		✓	✓	Perimetro di piano	3	✓	0	0	0	0	0	0	116 115 146 176 144 175 123 132 172 141	0	E

Fig. 1.11.3.

Osservazione. Questo esempio fa riferimento al Sistema Tecnico (kgf, m; kgf (=kilogrammo forza) viene indicato con kg.). Per passare al S.I. Sistema Internazionale (N, m) basta un clic sull'icona  /  della barra orizzontale (le due icone si alternano a vicenda). Attenzione, se i calcoli fossero stati eseguiti, il cambio del sistema di unità di misura richiederebbe la loro riesecuzione.

GENERAZIONE AUTOMATICA CARICHI DA SOLAI

Una volta definiti i carichi di superficie e le relative condizioni, il comando (selezionabile dal menu Carichi della finestra CCE), genera i carichi verticali uniformemente distribuiti sulle aste che costituiscono le maglie di solaio.

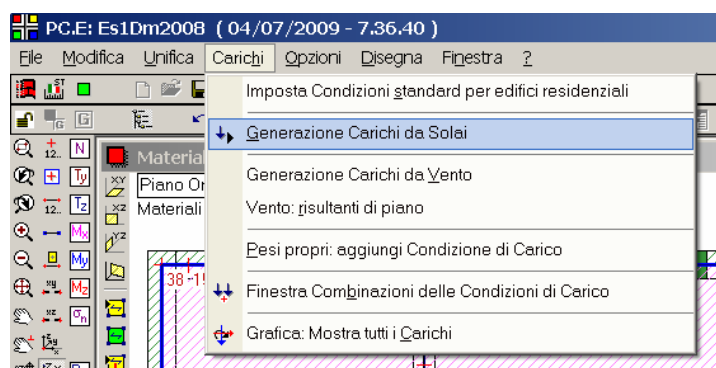


Fig. 1.11.4.

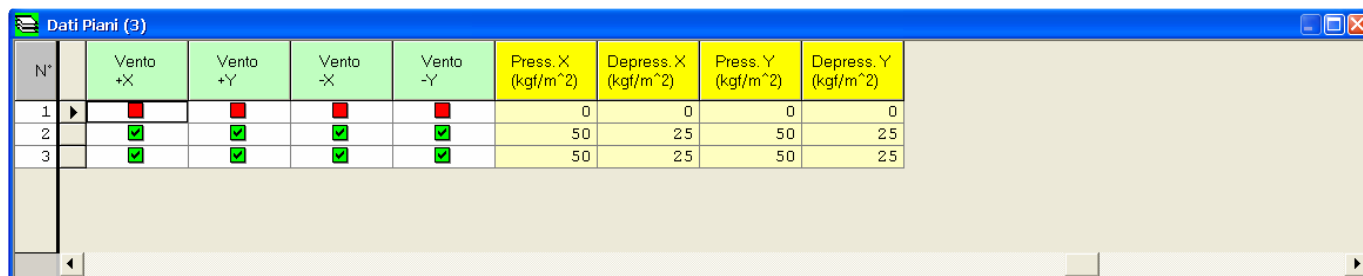
In questo caso il programma segnala che tale generazione è possibile senza problemi. In caso contrario vi sono delle segnalazioni che indicano i solai e i nodi in cui la generazione dei carichi non è possibile. Si consiglia l'utente di controllare tali segnalazioni, così da capire e risolvere problemi di modellazione, quali sovrapposizioni di aste o di nodi, mancati collegamenti, ecc..

DEFINIZIONE DEI PARAMETRI RELATIVI AL VENTO NEI DATI PIANI

Per l'esecuzione dell'analisi statica non sismica, e le conseguenti verifiche allo stato limite ultimo (§4.5.6.2) per le combinazioni di carico 'fondamentali' (§2.5.3), in generale deve essere considerata, oltre ai carichi verticali, anche l'azione del vento. Si aprano i Dati Piani (**CTRL + P**)

Con riferimento alle due direzioni X,Y tra loro ortogonali e parallele agli assi globali, e al verso + o -, PC.E consente l'attivazione di ognuna delle 4 verifiche separatamente l'una dall'altra, e indipendentemente per ogni piano.

I dati su pressione e depressione completano la definizione dell'azione del vento: nel nostro caso l'azione del vento è presente solo ai piani 2 e 3 ed è pari a 50 kgf/m² in pressione e 25 kgf/m² in depressione. I valori da inserire sono i seguenti



N°	Vento +X	Vento +Y	Vento -X	Vento -Y	Press. X (kgf/m ²)	Depress. X (kgf/m ²)	Press. Y (kgf/m ²)	Depress. Y (kgf/m ²)
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	0	0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	50	25	50	25
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	50	25	50	25

Fig. 1.11.5.

GENERAZIONE AUTOMATICA DEI CARICHI DA VENTO

Per generare i carichi orizzontali uniformemente distribuiti applicati sulle aste verticali esposte al vento, riconosciute attraverso i perimetri di piano, si utilizza l'apposito comando del menu Carichi della finestra CCE.

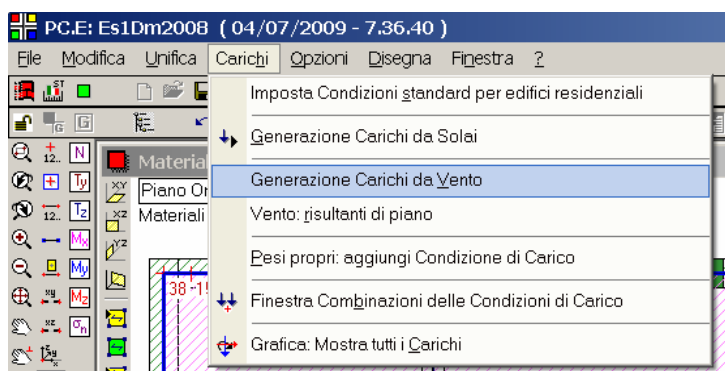


Fig. 1.11.6.

Si apre una finestra di testo che evidenzia le risultanti di piano per ogni direzione e verso.

L'azione del vento si traduce in carichi orizzontali agenti sulle pareti verticali investite; tali carichi sono ortogonali al piano medio della parete quando esso si trova orientato ortogonalmente rispetto alla direzione del vento, oppure possono avere una componente ortogonale ed una complanare qualora la parete sia obliqua in pianta (con piano medio non parallelo né al piano XZ né al piano YZ). A seconda del verso dell'azione del vento, il carico può essere generato dalla pressione (pareti sopravvento) o dalla depressione (pareti sottovento). Vengono trascurati eventuali effetti locali di depressione sulle pareti parallele alla direzione del vento.

Definendo i carichi distribuiti sulle aste verticali, poiché le aste formano complessivamente una struttura intelaiata, non è necessario calcolare risultanti di piano dovute al vento ed applicarle nel baricentro geometrico delle pareti investite: le relazioni di equilibrio interno faranno sì che la spinta sulle pareti sopravvento e l'azione verso l'esterno sulle pareti sottovento chiamino in causa la resistenza delle pareti di controvento (parallele alla direzione del vento); le relazioni di rigidità eventualmente esistenti (schematizzazione di piano rigido effettuata per uno o più piani, nei Dati Piani) provvederanno a definire la corretta collaborazione fra gli elementi.

Nell'immagine 3D è rappresentata la CCE n. 6, relativa al Vento +Y, con i corrispondenti carichi distribuiti, che sono stati valutati automaticamente. Per visualizzare il valore dei carichi si selezioni il comando 'Mostra valori'.

Fare clic sulla Grafica 3D, visualizzare le sole aste, attivare 'Mostra tutti i carichi' (, bs.sx in basso sulla destra).

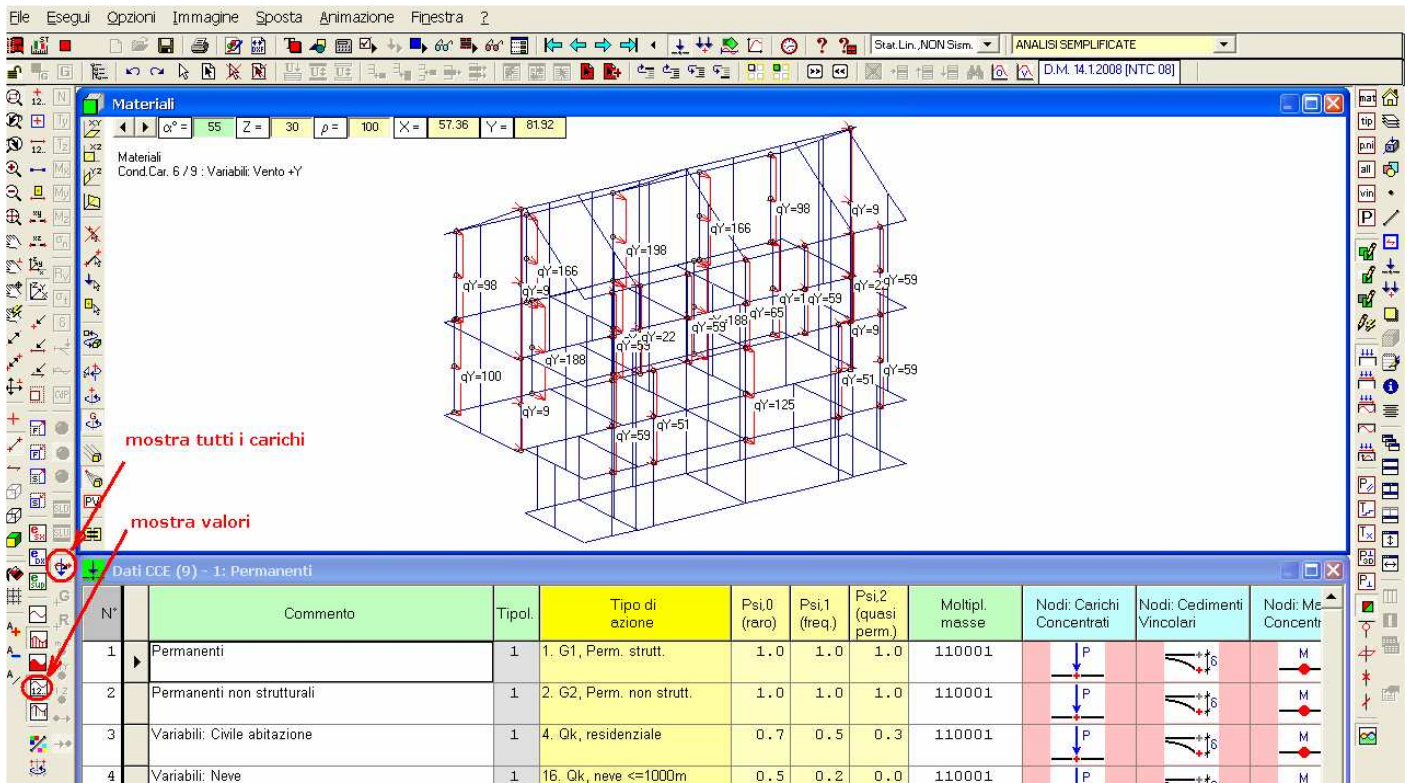


Fig. 1.11.7.

Si vada all'ultima CCE, quella relativa ai pesi propri.

Per scorrere le varie CCE, si utilizzano i tasti freccia della barra degli strumenti superiore:

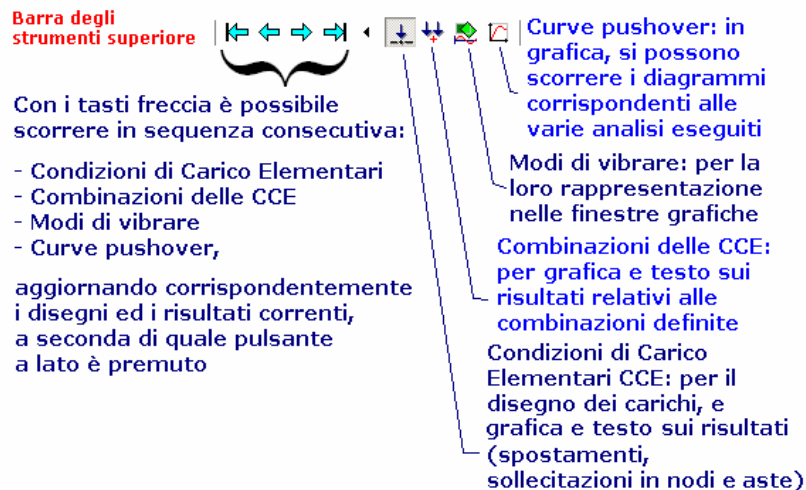


Fig. 1.11.8.

In tale zona della barra degli strumenti superiore, premendo quindi a lato dei tasti freccia il pulsante CCE (), le frecce consentono di fare riferimento alla CCE n°1 (), alla CCE precedente (), alla CCE successiva (), all'ultima CCE ().

Come visibile nella grafica, i pesi propri sono carichi lineari q_z (in riferimento globale) agenti sulla luce deformabile delle fasce e sull'intera lunghezza dei maschi murari. La possibilità di limitare il carico alla luce deformabile è infatti un requisito indispensabile nel modello a telaio equivalente della muratura, caratterizzato da zone rigide corrispondenti alle intersezioni 'fisiche' tra strisce e maschi: per considerare il peso proprio reale occorre attribuire il peso dell'intersezione solo a uno dei due elementi, e cioè al maschio, lasciando sulla striscia il peso proprio confinato alla zona deformabile.

Naturalmente il programma consente all'Utente di definire anche altre CCE: questo è possibile dal menu Modifica, Aggiungi più Condizioni di Carico (, bs.sup.)

DEFINIZIONE DELLE ECCENTRICITA' STRUTTURALI




Qualora si volesse applicare, per la pressoflessione ortogonale, il metodo semplificato proposto in §4.5.6.2, si dovrebbero trattare le eccentricità strutturali: per approfondimenti si rimanda al par. 12.4.1 del Vol. 2 del Manuale d'uso di PC.E.

In ogni caso si può riaprire il modello su cui sono state operate le operazioni descritte fino a qui:


Tutor2012_04.pce.

1.12. CARICHI UNIFORMEMENTE DISTRIBUITI AGGIUNTIVI

Oltre ai carichi da solaio e da vento, possono essere definiti carichi a distribuzione lineare costante, triangolare, carichi concentrati, cedimenti vincolari, masse concentrate, carichi termici. In questo esempio procediamo con l'introduzione dei carichi uniformi delle gronde, agenti in sommità sui fronti anteriore e posteriore dell'edificio. I carichi delle gronde possono confluire nelle CCE 1 e 4 (Permanenti e Neve). In tali CCE quindi vi saranno alcuni carichi generati direttamente dai solai ed altri inseriti direttamente. Nell'edificio non sono presenti balconi, ma la procedura che andiamo a descrivere consentirebbe facilmente l'introduzione del loro carico.

Per prima cosa si selezionino graficamente le aste della copertura su cui aggiungere il carico delle gronde: si utilizzi preventivamente il comando Deseleziona Tutto (, bs.sx) per essere sicuri di non selezionare inavvertitamente altre aste; clic sulla grafica 2D, si salga alla quota Z=8.430, ponendo box sup.=3.000, con disegno dei solai e delle superfici disattivato (vista wireframe). Quindi, premendo il pulsante grafico Seleziona (, bs.sx), si selezionino le aste nei riquadri di figura seguente (avendo cura che sia attiva la visibilità delle sole aste di piano: pulsante  della barra degli strumenti della Grafica 2D): si tratta delle aste che formano le due gronde longitudinali (allineamenti X dei prospetti frontale e tergale);

sono 16 aste: n° 121, 123, 126, 128, 134-135, 137, 139, 181-182, 246, 249, 259, 261, 263, 265.

Con il comando ""Evidenzia Selezione" (, bs.dx) si può controllare di aver effettuato la giusta scelta.

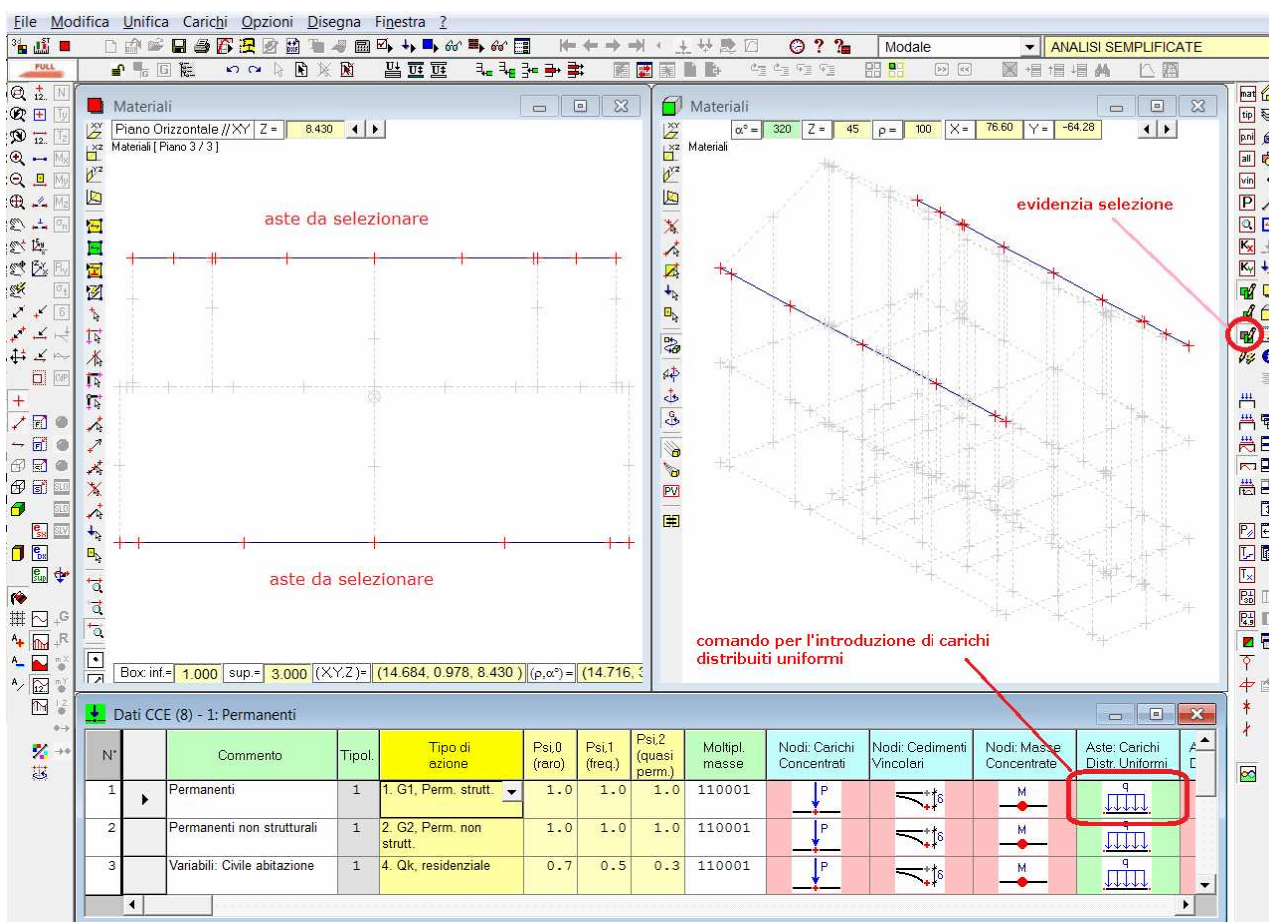



Fig. 1.12.1.

Si apre la finestra Condizioni di carico elementari CCE (bs. dx.);

sulla prima riga della CCE n°1, quella relativa ai carichi permanenti, si faccia clic in corrispondenza della tipologia di carico interessata: 'Aste: Carichi distribuiti uniformi' (vedi figura precedente).

Si apre la relativa finestra Carichi, dove sono descritti in sequenza i carichi agenti sulle aste.

- Si deve aggiungere alle 96 righe presenti una nuova riga di carico, utilizzando il comando "Aggiungi riga"  presente nella barra orizzontale della finestra appena aperta.

- Nella nuova riga (n°97), in corrispondenza di q,z si digiti: -163, che in kg/m rappresenta il carico permanente della gronda.

- E' buona norma aggiungere un commento nella riga apposita, ad esempio: "Peso proprio gronde".



- Adesso si deve assegnare tale carico alle aste precedentemente selezionate, per far questo si utilizzi, sempre nella barra orizzontale delle CCE, il comando 'aggiungi carichi agli elementi selezionati' . La finestra Carichi richiede la Conferma dei dati specificati: con il pulsante  si dà l'OK.



Fig. 1.12.2.

Come si vede sono divisi i carichi da solaio (check colonna 'da solai' verde) da quelli introdotti con la procedura appena usata (check colonna 'da solai' rosso), che riportano il commento. Dalla vista 3D mediante il comando "mostra tutti i carichi" è possibile controllare l'introduzione dei carichi effettuati: è ben visibile nella gronda la presenza del carico di -163 kgf/m, oltre a quello proveniente dai solai di copertura.

Materiali
Cond Car. 1 / 9 : Permanenti

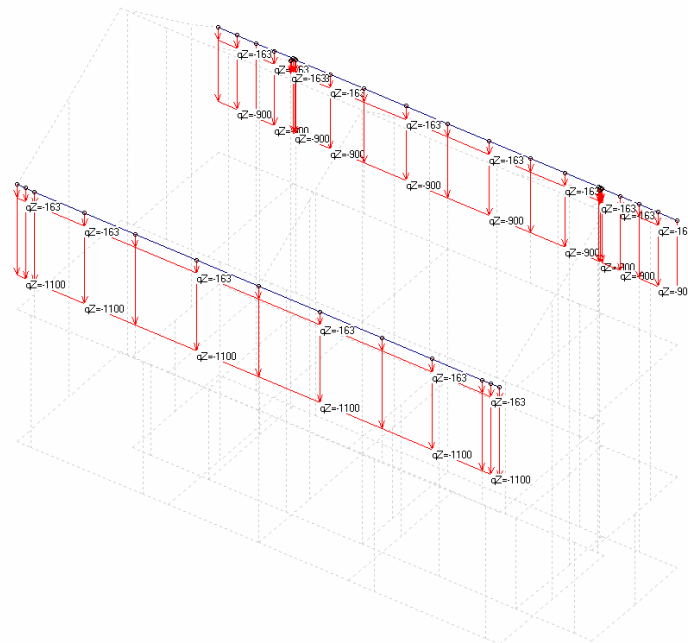





Fig. 1.12.3.

Si chiuda quindi la finestra Carichi (con il consueto pulsante  di chiusura): torniamo alla finestra CCE.

Per il carico della neve si opera in modo del tutto analogo a quanto visto per il carico permanente.

Le aste sono già selezionate. Si faccia ora clic in corrispondenza della riga n°4 (Variabili neve) sulla stessa casella di prima (Aste: Carichi Distr. Uniformi):

- aggiungere una riga;
- inserire nella casella relativa a 'q,Z' il carico variabile q,Z = -65;
- aggiungere commento: "Variabile neve gronde".
- essendo già selezionato il gruppo di aste interessate, si usa il comando  per aggiungere i carichi
- si conferma con  e si richiude la finestra Carichi.

Tutti i carichi lineari delle gronde sono stati inseriti.

1.13. COMBINAZIONI CONDIZIONI DI CARICO (CCC) PER L'ANALISI STATICA

Per le verifiche statiche agli stati limite ultimi rimangono da generare le combinazioni di condizioni di carico elementari, di tipo 'fondamentale' (2.5.1 in §2.5.3). Per questo si selezioni la finestra delle combinazioni delle condizioni di carico (bs. dx) e dal menu carichi si selezioni il comando 'Generazione CCC di tipo fondamentale'. Una messaggio indica le combinazioni che saranno generate:

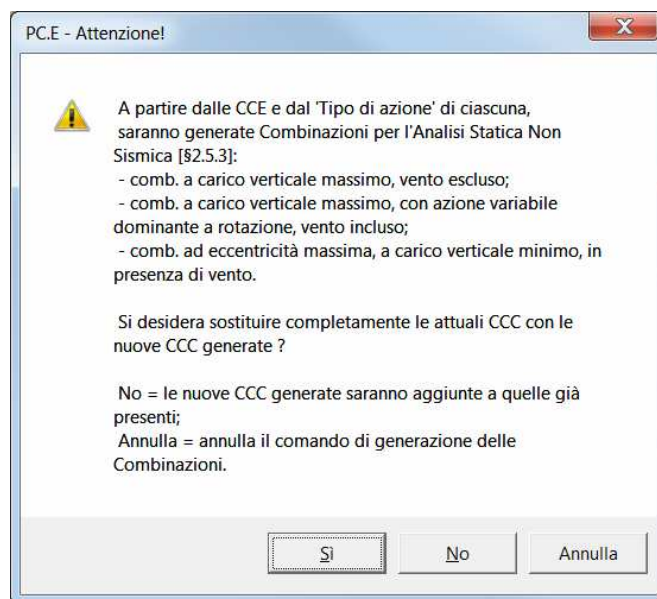


Fig. 1.13.1.

La conferma produce la seguente configurazione di CCC.

N°	Commento	Tipo di Combinazione Statica [§2.5.3]	CCE 1: G1 (Perm. strutt.) gamma (molt)	variabile dominante	psi	molt. di calcolo	CCE 2: G2 (Perm. non strutt.) gamma (molt)	variabile dominante	psi	molt. di calcolo	CCE 3: Qk (residenziale) gamma (molt)	variabile dominante	psi	molt. di calcolo	CCE 4: Qk (neve <=1000m) gamma (molt)	variabile dominante
1	Carvert. max con vento +X, dominante: residenziale	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■
2	Carvert. max con vento +Y, dominante: residenziale	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■
3	Carvert. max con vento -X, dominante: residenziale	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■
4	Carvert. max con vento -Y, dominante: residenziale	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■
5	Carvert. max, dominante: residenziale	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■
6	Carvert. max, dominante: vento +X	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	0.7	1.05	1.50	■
7	Carvert. max, dominante: vento +Y	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	0.7	1.05	1.50	■
8	Carvert. max, dominante: vento -X	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	0.7	1.05	1.50	■
9	Carvert. max, dominante: vento -Y	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	0.7	1.05	1.50	■
10	Carvert. max con vento +X, dominante: neve <=1000m	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	0.7	1.05	1.50	■
11	Carvert. max con vento +Y, dominante: neve <=1000m	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	0.7	1.05	1.50	■
12	Carvert. max con vento -X, dominante: neve <=1000m	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	0.7	1.05	1.50	■
13	Carvert. max con vento -Y, dominante: neve <=1000m	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	0.7	1.05	1.50	■
14	Carvert. max, dominante: neve <=1000m	2. Fondamentale (SLU)	1.30	■	1.0	1.30	1.50	■	1.0	1.50	1.50	■	0.7	1.05	1.50	■
15	Ecc. max, con vento +X	2. Fondamentale (SLU)	1.00	■	1.0	1.00	0.00	■	1.0	0.00	0.00	■	0.7	0.00	0.00	■
16	Ecc. max, con vento +Y	2. Fondamentale (SLU)	1.00	■	1.0	1.00	0.00	■	1.0	0.00	0.00	■	0.7	0.00	0.00	■
17	Ecc. max, con vento -X	2. Fondamentale (SLU)	1.00	■	1.0	1.00	0.00	■	1.0	0.00	0.00	■	0.7	0.00	0.00	■
18	Ecc. max, con vento -Y	2. Fondamentale (SLU)	1.00	■	1.0	1.00	0.00	■	1.0	0.00	0.00	■	0.7	0.00	0.00	■

Fig. 1.13.2.

In ogni CCC, alle varie CCE vengono attribuiti i coefficienti moltiplicativi che formano la combinazione, considerando:

- i coefficienti ψ_0 specificati nei dati CCE;
- i moltiplicatori γ_G , γ_P e γ_Q (coefficienti parziali per le azioni), conformemente alla Tab.2.6.I in §2.6.1.






In una data CCC, il moltiplicatore di calcolo della singola CCE è dato dal prodotto di γ per ψ_0 .

Si osservi che:

- per le CCE di tipo G1, G2 e P, ψ_0 è automaticamente posto pari a 1;
- per le CCC dove è dominante un tipo di azione variabile, per essa viene trascurata la riduzione dovuta a ψ_0 (il che equivale a porlo =1).

Il comando del menu Carichi imposta automaticamente le seguenti CCC, corrispondenti a situazioni limite:

- massimo carico verticale, con vento, e dominante a rotazione una tipologia di carico variabile (ad es.: ambienti ad uso residenziale, neve);
 - massimo carico verticale, con vento dominante;
 - massimo carico verticale, senza vento;
 - eccentricità massima, cioè: minimo carico verticale (con contributo nullo dei carichi variabili) e vento.
- L'utente può comunque definire a piacere ulteriori CCC o modificare le CCC proposte da PC.E.

La consultazione dei dati di ogni CCC, e quindi anche dei coefficienti moltiplicativi delle CCE, avviene agevolmente anche nella finestra Proprietà (attivabile con F4 o con il pulsante  della barra degli strumenti laterale destra). I tasti freccia di questa finestra     permettono di scorrere le varie combinazioni.



N°	Commento	Tipo di Combinazione Statica	Variabile dominante	psi	moltip di calcolo
1	Car.vert max con vento +X, dominante: residenziale	2. Fondamentale (SLU)			
CCE 1: G1 (Perm. strutt.) gamma					
variabile, dominante					
psi				1.0	
moltip di calcolo					1.30
CCE 2: G2 (Perm. non strutt.) g					
variabile, dominante					
psi				1.0	
moltip di calcolo					1.50
CCE 3: Qk (residenziale) gamma					
variabile, dominante					
psi				1.0	
moltip di calcolo					1.50
CCE 4: Qk (neve <=1000m) ga					
variabile, dominante					
psi				0.5	
moltip di calcolo					0.75
CCE 5: Qk (vento +X) gamma					
variabile, dominante					
psi				0.6	
moltip di calcolo					0.90
CCE 6: Qk (vento +Y) gamma					
variabile, dominante					
psi				0.6	
moltip di calcolo					0.00
CCE 7: Qk (vento -X) gamma					
variabile, dominante					
psi				0.6	
moltip di calcolo					0.00
CCE 8: Qk (vento -Y) gamma					
variabile, dominante					
psi				0.6	
moltip di calcolo					0.00
CCE 9: G1 (Perm. strutt.) gamma					
variabile, dominante					
psi				1.0	
moltip di calcolo					1.30

Fig. 1.13.3.

Abbiamo a disposizione, sempre dalla finestra CCC, dal menu Opzioni, anche il comando 'sintesi delle combinazioni' che permette di visualizzare le varie CCC in formato testuale.

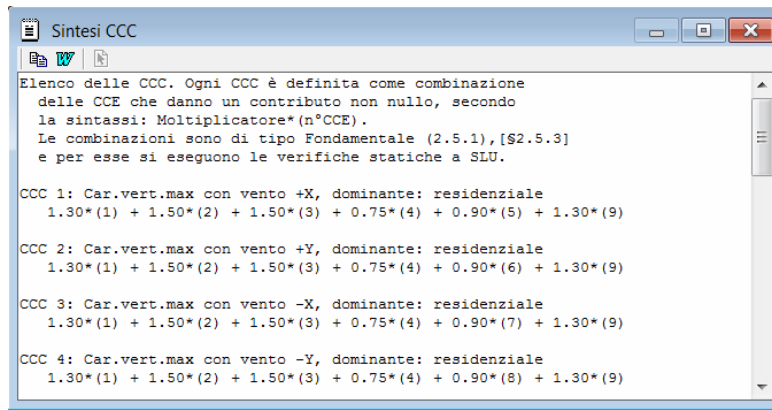



Fig. 1.13.4.

1.14. PIANI RIGIDI O DEFORMABILI


Si apra la finestra Dati Piani (, o: **CTRL+P**). In questa finestra viene decisa la natura dell'impalcato sismico: rigido o meno nel proprio piano orizzontale.

A) In un **piano rigido** le distanze tra i punti che lo costituiscono rimangono inalterate durante la deformazione. In termini matematici questo si traduce in una relazione, detta master-slave, che obbliga gli spostamenti traslazionali u (δX) e v (δY) e la rotazione torsionale ϕZ dei nodi appartenenti ad un impalcato (detti nodi Slave) ad essere congruenti con quelli di un unico nodo (detto nodo Master).

Il nodo Master viene identificato nel baricentro delle masse dei nodi appartenenti al piano e le eventuali forze o masse sismiche orizzontali e polari intorno all'asse Z globale vengono concentrate su questo nodo. Noti gli spostamenti traslazionali orizzontali u e v e la rotazione torsionale ϕZ del nodo master, in virtù delle relazioni di rigidità, sono noti gli spostamenti di tutti i nodi del piano. Questo determina una notevole riduzione dei gradi di libertà del sistema.

B) Nel caso di **piano deformabile**, cioè un orizzontamento non in grado di mantenersi rigido per azioni orizzontali (nel proprio piano), come p.es. solai in legno o a voltine, le distanze tra i nodi sono variabili, non esiste relazione master-slave e quindi tutti gli spostamenti " u " e " v " dei nodi sono incognite indipendenti tra loro. Le masse e forze sismiche restano applicate sui singoli nodi della struttura; non esiste un centro delle rigidità.

C) PC.E consente anche schematizzazioni intermedie nel caso di **impalcato rigido solo in alcune zone**: nell'ambito del piano deformabile, è infatti possibile irrigidire singole maglie di solaio grazie a opportune controventature di solaio. Una tecnica di tale tipo può essere anche indicata per piani rigidi inclinati, come ad esempio la copertura dell'edificio in esame: nei piani inclinati, infatti, le relazioni master-slave, nate per orizzontamenti piani, conducono ad approssimazioni sulle sollecitazioni degli elementi inclinati; si tratta di aspetti non molto rilevanti per gli edifici in muratura, dove in genere gli elementi inclinati sono fasce murarie (questo effetto è più importante nel caso di travi inclinate (puntuoni)).

 **Nota bene** Accenniamo anche ad un'altra procedura applicabile nel caso di un piano parzialmente rigido (per fissare le idee, il piano i -esimo): è possibile fare riferimento comunque alla relazione master-slave, ma contemporaneamente avere al piano nodi con masse indipendenti. Tali nodi, appartenenti al piano i -esimo, saranno caratterizzati da 'Nodo master=0' e spostamenti traslazionali liberi. Evidentemente l'analisi modale risulta la migliore elaborazione per verificare la bontà del modello. ■

Per il caso in esame, verrà condotta un'analisi con master-slave a tutti i piani; un altro modello interessante potrebbe prevedere le controventature di solaio in copertura, schematizzando il piano 3 come 'deformabile'.

In generale quando un piano è costituito da alcuni solai rigidi e altri deformabili, si deve indicare nei dati piani come deformabile (check rosso nel campo 'Piano Rigido'); poi nei dati solai si agisce sul campo 'rig.', in modo che i solai rigidi abbiano il check verde, i deformabili il check rosso. Se l'edificio ha sia piani rigidi che parzialmente rigidi, si adotterà questa procedura solo per questi ultimi: i piani rigidi infatti è bene schematizzarli nel modo A.

Un consiglio utile per valutare la bontà del modello è di farlo girare in un primo momento con i piani rigidi, anche se in realtà i piani o almeno alcuni di essi sono deformabili e di controllare le deformate modali. Inoltre se solo piccole porzioni di solaio sono deformabili rispetto alla quasi totalità di solai rigidi, il consiglio è di schematizzare il

piano come rigido (A). Infatti la complicazione del modello è notevole ed i risultati potrebbero differire di poco rispetto a quelli esatti.

1.15. VINCOLAMENTO DEI NODI: SHEAR TYPE O ROTAZIONI LIBERE


Si apra ora la finestra Dati Nodi (* , o: **CTRL+N**). Ingrandendo la tabella, e scorrendola, si evidenziano i diversi vincolamenti (u, v, w, phiX, phiY, phiZ):

- i nodi di fondazione sono nodi su suolo elastico, e come detto, appartengono al piano 0, anche se posti a quota +2.20;
- I nodi in elevazione sono riferiti ad un piano (1, 2 o 3, in questo caso), a cui contribuiscono per la generazione della massa sismica complessiva e, in caso di piano rigido, per la definizione della massa concentrata nel nodo master.
- I nodi master (68, 114, 148) hanno libere le componenti di spostamento traslazionali orizzontali e rotazionale torsionale (u, v, ϕZ). In un modello piano, p.es. la struttura 2D di un singolo paramento murario, l'unica componente libera sarebbe la traslazione del traverso: "u" (ipotizzando il modello posto nel piano XZ)]. Nei dati piani troviamo l'indicazione su quale sia il nodo master di ciascun piano.
- Poiché per preimpostazione è applicata l'ipotesi shear-type, i nodi slave hanno libera solo la componente w (spostamento verticale, lungo Z), mentre le loro rotazioni nei piani verticali " ϕX " e " ϕY " sono tutte bloccate (alla libertà delle rotazioni nei piani verticali è collegata la variazione dello sforzo normale per effetto sismico). Si tratta dell'ipotesi che è sempre stata seguita con il POR, dove il vincolo in sommità della parete era sempre un incastro scorrevole e che è giustificata dal fatto che per gli edifici bassi, con materiali murari validi e con fasce di piano importanti (oppure con collegamenti rigidi fra le sommità dei maschi murari), le variazioni dello sforzo normale per effetto sismico possono essere assai piccole, tanto da non risultare rilevanti. Questo equivale ad avere delle reazioni autoequilibranti nei nodi. Per approfondimenti sullo shear-type si consulti il manuale di validazione Vol. 5.

Le impostazioni sui vincoli esterni dei nodi si gestiscono tramite la tabella dati nodi, dal menu opzioni, dove oltre allo schema shear-type, troviamo la possibilità di consentire le rotazioni complanari (ϕX o ϕY a seconda del piano di giacitura della parete muraria), oppure tutte le rotazioni.

Con rotazioni verticali tutte libere, frequentemente si rilevano maschi in trazione. La Normativa attuale non si esprime in merito, la precedente chiedeva che in edifici alti tre piani o più si considerasse la variazione di sforzo normale. Per un edificio di due piani fuori terra come il nostro, lo shear-type appare senz'altro un'ipotesi ragionevole. Comunque PC.E, come spiegato, consente facilmente di cambiare questa impostazione e di verificarne le conseguenze sui risultati.

1.16. FONDAZIONI

Nei dati aste, relativamente alle travi di fondazione troviamo tre caselle relative rispettivamente alla costante elastica del terreno (K Winkler), alla larghezza dell'appoggio sul terreno e alla q_{limite} . Selezioniamo un'asta in fondazione, utilizziamo il comando "Seleziona/Deseleziona"  (bs.sup.), scegliamo tipologia corrente. Per tutte le 56 aste di fondazione: lasciamo K Winkler pari a 5 kgf/cm³ e q_{limite} pari a 4.50 kgf/cm² mentre, poiché le fondazioni sono larghe 0.50 m, scegliamo come larghezza di appoggio 0.70 m. Inseriamo tale valore in un'asta di fondazione (tipologia Z) e unifichiamo la selezione.

1.17. STRISCE e SOTTOFINESTRA

Selezioniamo tutte le strisce (36 elementi) e consideriamo la presenza di un'armatura superiore costituita da 4 Φ 12 (452 mm²), con copriferro 200 mm e un'armatura inferiore di 2 Φ 12 (226 mm²) con copriferro di 40 mm. Per far questo dobbiamo andare nei dati asta nei campi appositi di colore magenta, sulla parte destra della tabella. PC.E consente di eliminare ogni verifica per un dato elemento disattivando il check "verif.", il terzo dei dati aste, oppure consente di eliminare un particolare tipo di verifica, come la pressoflessione o il taglio. È sufficiente selezionare nei dati aste ci check appositi che si trovano scorrendo verso destra. (PressoFl. compl., Taglio scorr., Taglio Fess. Diag., ecc.)

In questo caso decidiamo:

- Nei sottofinestra (12 elementi): di eliminare ogni tipo di verifica;
- Nelle strisce: di togliere le verifiche a taglio per scorrimento e per fessurazione diagonale e di lasciare le verifiche a pressoflessione.

L'impegno statico a taglio delle strisce è spesso penalizzante a causa dei carichi di solaio che nel modello a telaio vengono a gravare direttamente sulla luce deformabile della fascia; il modello non consente di considerare l'effetto arco con cui i carichi migrano dalla quota del solaio verso i maschi murari adiacenti alla striscia. Meno influente sulle strisce appare invece il taglio di origine sismica: per tali motivi si preferisce spesso focalizzare l'attenzione sulla sola verifica a pressoflessione, in sé più coerente con la modellazione di striscia equiparata a trave.

I valori relativi all'acciaio presente nelle fasce sono specificabili nella scheda "Mur. Armata, Acciaio" dei Parametri di Calcolo. Per questo esempio si mantengono i dati dell'acciaio B450C (gli edifici esistenti potrebbero essere caratterizzati da valori minori di f_{yk} ed E_s). La quantità di armatura e la resistenza dell'acciaio determinano il risultato della verifica a pressoflessione che sarà comunque condotta attraverso il Dominio di resistenza, con comportamento della muratura di tipo parabola-rettangolo. Negli edifici esistenti la resistenza a trazione nelle fasce, talvolta ottenuta con elementi diversi da barre di acciaio (per esempio FRP o resistenza a trazione di una piattabanda in legno), deve essere sempre espressa attraverso la definizione di un'armatura che in alcuni casi sarà quindi convenzionale e tale da fornire una resistenza a trazione equivalente a quella reale. Per le fasce la resistenza a trazione in intradosso e estradosso è inoltre sottoposta ad un controllo sul limite massimo pari a $0.4 f_{hd} h t$ (cfr. § 7.8.2.2.4): per rispettare tale controllo è possibile che l'armatura venga ridimensionata rispetto al valore inserito in input, in modo da usare nella verifica attraverso il diagramma solo la parte consentita dal rispetto di questa prescrizione normativa. I valori eventualmente corretti vengono aggiornati nei corrispondenti campi dei dati aste ($A_{s,xy}/estr.$ $A_{s,xy}/intr.$).

Per maggiori approfondimenti sugli elementi armati si rimanda al vol. 4 Esempi applicativi – Procedure operative.

1.18. TRATTI RIGIDI

Al piano 3 per considerare la presenza del solaio rigido del sottotetto operiamo nel seguente modo: consideriamo infinitamente rigidi i tratti delle pareti che vanno dal sottotetto alla copertura. Ricordiamo che in PC.E ogni asta ad ogni estremo può avere due tratti infinitamente rigidi, uno nel piano complanare e uno nell'ortogonale. Ricordiamo anche che le caratteristiche della sollecitazione per le varie verifiche vengono registrate proprio nel punto in cui dal tratto rigido si passa al deformabile. Nello stesso punto si ha la formazione delle cerniere plastiche e delle sconnessioni a taglio per lesione.

Decidiamo quindi di assegnare alle 8 pareti trasversali del piano 3, le n° 111-113, 115-117, 119 e 120, un tratto rigido complanare e un tratto rigido di ortogonale di 1.1 m all'estremo superiore. Per far questo è sufficiente andare nei dati aste, nei campi relativi alla rigidità delle estremità al nodo superiore j (Rigidità j,xy ; j,xz) e inserire questi valori. Quindi conviene selezionare queste pareti, andare nella riga di una di esse, nei dati aste, nella casella della colonna " j,xy " e digitare 1.1 m e fare unifica selezione, analogamente nella casella " j,xz ": vedi figura sottostante.

The screenshot shows the PC.E software interface. At the top, there's a menu bar and a toolbar. Below that, a 3D model of a building structure is displayed, with several walls highlighted in red and labeled with numbers 111, 112, 113, 115, 116, 117, 119, and 120. Below the 3D model, there's a table titled "Dati Aste (300) [8 selezionate]". The table has columns for various parameters, including N°, Pendenza sommità (%), K Winkler, App. su terr. (m), q.lim, % di K elastica, Lunghezza, Rigidità i,xy (m), j,xy (m), i,xz (m), j,xz (m), Lunghezza def. xy (m), xz (m), and Infinit. rigida. The values for the selected walls are as follows:

N°	Pendenza sommità (%)	K Winkler (kg/cm³)	App. su terr. (m)	q.lim (kg/cm²)	% di K elastica (rigidezza fessurata)	Lunghezza (m)	Rigidità i,xy (m)	j,xy (m)	i,xz (m)	j,xz (m)	Lunghezza def. xy (m)	xz (m)	Infinit. rigida
111	47.00	0.00	0.000	4.50	100	4.050	0.000	1.100	0.000	0.000	2.950	4.050	
112	-60.00	0.00	0.000	4.50	100	3.650	1.000	1.100	0.000	1.100	1.550	2.550	
113	-60.00	0.00	0.000	4.50	100	3.800	0.000	1.100	0.000	0.000	2.700	3.800	
114	0.00	0.00	0.000	4.50	100	3.030	0.000	0.000	0.000	0.000	3.030	3.030	
115	47.00	0.00	0.000	4.50	100	4.050	0.000	1.100	0.000	0.000	2.950	4.050	
116	-60.00	0.00	0.000	4.50	100	4.300	0.000	1.100	0.000	0.000	3.200	4.300	
117	-60.00	0.00	0.000	4.50	100	3.800	0.000	1.100	0.000	0.000	2.700	3.800	

Fig. 1.18.1.

Le 9 aste 95-103, del muro longitudinale di spina, invece devono avere tali valori (j_{xy} e j_{xz}) pari a 2.1 m. Si possono selezionare velocemente in modo grafico nella finestra 2D dopo aver effettuato una sezione verticale parallela al piano XZ, facendo clic su uno dei nodi del muro di spina (si faccia attenzione alle dimensioni dei Box inf. e sup. che nelle sezioni verticali possono far intercettare più elementi di quelli desiderati. Nel nostro caso è sufficiente porre tali valori pari a 0.1 m).

In alternativa una selezione rapida del gruppo di aste consecutive da 95 a 103 si effettua direttamente nella tabella dei Dati Aste: basta selezionare la 96 e quindi tenendo premuto il tasto Shift selezionare la 103.

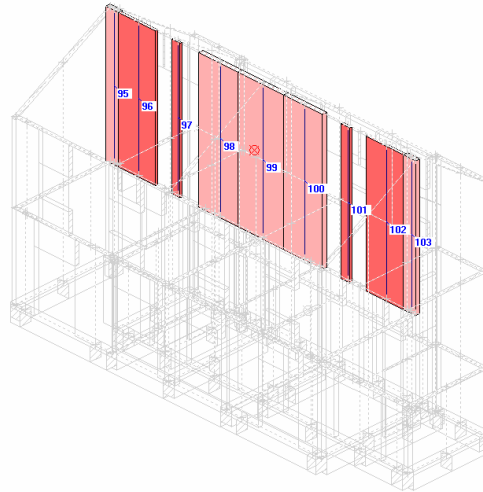


Fig. 1.18.2.

1.19. PARAMETRI DI CALCOLO

Si procede con la consultazione dei Parametri di Calcolo: finestra Dati Progetto, menu Esegui, Parametri di Calcolo. (Fig. 1.19.1).

Per la consultazione dettagliata del significato di ogni parametro, si rimanda alla manualistica completa di PC.E, qui sottolineiamo solo alcuni aspetti fondamentali e commentiamo le scelte operate in questo esempio.

- nella scheda **'Generali'** si scelgono i vari tipi di analisi statiche e sismiche; la vita nominale e la classe d'uso, l'angolo d'attrito del terreno. Lasciamo tutti i valori di default, che sono quelli tipici delle civili abitazioni.

Parametri di Calcolo

Generali | Sismica (1) | Sismica (2) | Modale | Muratura (1) | Muratura (2) | Pushover (1) | Pushover (2) | Pushover (3) | Mur. Armata | C.a.

Gestione del modello per Analisi e Verifiche

2D ☐ 3D ☒ Struttura piana

3D ☒ Globale

☐ Per interpiani. Es.: per US di edifici in aggregato [§8.7.1]

☐ Per parametri 2D. Es.: in caso di piani flessibili [§8.7.1]

Per escludere dall'analisi un paramento murario, nei Dati Aste disattivare il campo 'Verifica' per tutte le aste dell'allineamento corrispondente

Tipo di Analisi

☒ ☐ **Analisi Statica Lineare, NON Sismica** [§4.5.5]

Analisi Sismica

Analisi Lineare

☒ ☐ **Analisi Statica Lineare** [§7.8.1.5.2]

☒ ☐ **Analisi Dinamica Modale** [§7.8.1.5.3]

Per Analisi Sismica Lineare (Statica o Dinamica Modale) di Edifici in Muratura: in caso di Verifica (per azioni complanari) NON soddisfatta, applicare la Ridistribuzione del Taglio fra i maschi murari (richiede l'ipotesi di Piani Rigidi) [§7.8.1.5.2]

La Ridistribuzione è applicabile solo per modelli globali 3D. Essa non agisce sulle fasce di piano e non aiuta quindi a soddisfarne la verifica. Se questa opzione è attiva, non è disponibile il calcolo dell'Indicatore di Rischio (OPCM 3790 / 2009)

Analisi Non Lineare (per edifici in Muratura)

☒ ☐ **Analisi Statica Non Lineare (Pushover)** [§7.8.1.5.4]

Condizioni richieste per i tipi di Analisi Sismica

Condizioni di Regolarità [§7.2.2]: Verifiche alle Tensioni Ammissibili

☒ ☐ **Analisi Modale**

Le masse considerate in Analisi Modale corrispondono alle masse sismicamente attive, cioè associate ai carichi gravitazionali secondo la (3.2.17). §3.2.4: $G_1 + G_2 + S(\psi_{2,j} \cdot Q_{k,j})$

Per Analisi Statica NON Sismica: Rigidezze elastiche (si ignora cioè $\%K_{elast}$ nei Dati Aste, considerato invece nelle Sismiche lineari; per la Pushover: consultare la scheda 'Pushover (3)')

Analisi sismica con diverso vincolamento statico

Per considerare un vincolamento per la fase statica [analisi sotto i carichi gravitazionali: $G_1 + G_2 + S(\psi_{2,j} \cdot Q_{k,j})$] diverso rispetto alla fase sismica [analisi sotto azioni orizzontali]: suggerimenti sul percorso operativo

Vita Nominale, Classi d'Uso, Periodo di riferimento [§2.4]

Vita Nominale V,N (anni) = Classe d'uso:

Coefficiente d'uso C,U = 1.0

Periodo di riferimento per l'azione sismica (anni): V,R = V,N * C,U = 50

Sistema di Unità di misura

☐ Sistema Internazionale (N, m) ☒ Sistema Tecnico (kgf, m)

Parametri vari

☒ Influenza della Deformabilità a Taglio

☒ Calcolo con Zone Rigide agli estremi delle aste (opzione obbligatoria in caso di edifici in muratura)

☒ Per Edifici in Muratura: Maschi murari: contributo Rigidezza Trasversale

☐ Assemblaggio rigidezza flessionale (EJ) per elementi verticali appartenenti allo stesso Allineamento e aventi stessa Sigla (non nulla)

Terreno di fondazione (per verifiche a SLU di tipo Geotecnico)

K Winkler, Base di appoggio, Capacità portante (q,lim): sono proprietà di ogni singola trave di fondazione e vengono definiti nei Dati Aste. Dato comune a tutte le fondazioni è invece il seguente:

Angolo d'attrito fondazione-terreno: delta,k (°) =

da cui: Coefficiente d'attrito (tg delta,k) = 0.445

Verifica delle Fondazioni secondo il D.M. 14.1.2008: suggerimenti sul percorso operativo

OK Annulla

Fig. 1.19.1.

- Nella successiva **'Sismica (1)'**, si indicano tutti i parametri relativi al terreno, alla costruzione e al sito in cui si trova la costruzione (tramite l'indicazione delle coordinate geografiche o direttamente copiando e incollando dal file fornito da Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici). Si può scegliere anche tra la definizione di PGA come accelerazione su roccia (ag) o accelerazione amplificata per l'effetto suolo (ag x S). Scegliamo la seconda opzione. Inoltre introduciamo le corrette coordinate sismiche: long 12.541000 e lat. 42.691101, cui corrisponde una ag per periodo di ritorno 475 anni pari a 0.163 g.

Parametri di Calcolo

Generali | **Sismica (1)** | Sismica (2) | Modale | Muratura (1) | Muratura (2) | Pushover (1) | Pushover (2) | Pushover (3) | Mur. Armata | C.a.

Determinazione dell'Azione Sismica [§3.2]

1. Pericolosità sismica:
Coordinate geografiche del sito (nel sistema ED50, utilizzato da INGV per il reticolo), in gradi decimali:
 Longitudine = 12.541000 Latitudine = 42.691101

Tipo di interpolazione: WGS84 <-> ED50...
☐ Media ponderata: [3], \$AII.A
☒ Superficie rigata [\$CA]

Tab.2, All.B: Sito non in Tab.2

Reticolo intorno al sito... Incolla da Spettri, Cons.Sup.LL.PP.

2. P.V.R %: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V.R per ciascun Stato Limite (Tab. 3.2.I):

Stati limite	P.V.R (%)
SLE: SLO	81
SLE: SLD	63
SLU: SLV	10
SLU: SLC	5

V.R (anni) = 50
 $T.R = -V.R / \ln(1 - P.V.R)$

3. Valori dei parametri a.g, F.o, TC* per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno Stato Limite, e: S.S, C.C, S, TB, TC, TD, F.v [§3.2.3]:

Stati	Limite	TR (anni)	a.g (g)	F.o	TC* (sec)	S.S	C.C	S	TB (sec)	TC (sec)	TD (sec)	F.v
SLE	SLO	30	0.057	2.517	0.270	1.000	1.000	1.000	0.090	0.270	1.828	0.811
SLE	SLD	50	0.070	2.507	0.280	1.000	1.000	1.000	0.093	0.280	1.880	0.895
SLU	SLV	475	0.163	2.460	0.320	1.000	1.000	1.000	0.107	0.320	2.252	1.341
SLU	SLC	975	0.204	2.480	0.330	1.000	1.000	1.000	0.110	0.330	2.416	1.512

Categoria di sottosuolo: A h/H (h= quota sito, H=altezza rilievo topografico) ($0 \leq h/H \leq 1$) = 0.000 (\$3.2.3.2.1: ST=1.00)
 Categoria topografica: T1 Coefficiente di amplificazione topografica S.T = 1.000 S.S da micro-zonazione sismica

Definizione di PGA:
☐ acc. su roccia (come a.g)
☒ a.g*S (S=S.S*S.T)

- **Componente orizzontale:**
SLE: Smorzamento viscoso: ξ (%) = 5 $\rightarrow \eta = 1.000$
SLU: $\alpha, \nu/\alpha, 1$: (secondo §C8.7.1.2: 1.50) 1.40 $\rightarrow q, 0 = 2.800$
 S.S = 1.000 S = 1.000 T (sec): TB = 0.050 TC = 0.150 TD = 1.000

- **Componente verticale:**
SLE: ξ (%) = 5 $\rightarrow \eta = 1.000$
SLU: q = 1.500 $\rightarrow \eta = 0.667$

In Analisi Statica Non Lineare (Pushover) è stato calcolato: q = 2.093
 Secondo Normativa: q = k*(a_u/a₁). Si ha: k = 2.0, e quindi: q = 2.800

☒ Regolarità in altezza $\rightarrow q = 2.800 \rightarrow \eta = 0.357$

Reimpostazione parametri dipendenti Tab.3. ☒ Reimpostazione automatica Tab.3

Legenda Parametri (modifiche: in confronto ai valori definiti dai criteri del DM 14.1.2008):
☐ indipendenti ☒ modificati ☐ non modificabili

OK Annulla

Fig. 1.19.2.

- Le schede **Sismica (2)** e **Modale** non subiscono cambiamenti in questo caso. Ricordiamo solo che in caso di piani deformabili può essere necessario attivare il calcolo di tutti i modi di vibrare nella scheda "Modale"

- Nella scheda **Muratura (1)**, si indica la tipologia di muratura (ordinaria). Per questo edificio esistente si è specificato il livello di conoscenza LC1. Per la pressoflessione ortogonale in analisi statica si può scegliere se considerare l'analisi con azioni derivanti dal modello 3D, l'analisi semplificata secondo § 4.5.5. e 4.5.6.2, od entrambe. In questo caso scegliamo di considerare quella da modello 3D. Consideriamo però l'eccentricità minima di h/200 del § 4.5.9. e le verifiche a pressoflessione solo in mezzeria.

In questa scheda, sulla destra si indica inoltre il tipo di valutazione: la prima opzione riguarda l'adeguamento di un esistente o un edificio nuovo (i casi in cui non si confrontano due situazioni); la seconda riguarda invece il miglioramento, in questo caso più sotto si deve riportare nel modello relativo allo stato di progetto il nome del file relativo allo stato attuale. Noi effettueremo il confronto tra stato attuale (SA) e di progetto (SP) e quindi indichiamo che si tratta di uno SA, con la selezione apposita.

Si ha anche un check per il calcolo degli indicatori di rischio, che per le prime analisi si può escludere: dato l'impegno di calcolo richiesto, si attiverà solo in fase di completamento definitivo del progetto.

Parametri di Calcolo

Generali | **Sismica (1)** | Sismica (2) | Modale | Muratura (1) | Muratura (2) | Pushover (1) | Pushover (2) | Pushover (3) | Mur. Armata | C.a.

Edifici in Muratura: Generalità

Tipo di Edificio: Livello di Conoscenza

Tipologia strutturale

☒ Muratura Ordinaria ☐ Muratura Armata

☐ Muratura Armata, progettata secondo Gerarchia Resistenze

Edificio Nuovo o Esistente [per esistenti: FC da Tab. C8A.1.1]

☐ Nuovo: C.Sic. = Coeff. Parz. Sic. (g).m = 2.00

☐ Verifica di robustezza del progetto secondo §3.1.1

☒ Esistente, LC1 (limitata) [FC=1.35] ☐ Esistente, LC2 (adeguata) [FC=1.20] ☐ Esistente, LC3 (accurata) [FC = 1.00]

FC in edifici monumentali: cfr. §4.2, Circ.26 2.12.2010, Min. Beni Culturali

FC = 1.35

Coeff. parz. di sicurezza (g).m [= (gamma).m]:

Statica [§4.5.6.1]: 2.00

Sismica [§7.8.1.1]: 2.00

Per Edifici Esistenti: (gamma).m * FC [§8.5.4]:

Statica: 2.70

Sismica: 2.70

Analisi Statica NON Sismica. Verifiche di Resistenza [§4.5.6.2]

Per Azioni Complanari (PressoFlessione e Taglio): si applicano le stesse modalità di verifica dell'Analisi Sismica (vd. scheda 'Muratura (2)').

PressoFlessione Ortogonale (o: per carichi laterali):

☒ Con azioni derivanti dal modello di calcolo (3D)

☒ Eccentricità minima (h/200) [(4.5.9) in §4.5.6.2] anche per verifiche con azioni da modello di calcolo (3D)

☐ Metodo semplificato: ipotesi di articolazione delle estremità della parete (supposta incernierata a livello dei piani) [§4.5.5, §4.5.6.2]

☒ Eseguire le verifiche statiche a PressoFlessione Ortogonale (sia da modello 3D, sia con metodo semplificato): solo in Mezzeria.

Stati Limite Ultimi per Carichi concentrati

Verifiche per Carichi concentrati secondo il D.M. 14.1.2008: suggerimenti sul percorso operativo

Sezioni di Verifica per Azioni Complanari

Per le Azioni Complanari, in Analisi Statica e in Analisi Sismica, eseguire le verifiche (PressoFlessione Complanare, Taglio per Scorrimento, Taglio per Fessurazione Diagonale): alla Base (obbligatorie); in Sommità:

☒ in nessun caso ☐ a tutti i piani, tranne l'ultimo ☐ in tutti i casi

Edifici in Muratura: Analisi Sismica (1)

Valutazione della sicurezza: Indicatori di Rischio Sismico

Tipo di valutazione

☒ Edificio Esistente: Adeguamento, o: Stato Attuale di un intervento di Miglioramento; oppure: Edificio Nuovo

☐ Edificio Esistente: Stato di Progetto di un intervento di Miglioramento (da confrontare con lo Stato Attuale specificato)

☒ Per Edifici Esistenti: valutare la sicurezza con riferimento ai soli Stati Limite Ultimi (SLV) [§8.3]

☐ Eseguire il calcolo della capacità in termini di PGA (e di TR) ed il confronto con la domanda, per la definizione degli Indicatori di Rischio Sismico

☐ Per Interventi di Miglioramento

Nei progetti di Miglioramento: i valori degli Indicatori di Rischio Sismico allo Stato di Progetto devono essere maggiori dei corrispondenti valori allo Stato Attuale.

Se lo Stato corrente è lo Stato di Progetto: specificare il nome del file corrispondente allo Stato Attuale (per eseguire il confronto. Sarà ovviamente un nome diverso dal nome del Progetto corrente):

Se il nome del file non è specificato, non sarà eseguito alcun confronto (l'esecuzione effettiva del confronto richiede la disponibilità dei risultati del progetto indicato come Stato Attuale)

OK Annulla

Fig. 1.19.3.

- In **Muratura (2)** Per la pressoflessione complanare si sceglie di eseguirla solo per le pareti snelle (snellezza $h/b > 2$).

Per quanto riguarda il taglio, essendo lo scorrimento in genere più indicato per i nuovi edifici, si focalizza l'attenzione sul solo taglio per fessurazione diagonale

La pressoflessione ortogonale verrà eseguita secondo le azioni convenzionali del § 7.2.3.

Parametri di Calcolo

Generali | **Sismica (1)** | Sismica (2) | Modale | Muratura (1) | Muratura (2) | Pushover (1) | Pushover (2) | Pushover (3) | Mur. Armata | C.a.

Edifici in Muratura: Analisi Sismica (2)

Verifiche di Resistenza

PressoFlessione Complanare [§7.8.2.2.1]:

☒ Eseguire le Verifiche a PressoFlessione Complanare:

☒ Considerare la Flessione solo nelle pareti murarie snelle, aventi rapporto (h/b) superiore al valore: [secondo Tassios: snelli se: $(h/b) > 2$]

Taglio per Scorrimento [§7.8.2.2.2]:

☐ Eseguire le Verifiche a Taglio per Scorrimento

Modalità di calcolo della zona reagente:

☒ Distribuzione triangolare delle tensioni [EC6, §4.5.3.(6)]

☐ Corrispondente alla zona reagente a pressoflessione (in caso di comportamento parabola-rettangolo)

Per Maschi in muratura ordinaria (non armata): prescindere in ogni caso dalla parzializzazione. Si considera reagente l'intera sezione. La verifica è quindi indipendente dalla modalità scelta per il calcolo della zona reagente

☒

Taglio per Fessurazione Diagonale [§C8.7.1.5]:

☒ Eseguire le Verifiche a Taglio per Fessurazione Diagonale

☐ Taglio ultimo indipendente dalla snellezza della parete (con $b=1.5$ fisso in Turnsek e Cacovic)

☒ Per la resistenza a taglio di muratura nuova in Analisi lineare: $\tau_{u,0} = f_{vmo}$ (in analogia con la muratura esistente), anziché: $\tau_{u,0} = f_{vko}$

PressoFlessione Ortogonale [§7.8.2.2.3]:

Eseguire Verifiche a PressoFlessione Ortogonale:

☐ - con azioni derivanti dal modello di calcolo (3D)

☒ - con azioni convenzionali (forze equivalenti per elementi non strutturali) [§7.2.3] (solo in analisi lineare statica o dinamica modale)

☒ Assumere $T_a=0$ [§7.8.1.5.2] per tutte le pareti che rispettano i requisiti della Tab.7.8.II, per muratura sia nuova che esistente

Diagramma di calcolo tensione-deformazione [§4.1.2.1.2.2]

Stress-block, con: $\mu_u = (l^2 t s_o / 2) [1 - (s_o / 0.85 f_d)]$ (§7.8.2.2.1), o equivalentemente: $M' = N' / 2 * (1 - N')$, $M' = M / (N u l)$, $N' = N / N_u$, dove: $N_u = 0.85 f_d l t$

☒

Parabola-rettangolo, con calcolo esatto di μ_u attraverso l'elaborazione del Dominio di resistenza N-M

Attraverso questa opzione è possibile definire con esattezza la zona reagente, ai fini della verifica a Taglio per Scorrimento, assicurando coerenza fra Taglio e PressoFlessione (N,M e T agiscono contemporaneamente sulla sezione trasversale)

Per gli elementi in muratura armata (sia in edifici nuovi, sia in muraure esistenti rinforzate con armature), e per fasce con elementi resistenti a trazione, viene sempre utilizzato il diagramma parabola-rettangolo

Combinazione Sismica N-M

☐ In Analisi Lineare: Considerare anche le combinazioni (N min, T/M max), (N max, T/M min)

Ridistribuzione Taglio in Analisi Lineare [§7.8.1.5.2-3]

Max riduzione del Taglio V per i maschi murari: R (%) =

Max aumento del Taglio V per i maschi murari: A (%) =

☒ $\Delta V \leq \max [(R,A) \% * V, 0.1 * V_{piano}]$

NTC 08 [§7.8.1.5.2]: R%=A%=25%, $\Delta V \leq 0.1 * V_{piano}$. EC8 [ENV 1998-1-3, §5.4.(6)]: R%=30%, A=50%, V_{piano} ignorato

Fig. 1.19.4.

- In **Pushover (1)** si scelgono le distribuzioni di forze (sono obbligatorie una del primo e una del secondo gruppo, tipicamente la B e la E); gli incrementi di taglio alla base; le direzioni e gli effetti torcenti (in una prima fase si possono considerare solo alcune di queste opzioni, poi devono essere eseguite tutte in generale). Per quanto riguarda il punto di controllo della pushover, se si sceglie di indicarlo nei dati piani (prima opzione delle due disponibili), per preimpostazione si trova all'ultimo piano. Nei casi in cui l'ultimo piano sia solo una porzione costituita da pochi elementi strutturali aventi in pianta dimensioni ridotte rispetto ai piani sottostanti (torrette, locali tecnici, ecc.), si dovrà cambiare la scelta del punto di controllo nei dati piani, in particolare quando tali corpi aggiuntivi sovrastanti sono eccentrici. Attiviamo anche l'eccentricità accidentale, visto che abbiamo tutti i piani rigidi.

Dobbiamo considerare 2 distribuzioni, 2 direzioni, ognuna nei due versi e le eccentricità accidentali, per un totale di 16 curve. Riguardo l'incremento di taglio è consigliabile che sia compreso tra 1/50 e 1/10 del taglio stimato: in merito abbiamo una segnalazione al momento del lancio della pushover se l'incremento di taglio non rientra in questi limiti. In base al taglio stimato scegliamo di rimanere entro 1/10 e quindi inseriamo 4400 kgf.

Parametri di Calcolo

Generali | Sismica (1) | Sismica (2) | Modale | Muratura (1) | Muratura (2) | Pushover (1) | Pushover (2) | Pushover (3) | Mur. Armata | C.a.

Distribuzioni di Forze [§7.3.4.1]

Gruppo 1 (distribuzioni principali)

FISSE: i rapporti fra le forze orizzontali restano fissi nel corso del processo incrementale

☐ (A) ("triangolare") Forze proporzionali a quelle da utilizzarsi per l'analisi statica lineare

☒ (B) (uni-modale) Forze modali, proporzionali al prodotto delle masse per la deformata corrispondente al modo principale di vibrazione

☐ (C) (multi-modale) Forze corrispondenti alla distribuzione delle forze modali calcolate con analisi dinamica lineare, tenendo conto di tutti i modi considerati

☐ (D) (multi-modale) Forze modali, proporzionali al prodotto delle masse per la deformata corrispondente ad una forma modale equivalente, tenendo conto di tutti i modi considerati

Gruppo 2 (distribuzioni secondarie)

☒ (E) (uniforme) Forze proporzionali alle masse

ADATTIVE: la distribuzione di forze viene aggiornata ad ogni evoluzione di rigidità, previa riesecuzione dell'analisi modale

☐ (F) (uni-modale) Forze modali, proporzionali al prodotto delle masse per la deformata corrispondente al modo principale di vibrazione

☐ (G) (multi-modale) Forze corrispondenti alla distribuzione delle forze modali calcolate con analisi dinamica lineare, tenendo conto di tutti i modi considerati

☐ (H) (multi-modale) Forze modali, proporzionali al prodotto delle masse per la deformata corrispondente ad una forma modale equivalente, tenendo conto di tutti i modi considerati

Fattore di partecipazione modale (M-GDL → 1-GDL) [§C7.3.5]

☐ Calcolo con matrice di massa del sistema reale (con masse traslazionali m_x, m_y e inerzie torsionali J_z):

$$\Gamma = \frac{[\Phi]^T [M] [\tau]}{[\Phi]^T [M] [\Phi]}$$

☒ Calcolo con le sole masse traslazionali nella direzione di analisi (solo per analisi secondo X o Y: $\alpha^* = 0^\circ$):

$$\Gamma = \frac{\sum (m_i \cdot \phi_i)}{\sum (m_i \cdot \phi_i^2)}$$

☒ Gamma = 1.00 nella distribuzione uniforme (E)

Parametri Vari

Incremento di taglio alla base (kN - kgf) =

- iniziale (fino al taglio di prima plasticizzazione) = 4400

- dopo il taglio di prima plasticizzazione = 4400

Direzione e Verso di analisi (in caso di simmetria X e/o Y, si possono eseguire le sole analisi +X e/o +Y):

☒ +X (+a* in 3D) ☒ -X (-a* in 3D)

☒ +Y (+a+90* in 3D) ☒ -Y (-a+90* in 3D)

Punto di controllo:

☒ Baricentro del piano indicato nei Dati Piani [§7.3.4.1 indica il baricentro dell'ultimo piano (escluso eventuali torri)]

☐ Baricentro del piano con spostamento maggiore nel modo di vibrare principale secondo la direzione di analisi (il piano considerato verrà indicato nella relazione di calcolo)

[opzione attiva solo se il fattore di partecipazione modale è calcolato con le sole masse traslazionali nella direzione di analisi]

Per Analisi 3D, in presenza di almeno un piano rigido, è possibile considerare o meno i momenti torcenti aggiuntivi dovuti all'eccentricità accidentale [§7.2.6]. In caso affermativo, nel caso più generale verranno eseguite 8 analisi: +X+/-Mt, -X+/-Mt, +Y+/-Mt, -Y+/-Mt

☒ Considerare gli effetti dell'eccentricità accidentale [opzione attiva solo in presenza di almeno un piano rigido]


Spostamento Ultimo

Drift ultimo (deformazione angolare), secondo Dati. Valori normativi di riferimento: PressoFlessione Complanare: $d_u = 0.8\% H$ [§7.8.2.2.1] per muratura nuova, e: $0.6\% H$ [§C8.7.1.4] per muratura esistente; Taglio: $d_u = 0.4\% H$ [§7.8.2.2.2, §C8.7.1.4] (H = lunghezza deformabile)

☒ Controllo di duttilità: $d_u = [dutt. \cdot d_{elast}]$, con d_{elast} definito dal raggiungimento della resistenza ultima (corrispondente al 'limite elastico')


Fig. 1.19.5.

Le altre schede rimangono invariate, rimandiamo al manuale completo per una loro descrizione

 **Suggerimento** È possibile prendere visione del file modello su cui sono state operate le operazioni descritte fino a qui: **Tutor2012_05.pce**. ■

2. ESECUZIONE ANALISI STATICHE E SISMICHE. VALUTAZIONE DEI RISULTATI

2.1. CHECK-UP DATI

Prima di tutto eseguiamo il Check-Up dei dati tramite l'apposito comando  (bs. orizzontale)

Si apre una finestra di testo che riporta varie indicazioni; quelle contrassegnate dall'asterisco sono segnalazioni che non impediscono l'analisi. Nel nostro caso sono tutte di questo tipo.

Nella barra orizzontale di questa finestra c'è un comando di selezione che apre una nuova finestra, che ci permette di selezionare gli elementi interessati dalle varie situazioni rilevate. Una volta selezionata una casella infatti è sufficiente premere il comando "Evidenzia selezione" per vedere tutti gli elementi corrispondenti. È buona regola effettuare spesso il check-up dei dati, anche durante l'introduzione dei dati, per individuare anomalie e loro cause.

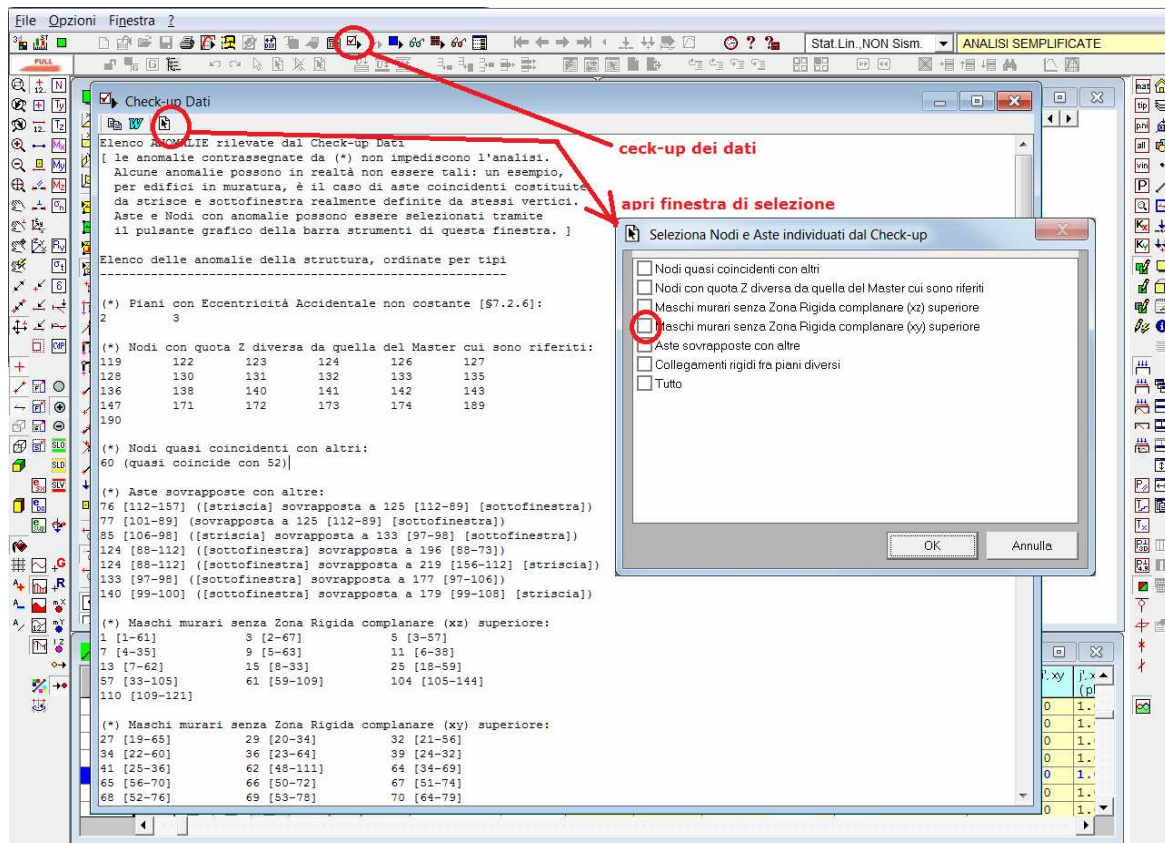


Fig. 2.1.1.

Come detto, nel nostro caso si tratta di segnalazioni che non impediscono l'analisi. Le sovrapposizioni tra strisce e sottofinestra sono da considerarsi normali, così i nodi quasi coincidenti. La mancanza della zona rigida complanare in alcune pareti, è dovuto alla mancanza di aperture adiacenti a questi maschi. Se si volesse definire anche in questi un tratto rigido (per esempio di lunghezza analoga ai maschi dello stesso piano che sono affiancati da aperture) sarebbe sufficiente, dopo averli selezionati, intervenire nei dati aste, nei campi relativi alla rigidità delle estremità ($Rigidità_{i,xy}$; $Rigidità_{i,xz}$; $Rigidità_{j,xy}$; $Rigidità_{j,xz}$).



Una segnalazione molto importante del check-up, assente in questo caso, riguarda la presenza di **aste in trazione in analisi statica**.

È bene fare molta attenzione a questo problema e risolverlo nell'analisi statica non sismica prima di procedere alle analisi sismiche. Come risulta da quest'esempio, una buona modellazione consente di evitare questo problema: ad esempio preparando in CAD il DXF di input, si può aver cura di suddividere le pareti in modo da ottenere uno schema il più possibile continuo da terra a tetto.

È preferibile evitare nello stesso prospetto molte aste ad alcuni piani e poche ad altri, con scarsa continuità in elevato e cercare di evitare, per quanto possibile, che gli assi degli elementi verticali cadano in corrispondenza di strisce: in questo caso la deformabilità delle strisce associata magari a collegamenti rigidi in sommità del maschio potrebbe determinare trazione nel maschio stesso. Quando si presentano trazioni in alcune aste verticali (pareti murarie) - trazioni evidenziate attraverso la segnalazione del software o le mappature colorate dei risultati (come

spiegheremo tra breve) -, si consiglia di valutare la deformata statica dei prospetti cui tali aste appartengono ed intervenire sui vincoli.







È possibile ad esempio svincolare a taglio ad un estremo entrambe le aste orizzontali che hanno a comune il nodo superiore dell'asta verticale che va in trazione, o in alternativa liberare lo spostamento assiale nella sommità del maschio. Sono anche importanti, per le aste inclinate, gli svincolamenti ad un estremo relativi alle tre componenti di traslazione, come abbiamo precedentemente visto nell'esempio descritto. Nel caso i maschi debbano scaricare necessariamente su travi o strisce, è opportuno valutare la rigidità di quest'ultime, perché da questo dato può dipendere l'insorgenza di trazione nell'elemento sovrastante. ■

2.2. ANALISI DEI MODI DI VIBRARE

Un primo controllo consigliabile riguarda l'analisi dei modi di vibrare, molto utile per verificare che non vi siano dei nodi erroneamente impediti nella loro possibilità di deformarsi a causa di vincolamenti non corretti o di errori nell'assegnazione del nodo master. Nella finestra Parametri di Calcolo, scheda Generali, si selezioni l'analisi


modale. Si chiuda la finestra, e nella barra orizzontale si lanci il calcolo con il comando apposito: 

Scegliamo questa analisi dal menu a tendina o con l'icona della barra destra. Visualizziamo la deformata modale:

 in bs.sx, attivare il pulsante  nella bs.sup. per scorrere, utilizzando i tasti freccia    , i vari modi di vibrare. Convieni disattivare la visualizzazione delle superfici.

Così possiamo controllare che la deformata è congruente con quanto c'era da aspettarsi, in un edificio di questo tipo, con tutti i piani rigidi. I primi due modi infatti sono i fondamentali in direzione Y e X e movimentano un'alta percentuale di massa. Il secondo è lievemente torsionale a causa della minore simmetria nella direzione trasversale e della presenza del piano sfalsato. Il terzo modo è torsionale, ma ha una percentuale molto bassa di massa partecipante. Nelle finestre 2D e 3D in cui vengono visualizzate le deformate, vengono riportati i periodi, la percentuale di massa partecipante per ogni modo e la somma della massa partecipante fino al modo in esame. Vengono segnati in rosso i modi principali di ognuna delle due direzioni.

Nella terza barra verticale degli strumenti da sinistra, in basso vengono riportati alcuni comandi che consentono la visualizzazione, nelle due direzioni, delle masse traslazionali generatrici e generate e delle inerzie rotazionali. La dimensione della sfera è proporzionale al valore della massa, il colore al suo spostamento nella direzione considerata. Nei casi di impalcati deformabili questa metodologia di visualizzazione delle masse è molto utile per capire il comportamento della struttura. Nel nostro caso verificiamo la correttezza della schematizzazione: le masse generate dei vari piani infatti sono concentrate nei nodi master dei vari piani.

Il report testuale dei risultati di calcolo, apribile con il comando apposito  nella barra orizzontale, riporta per esteso tutti i dati e i risultati.

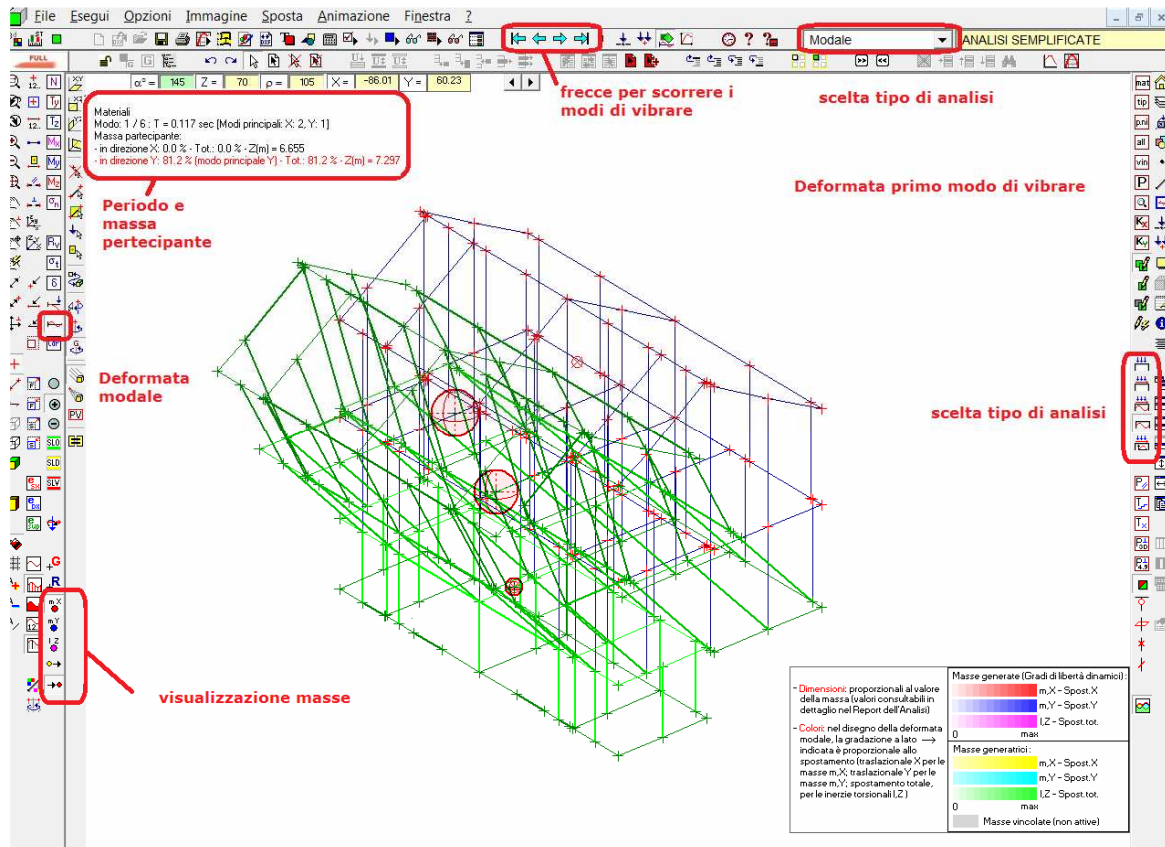


Fig. 2.2.1.

Dai modi vibrare la modellazione risulta qualitativamente corretta. Ad esempio, vediamo come la modellazione adottata per il piano sfalsato comporta che il piano interrato rimanga sostanzialmente ancorato al terreno e la spinta sismica interessa conseguentemente la porzione fuori terra. Questa schematizzazione non è l'unica possibile. Infatti si sarebbero potute scollegare le fondazioni a livello 1 dagli elementi murari del piano 1; in tal modo, si sarebbe rilevata una deformazione di tutto l'edificio nei suoi tre piani.

A titolo di esempio, riportiamo nell'immagine seguente il modo fondamentale di vibrare nell'ipotesi di piani deformabili confrontato con il modello con i piani rigidi. Possiamo vedere la differenza tra la distribuzione delle masse sismiche che nel caso di piani deformabili vibrano là dove si trovano e le masse sismiche che con i piani rigidi sono concentrate nei nodi master.

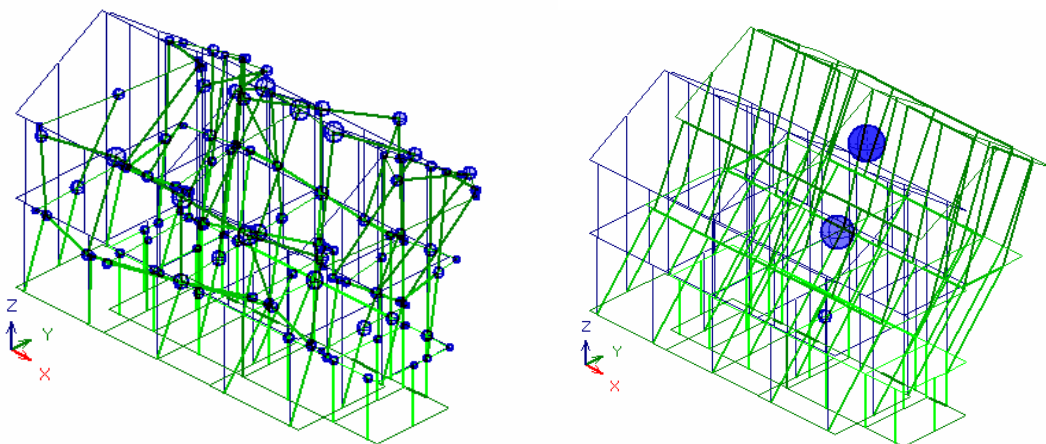


Fig. 2.2.2.

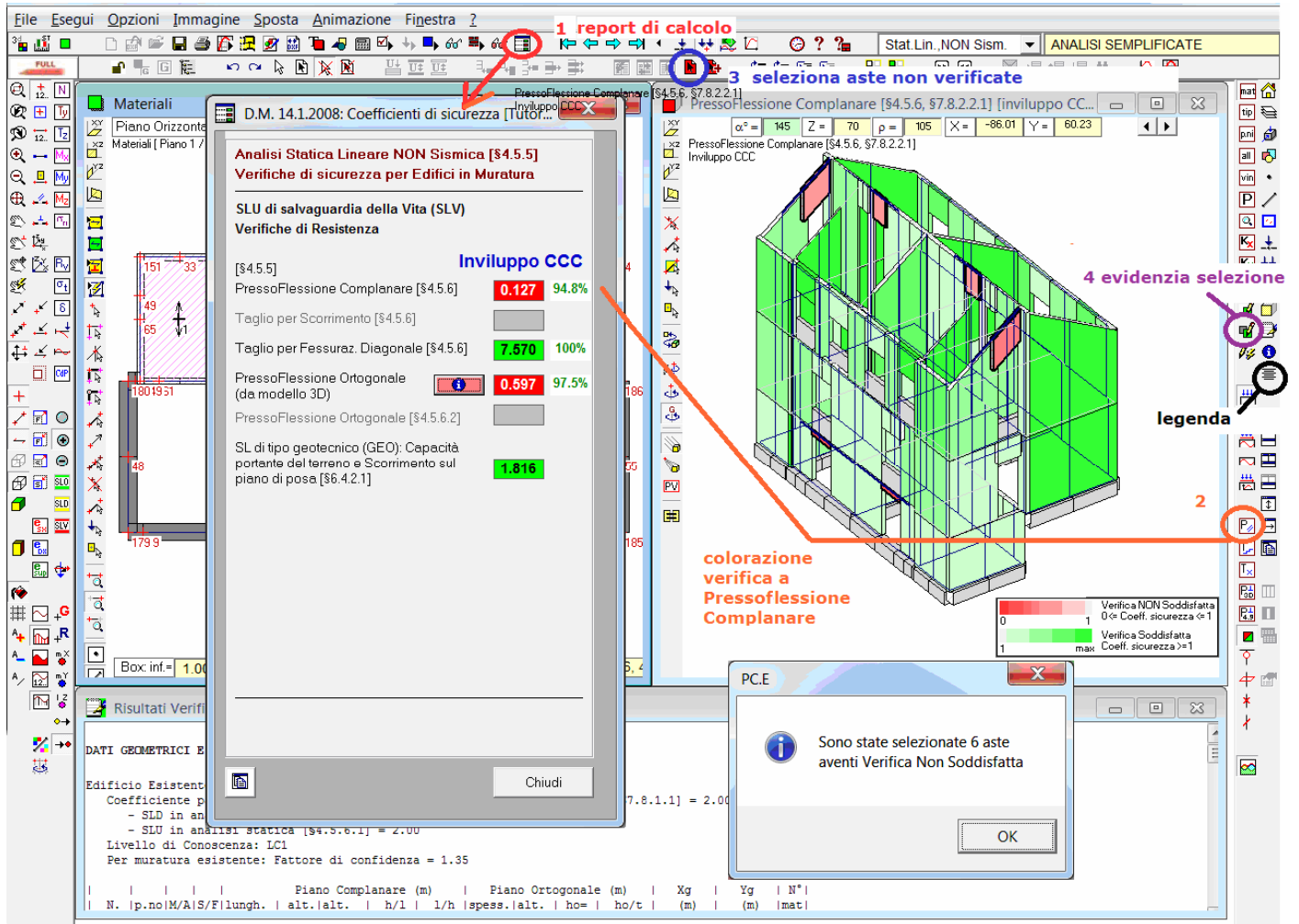














Fig. 2.3.1.

Passiamo adesso all'esame dei risultati dell'analisi statica, selezionandola dal menu a tendina della bs.or. o tramite l'icona  della bs.dx.

Il tasto apposito  nella barra orizzontale mostra il rapporto di verifica, in cui per le varie modalità di collasso viene riportato il coefficiente minimo. Possiamo visualizzare vari report: quello di ognuna delle CCC, o quello relativo al loro inviluppo. La scelta si effettua con il comando Involuppo CCC ( bs. dx). Le varie CCC, come al solito si scorrono tramite i tasti freccia    .


Analizziamo ancora il quadro offerto dal Rapporto Verifiche Sismiche Muratura (richiamabile in ogni momento dal pulsante grafico  della bs.sup.). I valori indicati nella tabella sono i minimi fra le verifiche svolte su tutte le pareti. Per consultare i risultati in dettaglio, si può ricorrere al pulsante grafico 'Muratura: Mostra Dati e Verifiche Sismiche':  (bs.sup.), o, in modo più completo, si può rapidamente creare una relazione di calcolo, contenente anche la descrizione delle verifiche e la simbologia.


Per creare una relazione, utilizzare il comando Stampa:  del menu File della finestra Dati Progetto, quindi visualizzare la relazione nella finestra Relazione  apribile da menu Finestra, o direttamente in Microsoft Word (ove disponibile come programma associato ai files *rtf*) utilizzando il pulsante grafico  della barra degli strumenti della finestra Dati Progetto.




Si faccia sempre attenzione a visualizzare lo stato limite desiderato, evidenziato nella barra di sinistra dove infatti troviamo i comandi relativi a SLV, SLE, SLO. Per gli edifici esistenti non tutelati normalmente si considera il solo SLV, tuttavia PC.E consente l'esame dei risultati per ogni Stato Limite indicato in Normativa. Osservando il report dell'inviluppo, rileviamo per le varie verifiche il coefficiente di sicurezza minimo e, accanto, la percentuale delle aste verificate.

Con la visualizzazione delle superfici attive è possibile attivare nella vista 3D e 2D mappe colorate che consentono di capire immediatamente quali sono gli elementi non verificati. Nella barra verticale destra troviamo vari comandi per ogni tipologia di collasso; selezioniamo la pressoflessione complanare, mentre il fuoco è sulla finestra grafica

3D: .

La colorazione può essere eseguita in due modi: nella modalità verifica le pareti verificate sono verdi e quelle non verificate rosse; altrimenti si ha una variazione continua di colore. La scelta si effettua tramite il comando  della barra verticale di destra.

Nella prima modalità vediamo che quasi tutte le pareti risultano verdi, tranne alcune in rosso; attivando la legenda  (barra destra), questa ci dice quante aste risultino verificate, i coefficienti di sicurezza minimi e massimo e altre informazioni.

Tramite il comando  è possibile selezionare immediatamente le aste che risultano non verificate; con il comando "Evidenzia Selezione"  (bs.dx) è possibile individuarle immediatamente. Inoltre abilitando la numerazione delle aste  (bs.sx), oltre al loro numero compare il coefficiente di sicurezza di ognuna. Si tratta di 6 strisce: le n° 43-44, 130-131, 141 e 144.

Pressoflessione Complanare [54.5.6, 57.8.2.2.1]
Involuppo CDD

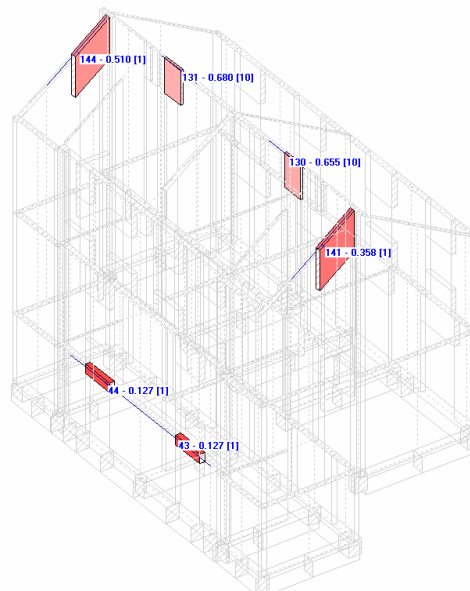


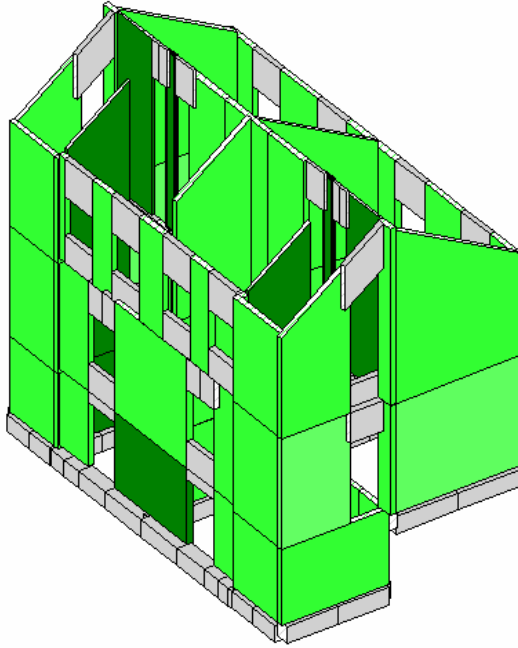


Fig. 2.3.2.

Adesso nella colonna di destra selezioniamo la visualizzazione dei risultati delle verifiche a taglio per fessurazione diagonale . Nell'immagine che segue vediamo a sinistra la mappatura di verifica relativa al taglio per fessurazione diagonale; le verifiche sono tutte soddisfatte e non vi è alcun elemento colorato in rosso. Avevamo deciso di non eseguire verifiche a taglio nelle strisce, per questo motivo le troviamo colorate in grigio.

Vediamo adesso la pressoflessione ortogonale da modello 3D: . A destra vediamo le due sole aste non verificate a pressoflessione ortogonale, la 97 e la 101, molto snelle: c'era da aspettarsi che avessero problemi per questo tipo di verifica! In questa visualizzazione abbiamo eliminato il disegno dei nodi e delle aste, per una immagine più pulita, che appare ben appropriata per essere inserita nella relazione di calcolo.

Taglio per Fessuraz. Diagonale [\$4.5.6, \$C8.7.1.5]
Inviluppo CCC



PressoFlessione Ortogonale (azioni di calcolo)
Inviluppo CCC

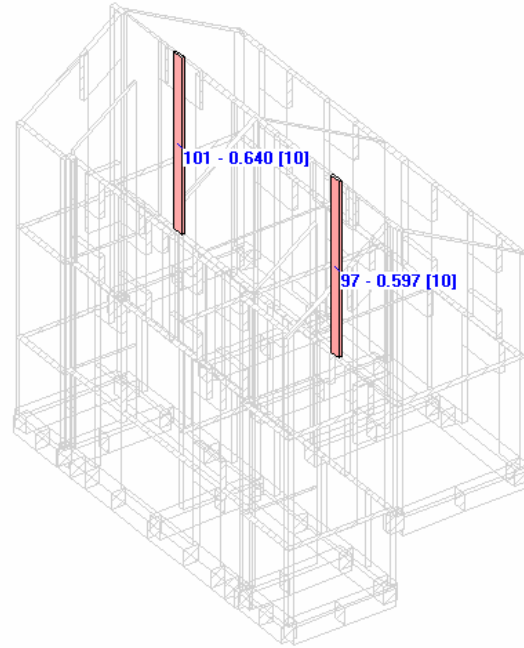


















Fig. 2.3.3.

2.4. TENSIONI IN FONDAZIONE, DEFORMATA, CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE

Con il tasto apposito  si visualizzano le tensioni in fondazione. Basta aver disattivato il comando Inviluppo  e selezionare le CCE o le CCC, tramite i comandi della barra orizzontale  . Le singole CCC o CCE si scorrono con i tasti freccia    .

La legenda fornisce varie indicazioni. E' possibile visualizzare anche i valori numerici dei grafici che appaiono a schermo, tramite il comando Mostra valori ( bs. sin); abbiamo a disposizione anche varie modalità di colorazioni del retino e la possibilità di visualizzare solo il valore ai nodi ( bs. sin). Con il comando Inviluppo  attivo si possono visualizzare i diagrammi dell'inviluppo delle CCC per le varie caratteristiche della sollecitazione e per le tensioni in fondazione. Nella bs. sin. troviamo anche dei comandi che consentono di ingrandire o ridurre la scalatura dei diagrammi relativi a forze e tensioni ( ) o agli spostamenti ( ). Tutte le informazioni su sollecitazioni e deformazioni delle aste e su spostamenti e reazioni vincolari dei nodi consultabili graficamente sono reperibili anche in formato testuale tramite la finestra Informazioni, apribile con il comando  della bs. dx. Le modalità operative appena descritte valgono anche per le analisi sismiche.

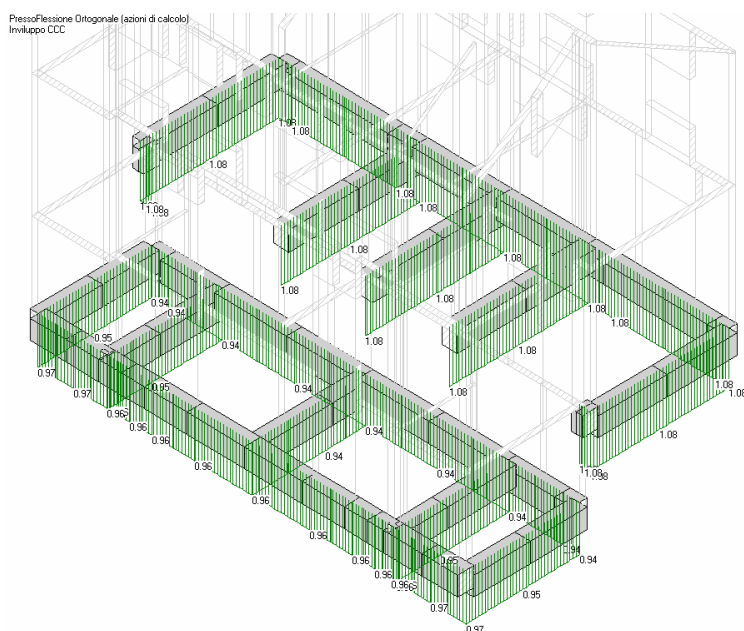



Fig. 2.4.1.

In PC.E per ogni singola CCE e CCE sono visualizzabili, con gli appositi comandi presenti nella barra verticale di sinistra, i vari diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione (N , T_y , T_z , M_x , M_y , M_z), le deformate statiche () , le reazioni vincolari (R_v). Valgono gli stessi comandi di visualizzazione dei valori e scalatura appena descritti. Nella prossima figura visualizziamo la deformata statica (a sinistra) e gli sforzi normali (a destra).

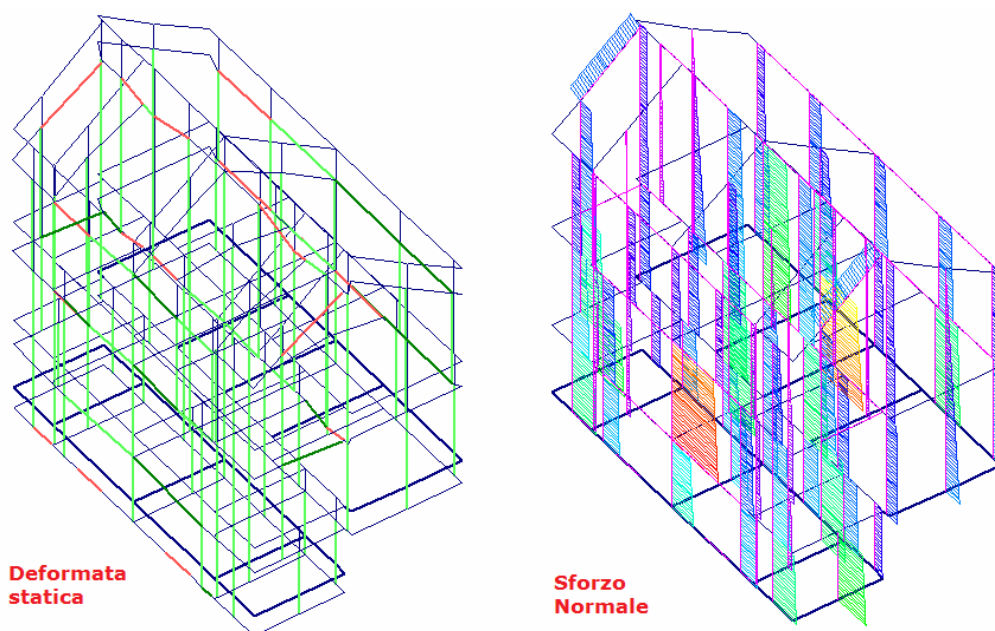


Fig. 2.4.2

2.5. ANALISI SISMICHE E CONDIZIONI DI REGOLARITA'

Eseguiamo una prima volta l'Analisi Statica Lineare Sismica e la Dinamica Modale: le scegliamo nella scheda Parametri Generali dei Parametri di Calcolo. Si confermi con OK, e si lanci l'analisi.

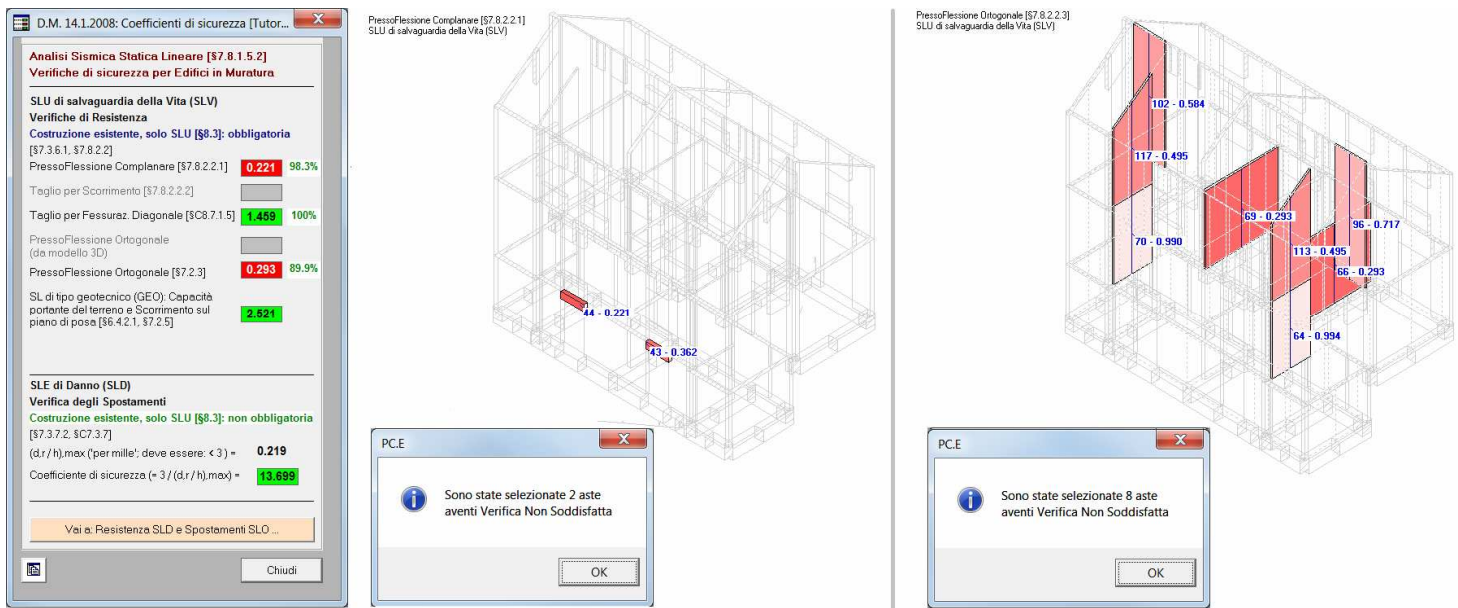


Fig. 2.5.1.

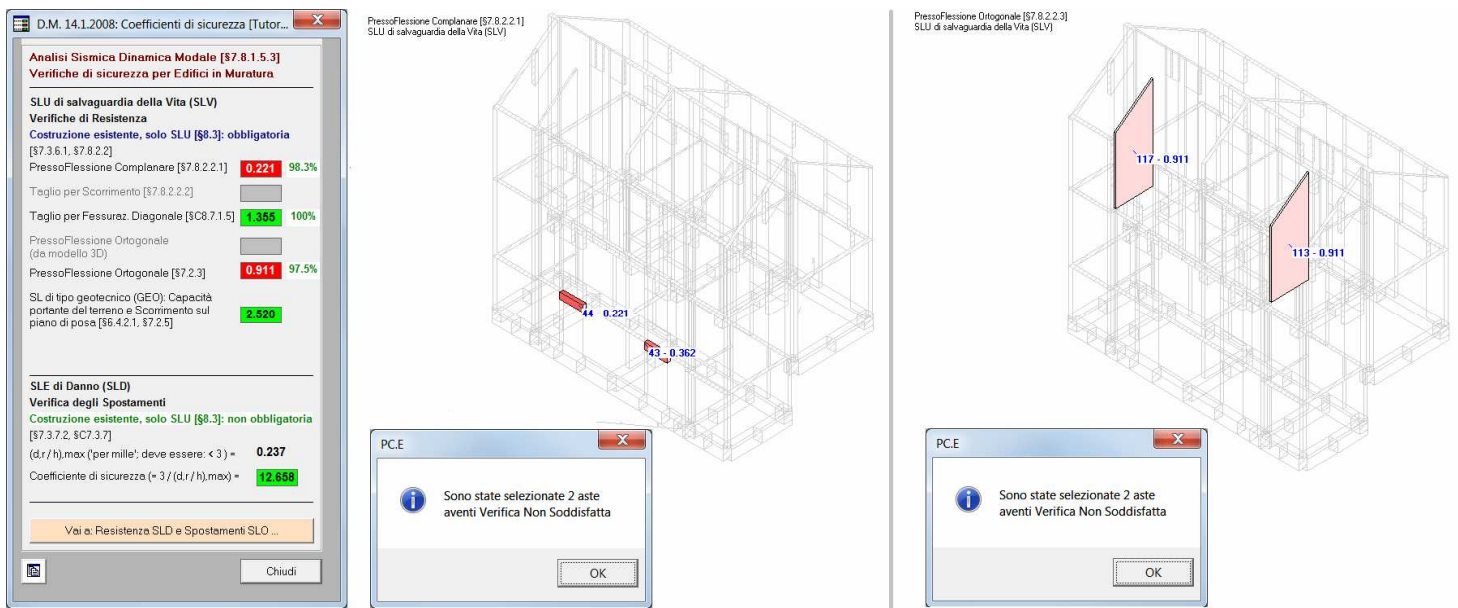


Fig. 2.5.2.

Dai report e con i comandi precedentemente descritti vediamo facilmente che vi sono solo problemi con la pressoflessione ortogonale in entrambe le analisi: 8 le aste non verificate con la statica lineare, 2 le non verificate in dinamica modale.

In seguito, eseguendo l'analisi statica non lineare (pushover), disporremo di un nuovo fattore di struttura che influirà sulle analisi lineari (sismica lineare e dinamica modale): tali analisi dovranno quindi essere nuovamente eseguite dopo la pushover.

Per ora, l'aver eseguito la sismica lineare ci permette di condurre la verifica di regolarità. Dal menu giallo a tendina nella barra orizzontale, a destra (dove c'è la scritta analisi semplificate), scorrendo troviamo l'analisi delle condizioni di regolarità. Si apre un file di testo da cui si evince che l'edificio non è regolare in altezza. Questo comporta che nella scheda sismica 1 dei Parametri di Calcolo dobbiamo segnalare questa situazione deselezionando il check apposito, che per preimpostazione è attivo.

CONDIZIONI DI REGOLARITÀ' [§7.2.2]
Delle condizioni controllate, l'edificio risulta:
- **REGOLARE IN PIANTEA**
- **NON REGOLARE IN ALTEZZA**

REGOLARITÀ' IN PIANTEA:

a) La configurazione in pianta
b) Il rapporto tra lati di un rettangolo
c) Nessuna dimensione di riferimento
d) Gli orizzontamenti possono essere considerati come un rettangolo
e) Tutti i sistemi resistono
f) Controlli su variazioni di massa

REGOLARITÀ' IN ALTEZZA:

a) La configurazione in pianta
b) Il rapporto tra lati di un rettangolo
c) Nessuna dimensione di riferimento
d) Gli orizzontamenti possono essere considerati come un rettangolo
e) Tutti i sistemi resistono
f) Controlli su variazioni di massa

Parametri di Calcolo

1. Pericolosità sismica:
Coordinate geografiche del sito (nel sistema ED50), utilizzato da INGV per il reticolo, in gradi decimali:
Longitudine = 12.541000 Latitudine = 42.691101

2. P.V.R. %: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V.R. per ciascun Stato Limite (Tab. 3.2.I):

Stato limite	P.V.R. (%)
SLE: SLO	81
SLE: SLD	63
SLU: SLV	10
SLU: SLC	5

3. Valori dei parametri a.g., F.o., TC* per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno Stato Limite, e S.S., C.C., S., T.B., T.C., T.D., F.v. [§3.2.3]:

Stati	Limite	TR (anni)	a.g. (g)	F.o.	TC* (sec)	S.S.	C.C.	S.	T.B. (sec)	T.C. (sec)	T.D. (sec)	F.v.
SLE	SLO	30	0.057	2.517	0.270	1.000	1.000	1.000	0.090	0.270	1.828	0.811
SLE	SLD	50	0.070	2.507	0.280	1.000	1.000	1.000	0.093	0.280	1.880	0.895
SLU	SLV	475	0.163	2.460	0.320	1.000	1.000	1.000	0.107	0.320	2.252	1.341
SLU	SLC	975	0.204	2.480	0.330	1.000	1.000	1.000	0.110	0.330	2.416	1.512

Componente orizzontale:
SLE: Smorzamento viscoso: ξ (%) = 5 $\rightarrow \eta = 1.000$
SLU: α_v/α_1 (secondo §C8.7.1.2: 1.50) $\rightarrow q_0 = 1.40$ $\rightarrow q = 2.100$ $\rightarrow \eta = 0.357$

Componente verticale:
SLE: ξ (%) = 5 $\rightarrow \eta = 1.000$
SLU: $q = 1.500$ $\rightarrow \eta = 0.667$

Legenda Parametri (modifiche: in confronto ai valori definiti dai criteri del DM 14.1.2008):
indipendenti (bianco), modificati (giallo), non modificati (verde)

Fig. 2.5.3.

2.6. ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

Lanciamo l'analisi non lineare: conseguentemente alle scelte effettuate nei Parametri di Calcolo, verranno processate 16 curve. La figura seguente mostra il diagramma della prima curva, insieme al report di tutte le analisi; le varie curve possono essere scorse utilizzando i tasti freccia . Dal report rileviamo che la verifica pushover è ampiamente soddisfatta. Il risultato non deve sorprendere, in quanto l'edificio è sottoposto ad azioni sismiche non elevate, sia a causa delle accelerazioni spettrali in gioco sia per il fatto di avere solo due piani sismici; inoltre, il materiale murario costitutivo risulta di buona qualità e la struttura è geometricamente abbastanza ben organizzata, pur se con un piano sfalsato.

2. Esecuzione Analisi statiche e sismiche. Valutazione dei risultati

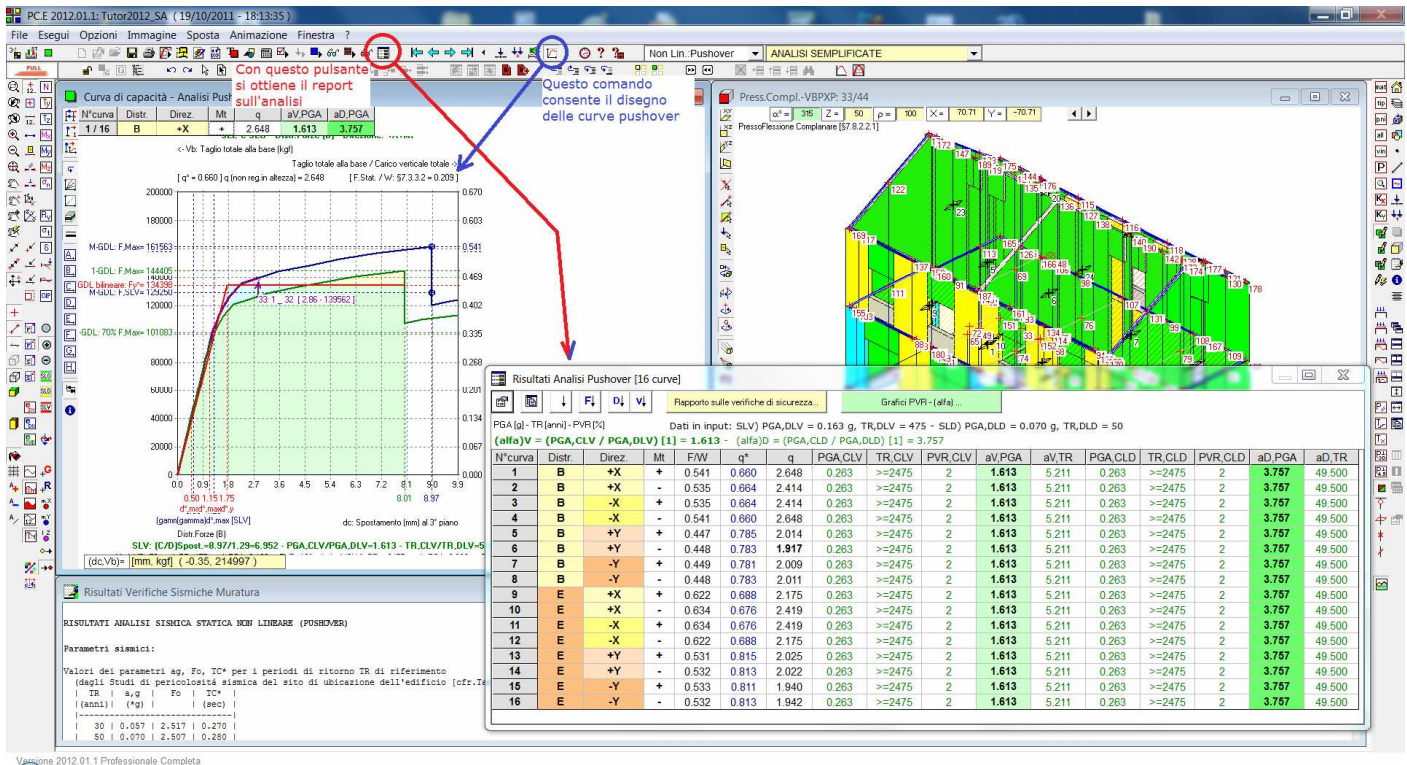


Fig. 2.6.1.

Suggerimento La consultazione dei risultati dell'analisi pushover è molto articolata e consente numerose opzioni. Per una descrizione dettagliata delle diverse funzionalità, si rimanda al Vol. 2, Manuale d'uso di PC.E, par. 13.3.4. ■

L'analisi sismica statica non lineare (pushover) fornisce un giudizio idoneo prevalentemente per il comportamento nel piano delle pareti; fra le varie opzioni, l'analisi pushover di PC.E esegue pure verifiche ortogonali nel corso dell'analisi stessa (che potrebbero tuttavia essere anche disattivate, cfr. l'apposito check nei Parametri di Calcolo, scheda Pushover (2): "Non eseguire verifiche a pressoflessione e taglio anche in direzione ortogonale"). Tuttavia, in generale la pressoflessione ortogonale viene studiata nell'ambito delle analisi lineari, in quanto è possibile in tal modo cogliere in modo più chiaro il comportamento locale delle pareti fuori piano. Faremo quindi riferimento alle analisi sismiche lineari, che a questo punto è opportuno siano rieseguite utilizzando il 'vero' fattore di struttura (stimato dalla pushover). Inoltre, normalmente nell'analisi pushover consideriamo i nodi di fondazione come incastrati e tale è l'opzione di default di PC.E. Le analisi lineari verranno quindi utilizzate anche per condurre le verifiche in fondazione.

Risultati Analisi Pushover [16 curve]

PGA [g] - TR [anni] - PVR [%] Dati in input: SLV PGA,DLV = 0.163 g, TR,DLV = 475 - SLD PGA,DLD = 0.070 g, TR,DLD = 50

(alfa)V = (PGA,CLV / PGA,DLV) [1] = 1.613 - (alfa)D = (PGA,CLD / PGA,DLD) [1] = 3.757


N°curva	Distr.	Direz.	Mt	F/W	q*	q	PGA,CLV	TR,CLV	PVR,CLV	aV,PGA	aV,TR	PGA,CLD	TR,CLD	PVR,CLD	aD,PGA	aD,TR
1	B	+X	+	0.541	0.660	2.648	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
2	B	+X	-	0.535	0.664	2.414	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
3	B	-X	+	0.535	0.664	2.414	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
4	B	-X	-	0.541	0.660	2.648	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
5	B	+Y	+	0.447	0.785	2.014	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
6	B	+Y	-	0.448	0.783	1.917	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
7	B	-Y	+	0.449	0.781	2.009	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
8	B	-Y	-	0.448	0.783	2.011	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
9	E	+X	+	0.622	0.688	2.175	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
10	E	+X	-	0.634	0.676	2.419	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
11	E	-X	+	0.634	0.676	2.419	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
12	E	-X	-	0.622	0.688	2.175	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
13	E	+Y	+	0.531	0.815	2.025	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
14	E	+Y	-	0.532	0.813	2.022	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
15	E	-Y	+	0.533	0.811	1.940	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
16	E	-Y	-	0.532	0.813	1.942	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500

Fig. 2.6.2.

Il report ci ha segnalato come fattore di struttura relativo alla curva con minimo coefficiente di sicurezza il valore $q=1.917$; alla fine dell'esecuzione dell'analisi pushover, PC.E ha proposto di aggiornarlo a tale valore: si accetta la proposta, o - se non lo si è fatto - si va a modificare il valore di q nei Parametri di Calcolo, scheda Sismica (1) (per preimpostazione, il precedente valore di q era pari a 2.8 ed era selezionata la regolarità dell'edificio).

Nel report della non lineare troviamo, per ogni curva, i valori di accelerazione sostenibile (PGA,CLV), del corrispondente periodo di ritorno (TR,CLV) e probabilità correlata (PVR,CLV). Vediamo anche gli indicatori di rischio in termini di accelerazione (aV,PGA = rapporto tra l'accelerazione sostenibile e quella richiesta) e in termini di periodo di ritorno (aV,TR = periodo di ritorno sostenibile e richiesto). Nel nostro caso abbiamo valori alti, il che può capitare per edifici con 1-2 piani. Ricordiamo che la normativa attuale prevede dei limiti per il periodo di ritorno del sisma. Nel nostro caso il valore minimo è 30 anni, il massimo 2475. Non possiamo calcolare stati non compresi in questo intervallo: a volte, in casi sfavorevoli, può capitare che pur studiando diversi tipi di intervento sullo stesso edificio, si rimanga al di sotto del periodo di ritorno di 30 anni senza notare alcun miglioramento.

Per quanto riguarda la pushover, oltre al quadro riassuntivo complessivo, abbiamo la visualizzazione di ogni curva, la rappresentazione grafica di ogni passo dell'analisi per ogni tipo di verifica, i report testuali. Un report completo per ogni curva che indica quali elementi collassano ad ogni passo. È possibile anche realizzare delle animazioni che ci consentono di comprendere la crisi della struttura durante il sisma.

 **Nota bene** Come già detto, la capacità antisismica dell'edificio in pushover risulta elevata per via dei materiali presenti, per le dimensioni e la geometria e per la zona sismica in questione. Cambiando il materiale e immettendone uno più scadente si può constatare immediatamente l'abbassamento delle prestazioni dell'edificio. ■

2.7. PRESSOFLESSIONE ORTOGONALE IN ANALISI SISMICA LINEARE E DINAMICA MODALE

Una volta calcolato il nuovo fattore di struttura possiamo rieseguire le analisi lineari statica e dinamica modale, per focalizzare nuovamente l'attenzione sulla pressoflessione ortogonale. Di fatto, sarebbe sufficiente una delle due analisi; qui le svolgiamo entrambe per completezza e per comprendere meglio il comportamento della struttura.

Rieseguendo queste analisi, attiviamo il calcolo degli Indicatori di Rischio Sismico: pertanto selezioniamo questa opzione nella scheda Muratura (1) dei Parametri di Calcolo, "Eseguire il calcolo della capacità in termini di PGA (e di TR) ed il confronto con la domanda per la definizione degli Indicatori di Rischio".

2. Esecuzione Analisi statiche e sismiche. Valutazione dei risultati

Parametri di Calcolo

Generali | Sismica (1) | Sismica (2) | Modale | Muratura (1) | Muratura (2) | Pushover (1) | Pushover (2) | Pushover (3) | Mur. Armata | C.a.

Edifici in Muratura: Generalità

Tipo di Edificio: Livello di Conoscenza

Tipologia strutturale

☒ Muratura Ordinaria ☐ Muratura Armata

☐ Muratura Armata, progettata secondo Gerarchia Resistenze

Edificio Nuovo o Esistente [per esistenti: FC da Tab. C8A.1.1]

☐ Nuovo: C.Sic. = Coeff. Parz. Sic. (g).m = 2.00

☐ Verifica di robustezza del progetto secondo §3.1.1

☒ Esistente, LC1 (limitata) [FC=1.35] FC in edifici monumentali: cfr. §4.2, Circ.26.2.12.2010, Min. Beni Culturali

☐ Esistente, LC2 (adeguata) [FC=1.20]

☐ Esistente, LC3 (accurata) [FC=1.00] [FC secondo §C8A.1.A.4] FC = 1.35

Coeff. parz. di sicurezza (g).m [= (gamma).m]: 2.00

Statica [§4.5.6.1]: 2.00

Sismica [§7.8.1.1]: 2.00

Per Edifici Esistenti: (gamma).m * FC [§8.5.4]:

Statica: 2.70

Sismica: 2.70

Analisi Statica NON Sismica. Verifiche di Resistenza [§4.5.6.2]

Per Azioni Complanari (PressoFlessione e Taglio): si applicano le stesse modalità di verifica dell'Analisi Sismica (vd. scheda 'Muratura (2)').

PressoFlessione Ortogonale (o: per carichi laterali):

☒ Con azioni derivanti dal modello di calcolo (3D)

☒ Eccentricità minima (h/200) [(4.5.9) in §4.5.6.2] anche per verifiche con azioni da modello di calcolo (3D)

☐ Metodo semplificato: ipotesi di articolazione delle estremità della parete (supposta incernierata a livello dei piani) [§4.5.5, §4.5.6.2]

☒ Eseguire le verifiche statiche a PressoFlessione Ortogonale (sia da modello 3D, sia con metodo semplificato): solo in Mezzeria

Stati Limite Ultimi per Carichi concentrati

Verifiche per Carichi concentrati secondo il D.M. 14.1.2008: suggerimenti sul percorso operativo

Sezioni di Verifica per Azioni Complanari

Per le Azioni Complanari, in Analisi Statica e in Analisi Sismica, eseguire le verifiche (PressoFlessione Complanare, Taglio per Scorrimento, Taglio per Fessurazione Diagonale): alla Base (obbligatorie); in Sommità:

☒ in nessun caso ☐ a tutti i piani, tranne l'ultimo ☐ in tutti i casi

Edifici in Muratura: Analisi Sismica (1)

Valutazione della sicurezza: Indicatori di Rischio Sismico

Tipo di valutazione

☐ Edificio Esistente: Adeguamento, o: Stato Attuale di un intervento di Miglioramento; oppure: Edificio Nuovo

☒ Edificio Esistente: Stato di Progetto di un intervento di Miglioramento (da confrontare con lo Stato Attuale specificato)

☒ Per Edifici Esistenti: valutare la sicurezza con riferimento ai soli Stati Limite Ultimi (SLV) [§8.3]

Eseguire il calcolo della capacità in termini di PGA (e di TR)

☒ ed il confronto con la domanda, per la definizione degli Indicatori di Rischio Sismico

Per Interventi di Miglioramento

Nei progetti di Miglioramento: i valori degli Indicatori di Rischio Sismico allo Stato di Progetto devono essere maggiori dei corrispondenti valori allo Stato Attuale.

Se lo Stato corrente è lo Stato di Progetto: specificare il nome del file corrispondente allo Stato Attuale (per eseguire il confronto. Sarà ovviamente un nome diverso dal nome del Progetto corrente):

Tutorial_2012_SA

Se il nome del file non è specificato, non sarà eseguito alcun confronto (l'esecuzione effettiva del confronto richiede la disponibilità dei risultati del progetto indicato come Stato Attuale)

OK Annulla

Fig. 2.7.1.

D.M. 14.1.2008: Coefficienti di sicurezza [Tutor2012_SA]

Analisi Sismica Statica Lineare [§7.8.1.5.2]

Verifiche di sicurezza per Edifici in Muratura

SLU di salvaguardia della Vita (SLV)

Verifiche di Resistenza

Costruzione esistente, solo SLU [§8.3]: obbligatoria [§7.3.6.1, §7.8.2.2]

PressoFlessione Complanare [§7.8.2.2.1] 0.221 98.3%

Taglio per Scorrimento [§7.8.2.2.2] 1.000 100%

PressoFlessione Ortogonale (da modello 3D)

PressoFlessione Ortogonale [§7.2.3] 0.293 89.9%

SL di tipo geotecnico (GEO): Capacità portante del terreno e Scorrimento sul piano di posa [§6.4.2.1, §7.2.5] 2.521

SLE di Danno (SLD)

Verifica degli Spostamenti

Costruzione esistente, solo SLU [§8.3]: non obbligatoria [§7.3.7.2, §C7.3.7]

(d.r/h).max ('per mille'; deve essere: < 3) = 0.219

Coefficiente di sicurezza (= 3 / (d.r/h).max) = 13.699

Vai a: Resistenza SLD e Spostamenti SLO ...

Confronto fra Capacità e Domanda - Indicatori di rischio

PGA,DLV = 0.163 g - TR,DLV = 475 anni - P.VR, DLV = 10 %

Indicatori di rischio (alfa),V

PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PVR,CLV (%)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV
0.057	<=30	81.112	0.350	0.063

Resistenza e Deformazione nel piano:

Resistenza fuori piano:

Capacità limite del terreno:

PGA,CLD (g)	TR,CLD (anni)	PVR,CLD (%)	PGA,CLD / PGA,DLD	TR,CLD / TR,DLD
0.263	>=2475	2	1.613	5.211

Valori minimi degli Indicatori di rischio (alfa),V = 0.350 0.063

PGA,DLD = 0.070 g - TR,DLD = 50 anni - P.VR, DLD = 63 %

Indicatori di rischio (alfa),D

PGA,CLD (g)	TR,CLD (anni)	PVR,CLD (%)	PGA,CLD / PGA,DLD	TR,CLD / TR,DLD
0.263	>=2475	2	3.757	49.500

Deformazione di danno:

Rapporto sulle verifiche di sicurezza... Grafici PVR - (alfa) ...

Chiudi

Fig. 2.7.2.

Eseguita l'analisi, al report sui coefficienti di sicurezza vengono affiancate altre caselle in cui troviamo, per ogni tipo di verifica attivata, l'accelerazione sostenibile, il periodo di ritorno e gli indicatori di rischio in termini di accelerazione e di periodo di ritorno. Notiamo che sostanzialmente il comportamento è lo stesso di prima; il cambiamento del fattore di struttura non ha modificato di molto i risultati a cui eravamo pervenuti. Nel caso della pressoflessione ortogonale secondo §7.2.3. ricordiamo che la formulazione del D.M.14.1.2008 prevede un fattore di struttura imposto e pertanto i risultati di quest'analisi non subiscono alcuna variazione.

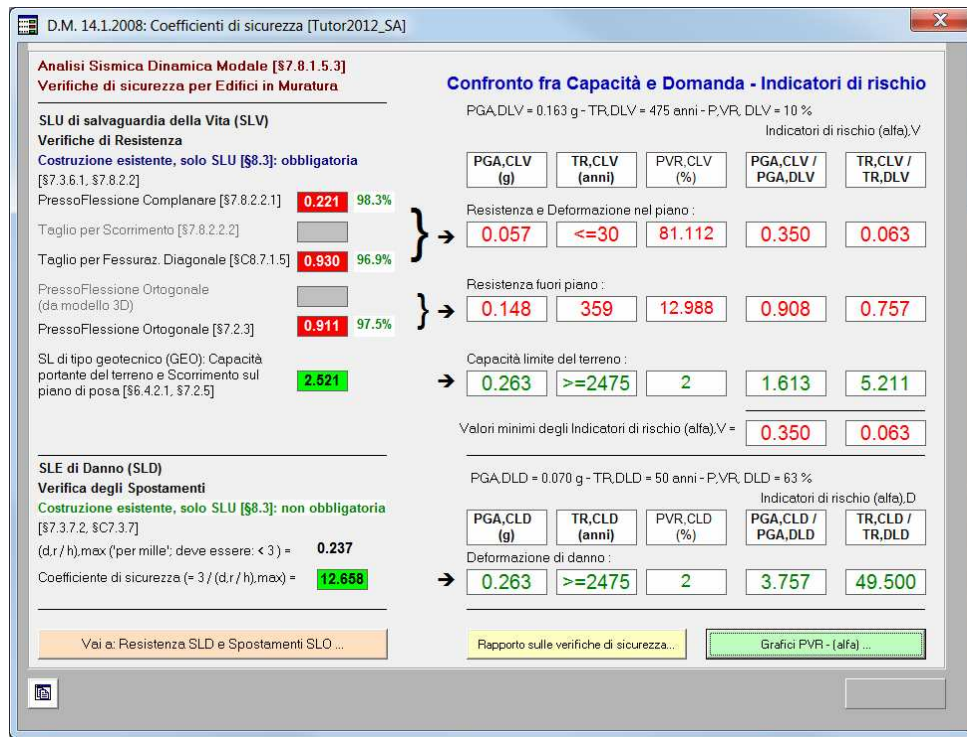




Fig. 2.7.3.


Con queste due analisi si valutano anche le verifiche in fondazione.

2.8. COLLEGAMENTO CON ANALISI CINEMATICA e MODULO ESP

Questo Tutorial si riferisce all'analisi globale degli edifici in muratura, ma come sottolineato dal D.M.14.1.2008 e relativa Circolare attuativa, e dalla Direttiva P.C.M. 9.2.2011 sugli edifici tutelati, devono essere analizzati anche i meccanismi locali (cinematismi), fra cui in particolare i ribaltamenti fuori piano. All'analisi dei cinematismi è dedicato il modulo ESP di PC.E, accessibile tramite il comando  della barra strumenti superiore (fig. 2.8.1); il modulo ESP è ampiamente descritto nel Manuale dedicato all'Analisi Cinematica, a cui si rimanda per ogni approfondimento.

I ribaltamenti fuori piano possono essere generati automaticamente dal modello di PC.E sia per il caso monopiano (singoli maschi in sommità), sia per il pluripiano (paramenti murari completi, in genere: i prospetti). ESP offre in alternativa la possibilità di schematizzare direttamente al suo interno un paramento murario. Questo permette lo studio di pareti pluripiano indipendentemente dall'eventuale modello di PC.E. Si tratta di una procedura più articolata rispetto alla generazione automatica del meccanismo di ribaltamento del paramento da PC.E, e quindi porremo l'attenzione su di essa.

Tornando quindi al comando  che da PC.E lancia il modulo ESP, per fissare le idee studiamo il ribaltamento di un particolare prospetto, e più esattamente del prospetto longitudinale posto alla coordinata Y=0.10 m. Pertanto eseguiamo una sezione verticale. Selezioniamo l'analisi statica non sismica e la visualizzazione dei carichi: scorrendo le combinazioni permanenti G1, G2 e le accidentali possiamo ricavare i carichi da inserire successivamente in ESP ai vari piani. I carichi che vediamo sono distribuiti (a metro lineare), mentre in ESP dovremo introdurre il carico totale.

Dai Dati Aste possiamo ricavare i vari spessori e i dati materiali da inserire in ESP. Nella tabella CCE possiamo leggere i vari coefficienti Psi. Con il comando "distanza tra nodi"  rileviamo che il prospetto misura 14.30 m. Sempre dalla tabella dei dati aste è immediato ricavare i vari dati geometrici per l'introduzione dei dati in ESP.

2. Esecuzione Analisi statiche e sismiche. Valutazione dei risultati

Accedendo ad ESP da PC.E, si apre un file con lo stesso nome del file *pce* e gli stessi dati sismici. Scegliamo un cinematiso di ribaltamento per un prospetto con due piani. ESP eseguirà il calcolo del ribaltamento di tutto il prospetto e del solo piano superiore.

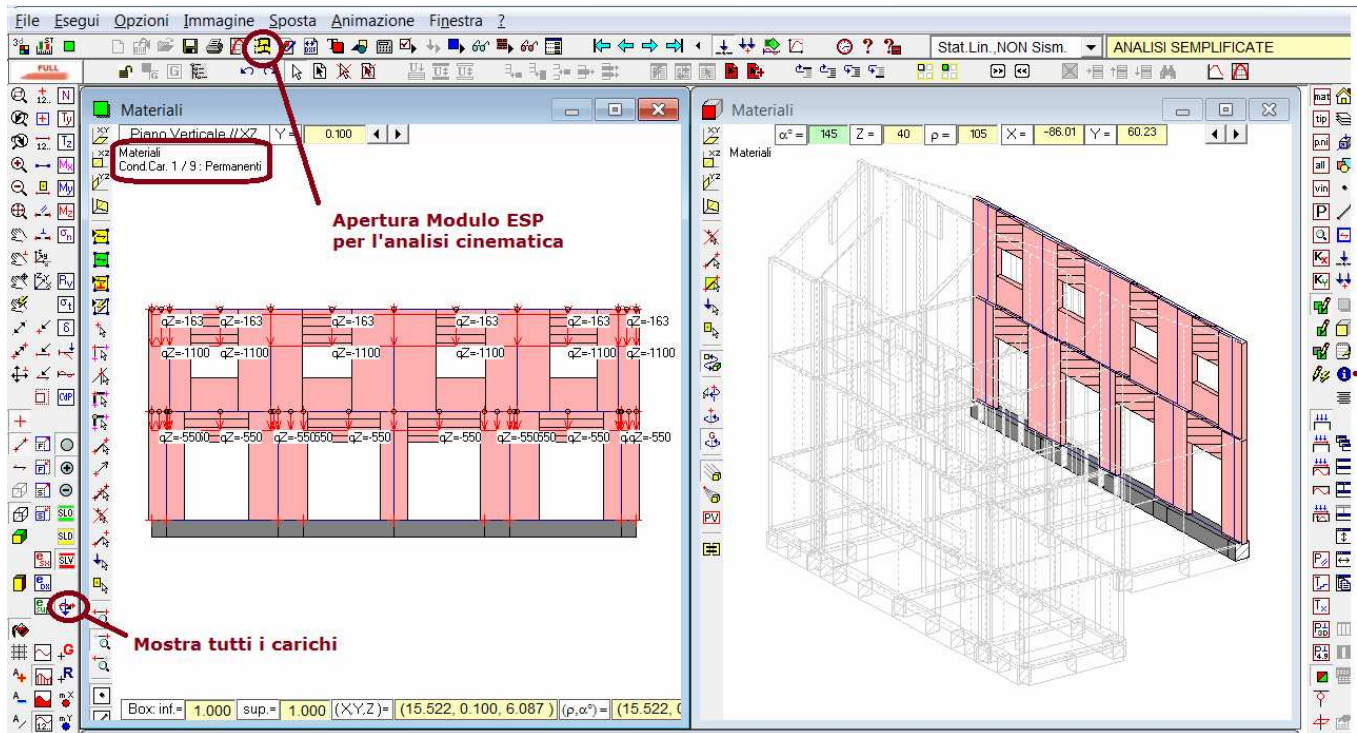


Fig. 2.8.1.

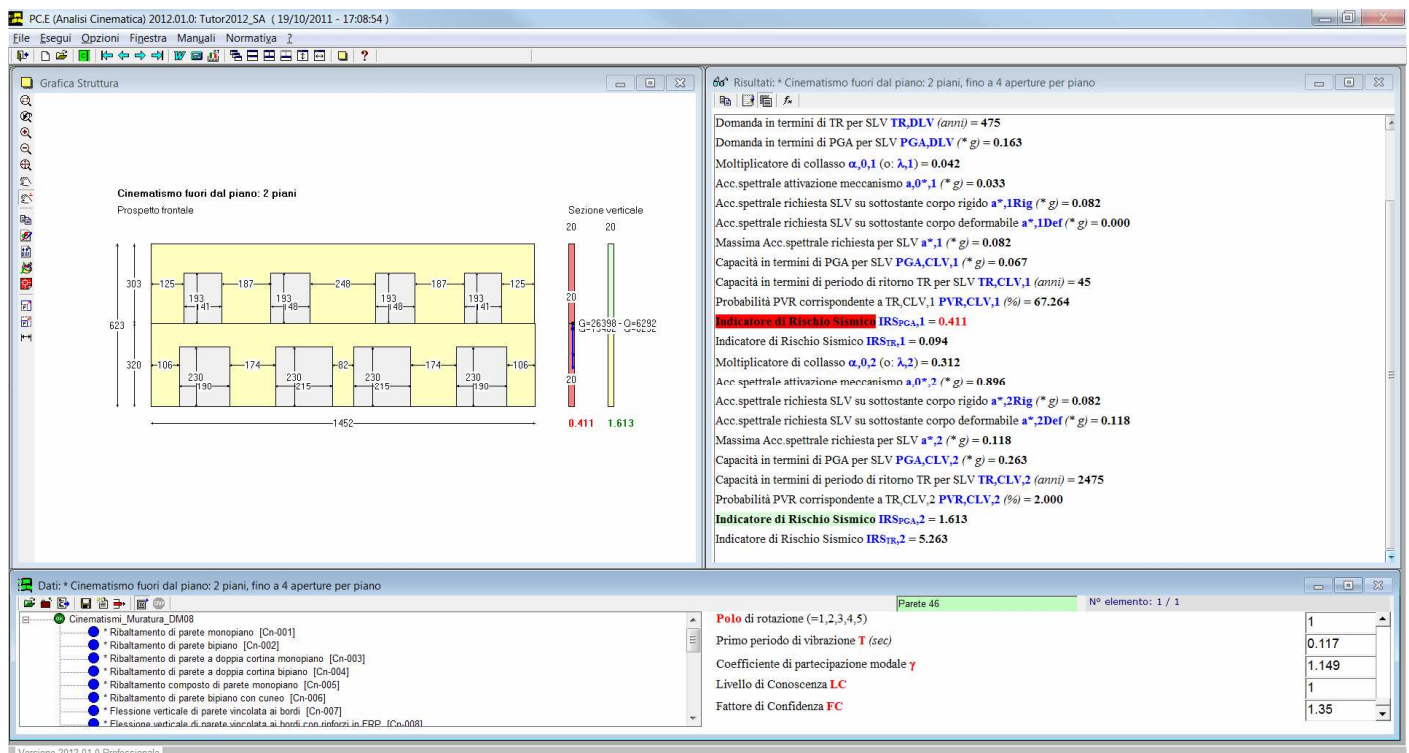


Fig. 2.8.2.

Nell'ipotesi di assenza di elementi capaci di evitare il ribaltamento, come catene orizzontali, il minimo indicatore di rischio è pari a 0.411, e il periodo di ritorno è di 45 anni.

2.9. RAPPORTO FINALE SULLE VERIFICHE DI SICUREZZA STATO ATTUALE

Adesso torniamo nel report risultati dell'analisi pushover, vediamo che all'interno c'è un bottone di comando giallo "Rapporto sulle verifiche di sicurezza": facendo clic su questo, si apre una scheda di sintesi di tutte le analisi dove per ogni verifica dello Stato Attuale vengono riportati i valori relativi di accelerazione sostenibile, periodo di ritorno, indicatori di rischio in termini di accelerazione e periodo di ritorno.

Tali valori vengono rilette da tutte le analisi svolte: nel nostro caso i valori delle verifiche complanari (pressoflessione e taglio) vengono attinti dalla pushover, mentre i valori fuori del piano e in fondazione sono presi dalla dinamica modale, coerente con la pushover in quanto rieseguita con il fattore di struttura calcolato in pushover. Come visibile in figura, vi è anche il campo relativo all'analisi cinematica. Viene indicato anche il valore minimo tra tutti.

Fissando l'attenzione sull'Indicatore di Rischio in termini di PGA allo Stato Limite di salvaguardia della Vita α_v , si osserva che esso è pari a 0.411 ed è determinato dalla verifica a ribaltamento (cinematismo), mentre la pressoflessione ortogonale segna un valore di 0.908, anch'esso minore di quanto richiesto per un intervento di adeguamento. Nello Stato di Progetto, che sarà illustrato al paragrafo seguente, si interverrà quindi sulle pareti che condizionano l'insufficiente risultato a pressoflessione ortogonale, e si avrà inoltre cura di inserire azioni stabilizzanti tali da impedire la formazione del cinematismo (meccanismo di collasso) di ribaltamento del prospetto.

Nel report vediamo anche il bottone verde "Grafici PVR – (alfa)..." che apre un grafico che illustra l'andamento degli indicatori di rischio in funzione della probabilità di superamento, così da permettere una visione sintetica della situazione.

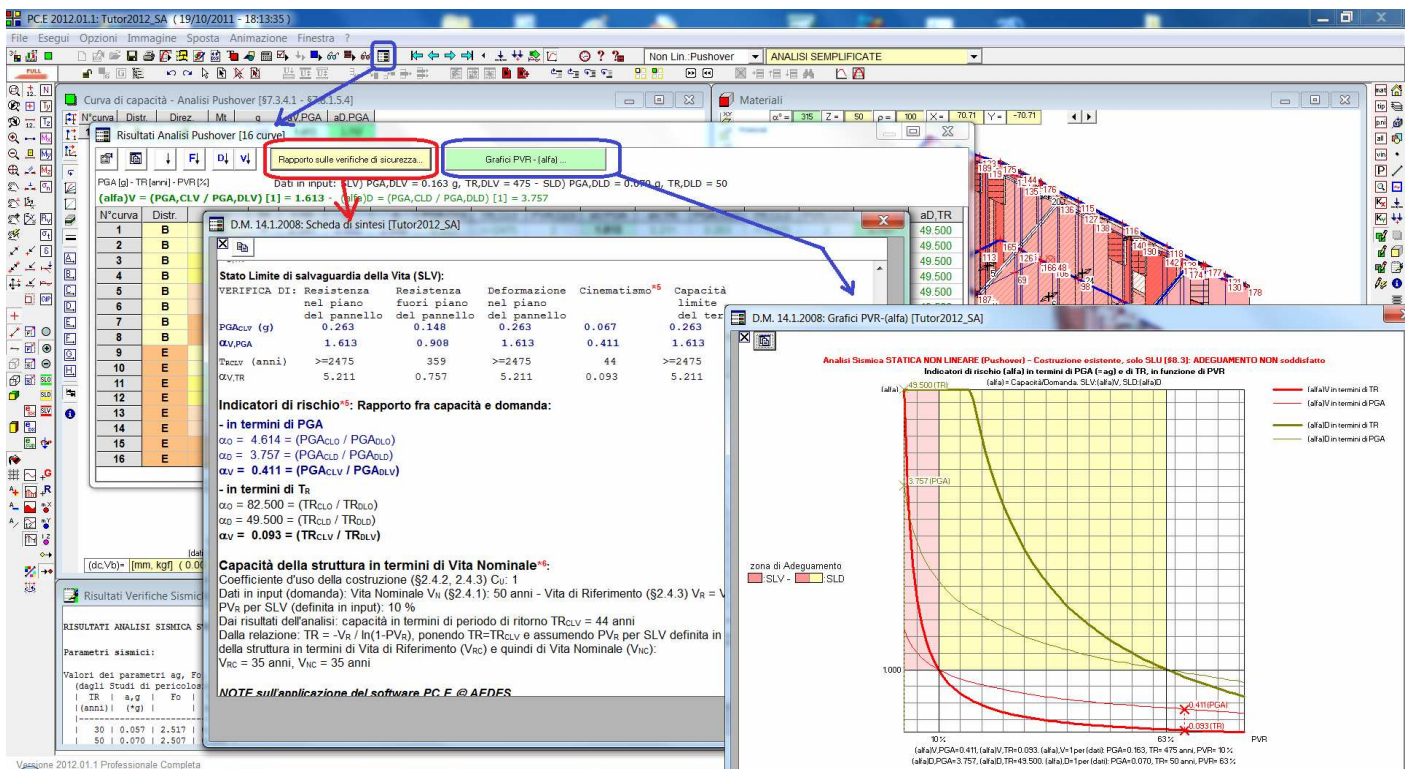


Fig. 2.9.1.

Come visibile in figura siamo lontani dalla zona dell'adeguamento.



Suggerimento

Il file completo relativo alla stato attuale è quello denominato: **Tutor2012_SA.pce**. ■

2.10. STATO DI PROGETTO

Fig. 2.10.1.

L'intervento di progetto si propone di demolire le pareti spesse 10 cm, ricostruendole con spessore 20 cm. Pertanto si selezionano gli elementi con spessore 10 cm. Si può procedere ad esempio ponendo la cella di input nei Dati Aste in corrispondenza della parete 29, e quindi utilizzando il pulsante "Seleziona/Deleziona" (bs.sup.) e scegliendo l'opzione "Sezione corrente (per Edifici in Muratura: Spessore corrente)". Vengono così selezionati 18 elementi: le pareti 29 e 36 al piano 1; le pareti 64, 66, 69 e 70 al piano 2; le pareti 96, 97, 101, 102, 113, 117 e le strisce 129, 130, 131 e 132, 298 e 300 al piano 3.

Nei Dati Aste cambiamo il loro spessore, agendo singolarmente nei campi 'B' e 'H' accanto al N°Sez., e più precisamente in quello che tra i due campi rappresenta appunto lo spessore, da 0.100 a 0.200 m. Per passare una all'altra tra le aste selezionate sono molto utili i comandi "Va alla selezione precedente" [F5] o "successiva" [F6].

Un modo alternativo per cambiare lo spessore, ancora più immediato, consiste, dopo aver selezionato le aste, nel comando "Pareti: Cambia spessore..." del menu Edit della finestra Dati Aste. Viene richiesta la variazione di spessore da apportare (in questo caso: +0.10 m).

Poiché l'aumento di spessore rende resistenti queste pareti anche nei confronti delle azioni orizzontali, ne cambiamo il vincolamento portandolo ad incastro-incastro. Si decide peraltro di lasciar vincolate come bielle due pareti, la 96 e la 102, perché vanno a scaricare su strisce e non su altre pareti portanti (cfr. figura seguente).

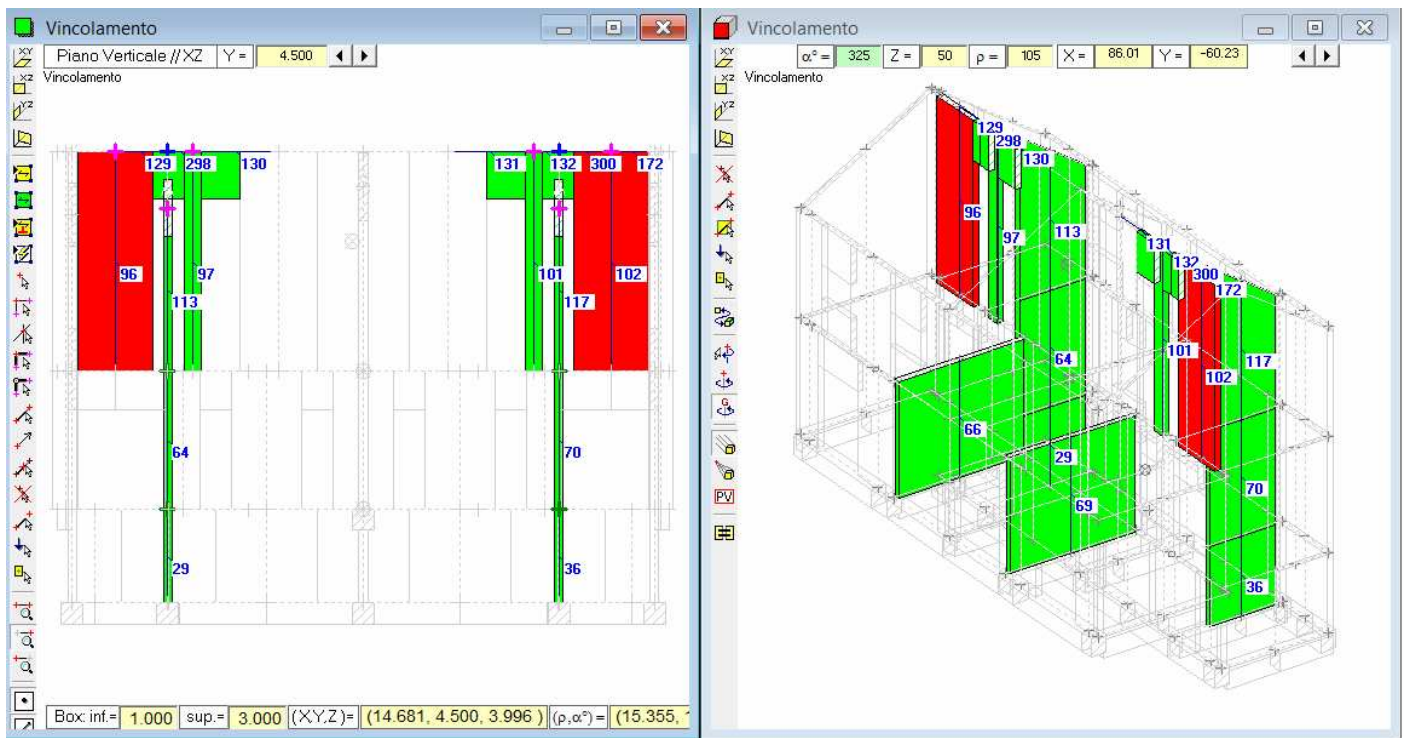


Fig. 2.10.2.

2.10.1. ANALISI STATICA NON SISMICA

Vediamo i risultati dell'analisi statica non sismica:

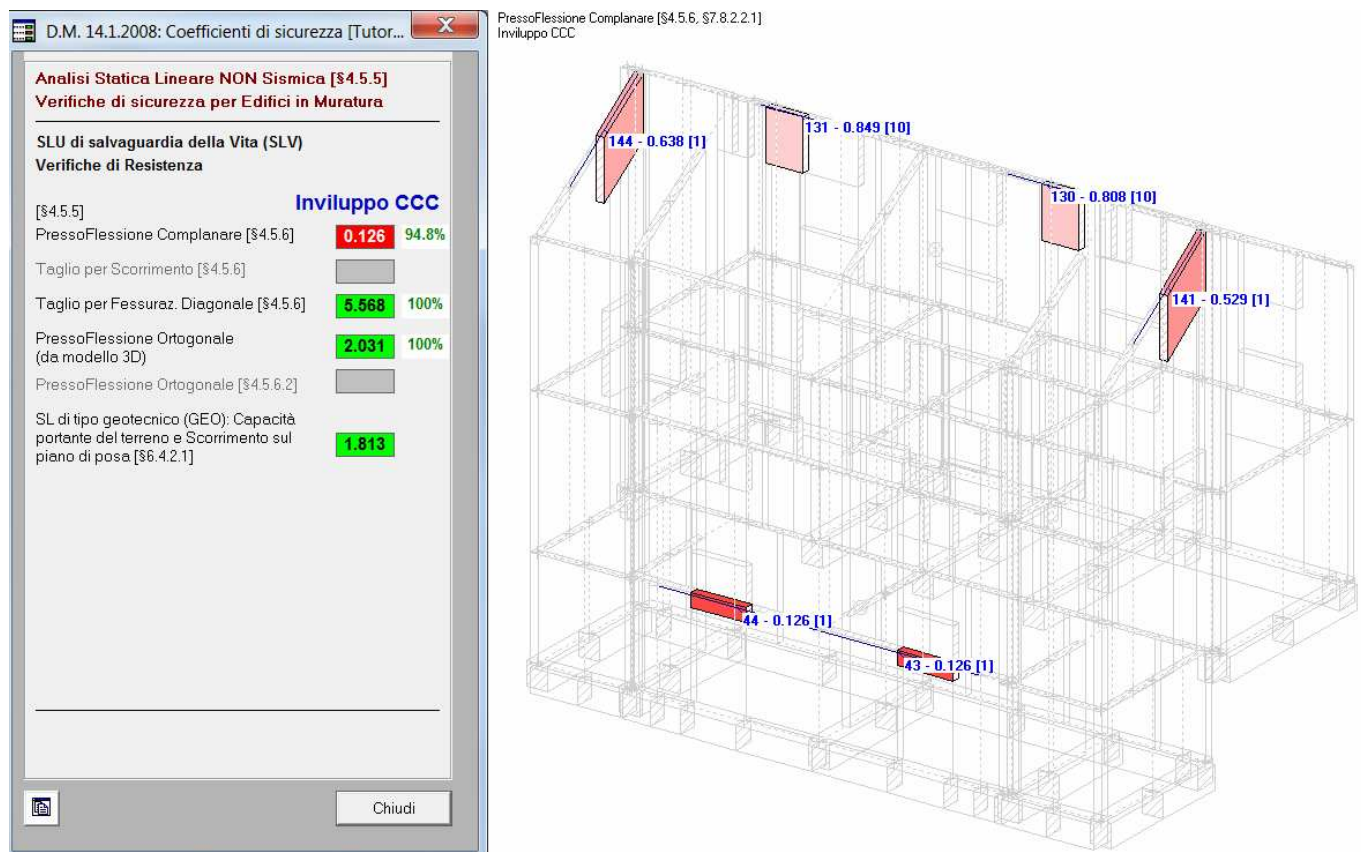


Fig. 2.10.3.

Notiamo un netto miglioramento, perché adesso la verifica a pressoflessione ortogonale risulta soddisfatta. La pressoflessione complanare era già pressoché verificata prima (94.8% di elementi strutturali sottoposti a tale verifica e soddisfatti) tranne alcune strisce il cui comportamento statico non viene ovviamente influenzato dagli interventi proposti. Il progettista potrebbe scegliere di intervenire su di esse, ad esempio rafforzando la capacità di resistenza a trazione in intradosso e/o estradosso (rafforzando l'armatura o consolidando con fibre), oppure considerarle come aspetti secondari.

2.10.2. ANALISI SISMICA NON LINEARE

Eseguiamo la pushover per ottenere il nuovo fattore di struttura competente alla Stato di Progetto. Visto che questa analisi era già ampiamente verificata nello Stato Attuale, lo sarà quasi sicuramente anche nello Stato di Progetto: in casi analoghi, un rafforzamento di alcune pareti eccentriche potrebbe avere l'effetto indesiderato di peggiorare la resistenza complessiva dell'edificio: non è però questo il caso in esame. Il fattore di struttura minimo sale a 2.322: le analisi lineari possono essere quindi nuovamente eseguite, abbassando così di fatto le forze sismiche (un valore di q più alto comporta minori azioni sismiche).

Risultati Analisi Pushover [16 curve]

PGA [g] - TR [anni] - PVR [%] Dati in input: SLV) PGA,DLV = 0.163 g, TR,DLV = 475 - SLD) PGA,DLD = 0.070 g, TR,DLD = 50

(alfa)V = (PGA,CLV / PGA,DLV) [1] = 1.613 - (alfa)D = (PGA,CLD / PGA,DLD) [1] = 3.757

N°curva	Distr.	Direz.	Mt	F/W	q*	q	PGA,CLV	TR,CLV	PVR,CLV	aV,PGA	aV,TR	PGA,CLD	TR,CLD	PVR,CLD	aD,PGA	aD,TR
1	B	+X	+	0.544	0.654	2.268	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
2	B	+X	-	0.533	0.663	2.414	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
3	B	-X	+	0.533	0.663	2.414	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
4	B	-X	-	0.544	0.654	2.268	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
5	B	+Y	+	0.513	0.681	2.633	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
6	B	+Y	-	0.513	0.681	2.633	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
7	B	-Y	+	0.514	0.679	2.955	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
8	B	-Y	-	0.514	0.679	2.955	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
9	E	+X	+	0.623	0.687	2.554	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
10	E	+X	-	0.632	0.680	2.419	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
11	E	-X	+	0.632	0.680	2.419	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
12	E	-X	-	0.623	0.687	2.554	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
13	E	+Y	+	0.600	0.738	2.926	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
14	E	+Y	-	0.600	0.738	2.926	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
15	E	-Y	+	0.601	0.736	2.918	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500
16	E	-Y	-	0.601	0.736	2.918	0.263	>=2475	2	1.613	5.211	0.263	>=2475	2	3.757	49.500

Fig. 2.10.4.

Adesso possiamo eseguire le analisi sismiche lineari e dinamica modale definitive per lo Stato di Progetto.

2.10.3. ANALISI SISMICA LINEARE E DINAMICA MODALE

Vediamo i report della sismica lineare e della dinamica modale:

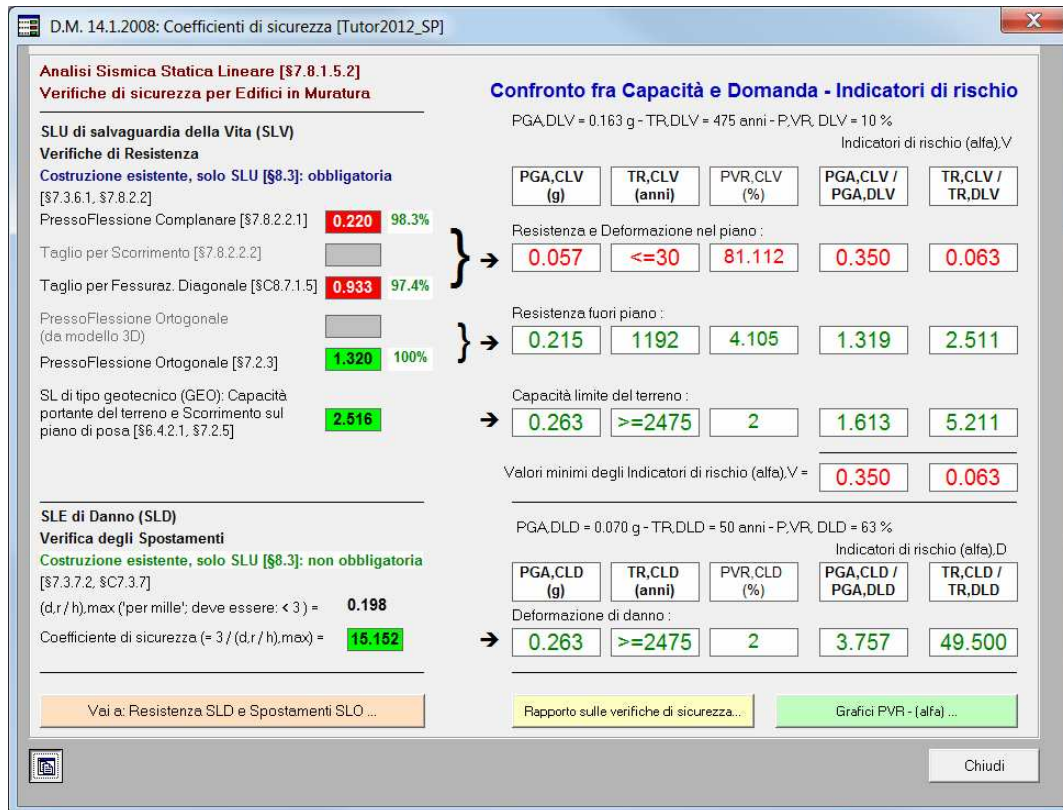


Fig. 2.10.5.

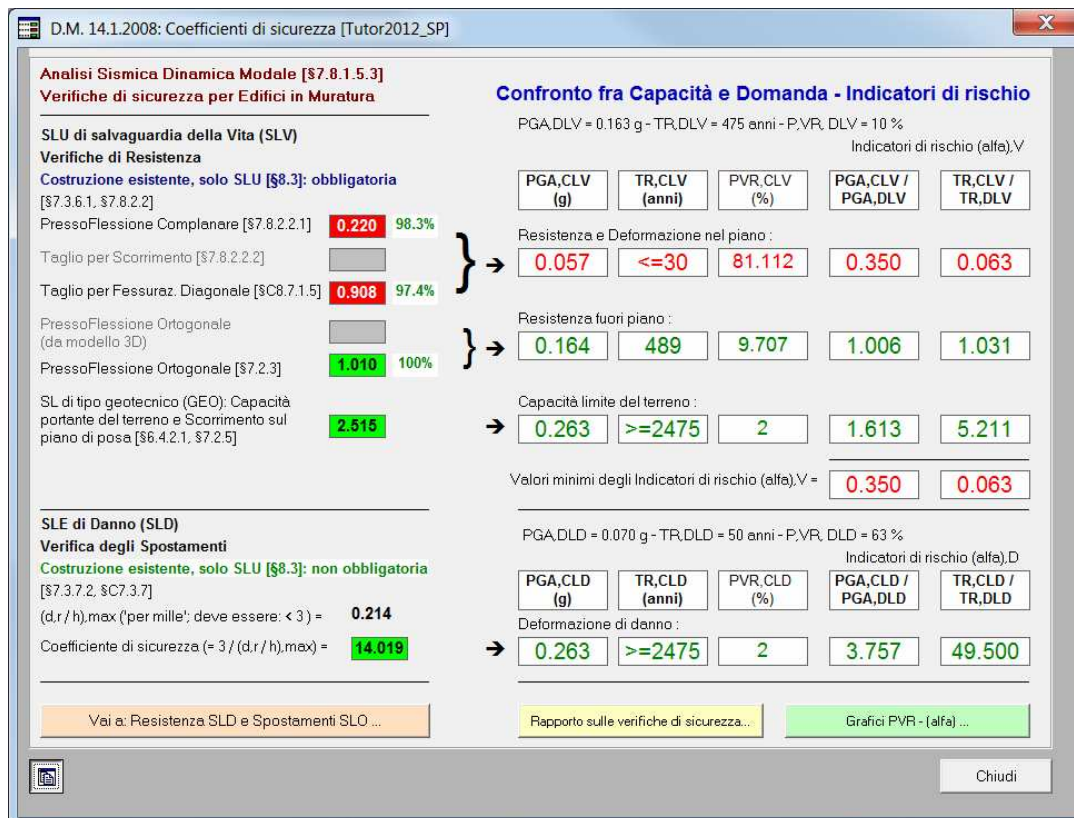


Fig. 2.10.6.

La pressoflessione ortogonale sismica è verificata in entrambe le analisi.

Sulle verifiche complanari (pressoflessione complanare e taglio per fessurazione diagonale) si possono ignorare i risultati lineari in quanto la sicurezza per azioni complanari si considera dimostrata dall'analisi pushover.

Ovviamente, sarebbero possibili scelte diverse: se il Progettista volesse consolidare la struttura per porla comunque in sicurezza anche nei confronti delle analisi lineari, sarebbe sufficiente individuare gli elementi non soddisfatti per le verifiche a pressoflessione complanare e a taglio per fessurazione diagonale, ed intervenire in qualche modo su questi.

D'altra parte, è sempre bene ricordare che nel caso degli edifici in muratura le analisi lineari non sono in generale appropriate per cogliere il grado di sicurezza sotto azioni complanari, in quanto non possono considerare la capacità ridistributiva della struttura in campo elasto-plastico, proprietà in base alla quale gli elementi a maggiore resistenza antisismica possono sopperire all'incapacità di elementi più deboli.

2.10.4. ANALISI CINEMATICA

Rimane da considerare l'analisi cinematica. Come spiegato nel manuale apposito, cui si rimanda per approfondimenti, si può agevolmente individuare il tiro minimo in sommità che stabilizza la parete: è necessario un tiro di 2070 kgf al secondo piano (altezza tirante 2.83 m) per ottenere un indicatore di rischio minimo pari a 1.000, a cui corrisponde un periodo di ritorno di 475 anni. Pertanto nello stato di progetto è sufficiente verificare tale condizione.

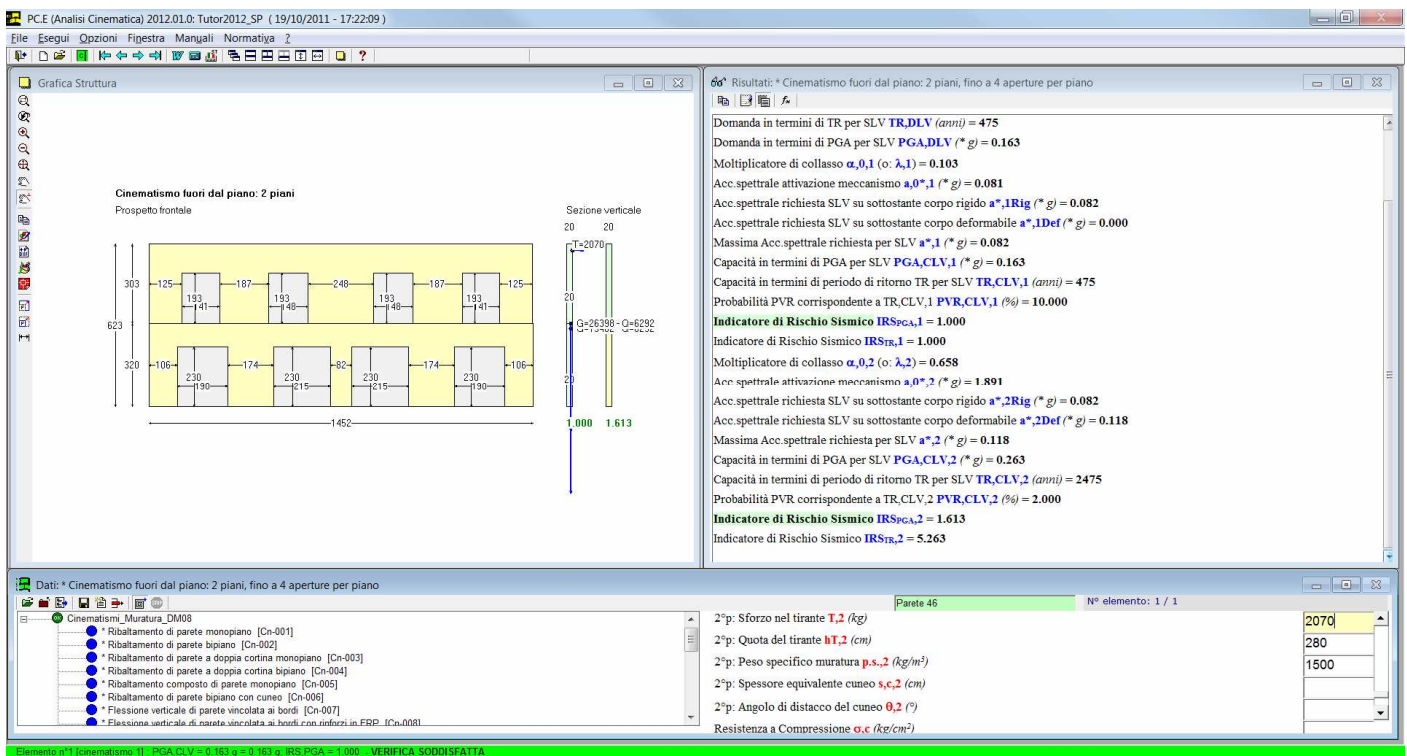


Fig. 2.10.7.

2.11. CONFRONTO STATO ATTUALE E DI PROGETTO. DIMOSTRAZIONE DI ADEGUAMENTO

Apriamo dal report della pushover il rapporto finale che dimostra l'adeguamento raggiunto e che vista la sua importanza riportiamo per esteso, note comprese:

Edificio Esistente in muratura

Determinazione dell'entità del miglioramento sismico complessivo dell'edificio ^{*1}

L'edificio risulta 'migliorato' qualora il valore dell'indicatore di rischio allo Stato dopo l'intervento sia maggiore rispetto allo Stato prima dell'intervento.

(data di creazione della presente scheda: 19/10/2011 , 17:23:49)

Stato di Progetto (dopo l'intervento):

Nome del file corrispondente: Tutor2012_SP

Classe d'uso della costruzione (§2.4.2): II

Domanda: valori di riferimento delle accelerazioni e dei periodi di ritorno dell'azione sismica

Stato limite	Accelerazione (g)	T_{RD} (anni)
Stato Limite di Operatività (SLO)	$PGA_{DLO} = 0.057$	$T_{RDLO} = 30$
Stato Limite di Danno (SLD)	$PGA_{DLD} = 0.070$	$T_{RDLD} = 50$
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	$PGA_{DLV} = 0.163$	$T_{RDLV} = 475$

Tipo di analisi strutturale: *2

Analisi sismica statica non lineare (pushover) seguita da dinamica modale con q calcolato in Pushover; $q = 2.268$ **Stato Attuale (prima dell'intervento):**

Nome del file corrispondente: Tutor2012_SA

Classe d'uso della costruzione: II

Domanda: valori di riferimento delle accelerazioni e dei periodi di ritorno dell'azione sismica

Stato limite	Accelerazione (g)	T_{RD} (anni)
Stato Limite di Operatività (SLO)	$PGA_{DLO} = 0.057$	$T_{RDLO} = 30$
Stato Limite di Danno (SLD)	$PGA_{DLD} = 0.070$	$T_{RDLD} = 50$
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	$PGA_{DLV} = 0.163$	$T_{RDLV} = 475$

Tipo di analisi strutturale:

Analisi sismica statica non lineare (pushover) seguita da dinamica modale con q calcolato in Pushover; $q = 1.917$ *Edificio esistente: la sicurezza può valutarsi solo per SLU (SLV) [§8.3]***Capacità: accelerazione orizzontale di picco al suolo (PGA) e periodo di ritorno (TR)**PGA = accelerazione di picco al suolo con effetti di sito ($a_g \cdot S$)**VERIFICHE DI DEFORMAZIONE (SPOSTAMENTI) *3:****Stato Limite di Operatività (SLO):**

VERIFICA DI: Deformazione di danno

PGA_{CLO} (g)	0.263	Prima
$\alpha_{O,PGA}$	4.614	dell'intervento
T_{RCLO} (anni)	≥ 2475	
$\alpha_{O,TR}$	82.500	

PGA_{CLO} (g)	0.263	Dopo
$\alpha_{O,PGA}$	4.614	l'intervento

T_{RCLO} (anni)	≥ 2475
$\alpha_{O,TR}$	82.500

Stato Limite di Danno (SLD):

VERIFICA DI: Deformazione di danno

PGA_{CLD} (g)	0.263	Prima
$\alpha_{D,PGA}$	3.757	dell'intervento
T_{RCLD} (anni)	≥ 2475	
$\alpha_{D,TR}$	49.500	

PGA_{CLD} (g)	0.263	Dopo
$\alpha_{D,PGA}$	3.757	l'intervento
T_{RCLD} (anni)	≥ 2475	
$\alpha_{D,TR}$	49.500	

VERIFICHE DI RESISTENZA*4:**Stato Limite di Danno (SLD):**

VERIFICA DI:	Resistenza nel piano del pannello	Resistenza fuori piano del pannello	Deformazione nel piano del pannello	Capacità limite del terreno	
PGA_{CLD} (g)	0.263	0.076	0.263	0.263	Prima
$\alpha_{D,PGA}$	3.757	1.086	3.757	3.757	dell'intervento
T_{RCLD} (anni)	≥ 2475	63	≥ 2475	≥ 2475	
$\alpha_{D,TR}$	49.500	1.272	49.500	49.500	
PGA_{CLD} (g)	0.263	0.083	0.263	0.263	Dopo
$\alpha_{D,PGA}$	3.757	1.186	3.757	3.757	l'intervento
T_{RCLD} (anni)	≥ 2475	80	≥ 2475	≥ 2475	
$\alpha_{D,TR}$	49.500	1.604	49.500	49.500	

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):

VERIFICA DI:	Resistenza nel piano del pannello	Resistenza fuori piano del pannello	Deformazione nel piano del pannello	Cinematismo*5	Capacità limite del terreno	
PGA_{CLV} (g)	0.263	0.148	0.263	0.067	0.263	Prima
$\alpha_{V,PGA}$	1.613	0.908	1.613	0.411	1.613	dell'intervento
T_{RCLV} (anni)	≥ 2475	359	≥ 2475	44	≥ 2475	
$\alpha_{V,TR}$	5.211	0.757	5.211	0.093	5.211	
PGA_{CLV} (g)	0.263	0.164	0.263	0.163	0.263	Dopo
$\alpha_{V,PGA}$	1.613	1.006	1.613	1.000	1.613	l'intervento
T_{RCLV} (anni)	≥ 2475	489	≥ 2475	475	≥ 2475	
$\alpha_{V,TR}$	5.211	1.031	5.211	1.000	5.211	

Indicatori di rischio*6: Rapporto fra capacità e domanda:**Prima dell'intervento:****- in termini di PGA**

$$\alpha_O = 4.614 = (PGA_{CLO} / PGA_{DLO}) - \alpha_D = 3.757 = (PGA_{CLD} / PGA_{DLD}) - \alpha_V = 0.411 = (PGA_{CLV} / PGA_{DLV})$$

- in termini di T_R

$$\alpha_O = 82.500 = (TR_{CLO} / TR_{DLO}) - \alpha_D = 49.500 = (TR_{CLD} / TR_{DLD}) - \alpha_V = 0.093 = (TR_{CLV} / TR_{DLV})$$

Dopo l'intervento:**- in termini di PGA**

$$\alpha_O = 4.614 = (PGA_{CLO} / PGA_{DLO}) - \alpha_D = 3.757 = (PGA_{CLD} / PGA_{DLD}) - \alpha_V = 1.000 = (PGA_{CLV} / PGA_{DLV})$$

- in termini di T_R

$$\alpha_O = 82.500 = (TR_{CLO} / TR_{DLO}) - \alpha_D = 49.500 = (TR_{CLD} / TR_{DLD}) - \alpha_V = 1.000 = (TR_{CLV} / TR_{DLV})$$

Entità del Miglioramento Sismico*7: Rapporto fra indicatori di rischio prima e dopo l'intervento:**- in termini di PGA**

$$SLO: 1.000 = (\alpha_O \text{ dopo} / \alpha_O \text{ prima})$$

$$SLD: 1.000 = (\alpha_D \text{ dopo} / \alpha_D \text{ prima})$$

$$SLV: 2.433 = (\alpha_V \text{ dopo} / \alpha_V \text{ prima})$$

- in termini di T_R

$$SLO: 1.000 = (\alpha_O \text{ dopo} / \alpha_O \text{ prima})$$

$$SLD: 1.000 = (\alpha_D \text{ dopo} / \alpha_D \text{ prima})$$

$$SLV: 10.753 = (\alpha_V \text{ dopo} / \alpha_V \text{ prima})$$

Capacità della struttura in termini di Vita Nominale^{*8}:**Prima dell'intervento:**Coefficiente d'uso della costruzione (§2.4.2, 2.4.3) C_U : 1Dati in input (domanda): Vita Nominale V_N (§2.4.1): 50 anni - Vita di Riferimento (§2.4.3) $V_R = V_R * C_U$: 50 anni PV_R per SLV (definita in input): 10 %Dai risultati dell'analisi: capacità in termini di periodo di ritorno $TR_{CLV} = 44$ anniDalla relazione: $TR = -V_R / \ln(1-PV_R)$, ponendo $TR=TR_{CLV}$ e assumendo PV_R per SLV definita in input, seguono la capacità della struttura in termini di Vita di Riferimento (V_{RC}) e quindi di Vita Nominale (V_{NC}): $V_{RC} = 35$ anni, $V_{NC} = 35$ anni**Dopo l'intervento:**Coefficiente d'uso della costruzione (§2.4.2, 2.4.3) C_U : 1Dati in input (domanda): Vita Nominale V_N (§2.4.1): 50 anni - Vita di Riferimento (§2.4.3) $V_R = V_R * C_U$: 50 anni PV_R per SLV (definita in input): 10 %Dai risultati dell'analisi: capacità in termini di periodo di ritorno $TR_{CLV} = 475$ anniDalla relazione: $TR = -V_R / \ln(1-PV_R)$, ponendo $TR=TR_{CLV}$ e assumendo PV_R per SLV definita in input, seguono la capacità della struttura in termini di Vita di Riferimento (V_{RC}) e quindi di Vita Nominale (V_{NC}): $V_{RC} = 50$ anni, $V_{NC} = 50$ anni**NOTE sull'applicazione del software PC.E @ AEDES****n.d.** = parametro non disponibile: i risultati dell'analisi non sono stati rilevati.

^{*1} Per l'intervento di Miglioramento Sismico, il **confronto dei risultati fra 'prima dell'intervento'** (Stato Attuale, o in caso di edificio danneggiato: Stato Pre-sisma) e **'dopo l'intervento'** (edificio allo Stato di Progetto) è possibile solo se nei Parametri di Calcolo il file corrente di PC.E è qualificato come Stato di Progetto ed inoltre è specificato il nome del file di riferimento per l'edificio allo Stato Attuale: in assenza di tale specifica, i risultati allo Stato Attuale non sono disponibili. Se il file corrente è uno Stato Attuale, i risultati allo Stato di Progetto non sono disponibili. I modelli allo Stato Attuale e allo Stato di Progetto devono essere caratterizzati da identici parametri sismici relativi alla pericolosità del sito di ubicazione dell'edificio e alla modalità di calcolo di PGA (tenendo conto o meno degli effetti di sito, attraverso il coefficiente S). E' invece possibile che gli Stati Attuale e di Progetto siano caratterizzati da diversa Classe d'Uso, con conseguenti differenti valori delle accelerazioni e dei periodi di ritorno dell'azione sismica corrispondenti agli stati limite di riferimento.

I parametri completi relativi ai modelli Attuale e di Progetto dell'edificio sono riportati nella descrizione dei dati.

^{*2} Le **analisi lineari** (statica o dinamica, che allo stato limite ultimo vengono eseguite con fattore di struttura q, derivante da analisi pushover o da formulazioni di Normativa), possono cogliere contemporaneamente tutti i tipi di comportamento: **Resistenza e Deformazione nel piano** del pannello (che assumono valori uguali: i due aspetti non sono scindibili ai fini dei risultati dell'analisi, derivanti dalle verifiche a PressoFlessione Complanare e a Taglio per scorrimento e/o per fessurazione diagonale), **Resistenza fuori piano** (da verifiche a PressoFlessione Ortogonale) e **Capacità limite del terreno** (SL di tipo geotecnico).

L'**analisi pushover** è finalizzata a cogliere il comportamento nel piano dell'edificio:

- allo stato limite ultimo SLV: **Resistenza e Deformazione nel piano** del pannello; i due risultati assumono valori uguali in quanto i due aspetti non sono scindibili: essi derivano dall'elaborazione della curva di capacità, che riassume il comportamento 'globale' della struttura, trasformata in oscillatore monodimensionale bilineare (elastoplastico) equivalente, utilizzato ai fini della definizione della domanda e del confronto con la capacità allo stato limite ultimo;

- agli stati limite di esercizio (SLO e SLD): **Deformazione di danno**, utilizzato ai fini della definizione della domanda e del confronto con la capacità allo stato limite di esercizio (SLO o SLD).

Per gli altri aspetti: **Resistenza fuori piano** e **Capacità limite del terreno** si fa riferimento all'analisi dinamica modale o (se non disponibile) all'analisi statica lineare, con fattore q che dovrà essere stato assunto coincidente con il fattore di struttura determinato in analisi pushover. Se un'analisi lineare con fattore di struttura q avente il valore calcolato in analisi pushover non è stata eseguita, questi risultati non sono disponibili.

L'analisi pushover elabora una serie di curve, determinata dalle direzioni X e Y, dai versi + -, dalla presenza del momento torcente, e dal tipo di distribuzione di forze in elevazione, secondo le opzioni scelte nei Parametri di Calcolo. Fra tutte le curve elaborate, i risultati dell'analisi pushover (capacità in termini di PGA e TR, e corrispondente fattore di struttura q) sono riferiti alla curva con risultati più sfavorevoli (identificati dalla minore capacità in termini di PGA).

^{*3} Le **Verifiche di Deformazione** (verifiche degli Spostamenti), secondo §7.3.7.2, devono essere eseguite: in **SLD**: per tutte le costruzioni; in **SLO**: per le **costruzioni di Classe d'uso III e IV**. Pertanto, per costruzioni di Classe d'uso I e II, i risultati delle verifiche degli spostamenti per SLO possono essere ignorati.

Per gli edifici esistenti, seguendo §8.3, è possibile che la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi possano essere eseguiti con riferimento ai soli stati limite ultimi (per la muratura: SLV); nel caso in cui, invece, si effettui la verifica anche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLO e SLD), i relativi livelli di prestazione potranno essere stabiliti dal Progettista di concerto con il Committente. In altre parole, è possibile che le verifiche di deformazione a SLO e SLD siano ignorate.

In ogni caso, PC.E svolge le verifiche di deformazione a SLO e SLD per edifici esistenti adottando i medesimi criteri relativi ai nuovi edifici (specificati in §7.3.7.2).

^{*4} Le **Verifiche di Resistenza** devono essere eseguite: in **SLV**: per tutte le costruzioni [per gli edifici in muratura, si assume che la verifica a SLV implichi anche la verifica allo stato limite ultimo SLC (Stato Limite di Collasso SLC, §C8.7.1.1)]; in **SLD**: per le **costruzioni di Classe d'uso III e IV**, secondo §7.3.7.1. Pertanto, per costruzioni di Classe d'uso I e II, i risultati delle verifiche di resistenza per SLD possono essere ignorati.

Per gli edifici esistenti, seguendo §8.3, è possibile che le verifiche di resistenza a SLD (stato limite di esercizio) siano ignorate. In ogni caso, PC.E svolge le verifiche di resistenza a SLD per edifici esistenti adottando i medesimi criteri relativi ai nuovi edifici (specificati in §7.3.7.1).

*5 Per il **Cinematismo** (la cui valutazione riguarda solo gli Edifici Esistenti), viene fatto riferimento all'Analisi Cinematica (studio dei meccanismi di collasso [§C8A.4]) condotta con il modulo ESP di PC.E: i parametri sismici adottati nel calcolo dei cinatismi coincidono con i valori utilizzati in PC.E (il collegamento fra gli ambienti di calcolo è univocamente determinato dal nome del file della struttura, coincidente per PC.E e ESP). Le verifiche di resistenza riguardanti i Cinatismi vengono svolte - anche nel caso di **costruzioni di Classe III o IV** - solo per SLV, seguendo quanto indicato in §C8A.4.2.3, dove si afferma che nel caso di edifici esistenti in muratura la verifica allo Stato Limite di Danno dei meccanismi locali non è richiesta.

*6 L'**Indicatore di rischio**, consistente nel rapporto tra Capacità e Domanda, costituisce il risultato in sintesi dell'analisi sismica dell'edificio. Per tutti gli stati limite di riferimento (SLO, SLD e SLV), esso può essere espresso sia in termini di PGA che di T_R ; i due valori non sono uguali data la non linearità del legame fra PGA e T_R , ma in ogni caso sono contemporaneamente maggiori o minori di 1. Il risultato coincide con il minimo indicatore di rischio fra tutte le verifiche eseguite per lo Stato Limite considerato. In particolare:

Per **SLO**, le verifiche sono solo per spostamenti ed il risultato può non essere considerato per costruzioni di Classe I e II.

Per **SLD**: per costruzioni di Classe III e IV, il valore minimo dell'indicatore è valutato sulle verifiche sia per spostamenti sia per resistenza, mentre per le altre costruzioni (Classe I e II) è valutato solo sulle verifiche per spostamenti, ignorando i risultati delle verifiche a SLD per resistenza. In ogni caso, quindi, il valore dell'indicatore α_D dovrà essere sempre considerato.

Per **SLV**, le verifiche sono solo per resistenza ed il risultato dovrà essere sempre considerato, qualunque sia la Classe della costruzione.

Per un Edificio Esistente sottoposto a Miglioramento, l'Indicatore di rischio allo Stato dopo l'intervento deve essere maggiore del corrispondente valore allo Stato prima dell'intervento. Negli interventi di Miglioramento, l'indicatore di rischio allo Stato dopo l'intervento può essere < 1.000 : è comunque necessario che sia maggiore corrispondente valore allo Stato prima dell'intervento.

*7 = **l'Entità del Miglioramento Sismico**, espressa in percentuale, consiste nel rapporto tra gli Indicatori di rischio dopo l'intervento e prima dell'intervento e assume valore positivo quando l'intervento di Miglioramento è soddisfatto, negativo altrimenti.

La **completezza dei risultati** è assicurata nei seguenti casi:

a) Analisi lineare (statica o dinamica): si è eseguita l'analisi sia allo Stato Attuale (o Pre-sisma), sia allo Stato di Progetto (per un confronto attendibile, l'analisi deve essere la stessa in entrambi gli Stati); il fattore q può essere tratto dalla Normativa (senza quindi la necessità di un'analisi pushover); si sono inoltre calcolati i cinatismi sia allo Stato Attuale sia allo Stato di Progetto.

b) Analisi pushover: si è eseguita l'analisi sia allo Stato Attuale, sia allo Stato di Progetto; si è quindi eseguita un'analisi lineare (statica o dinamica) nei due Stati (per un confronto attendibile, l'analisi deve essere la stessa in entrambi gli Stati) utilizzando, per le verifiche allo stato limite ultimo, il fattore q calcolato in analisi pushover; si sono inoltre calcolati i cinatismi sia allo Stato Attuale sia allo Stato di Progetto.

*8 La **capacità della struttura in termini di Vita Nominale (V_{NC})** si identifica con la Vita Nominale che è possibile assegnare alla struttura, in conseguenza del periodo di ritorno sostenibile TR_{CLV} , mantenendo nel corrispondente periodo di riferimento V_{RC} ($=V_{NC} * C_U$) la probabilità di superamento PV_R definita in input per lo Stato Limite ultimo SLV. Se dal calcolo risulta $V_{NC} \leq 35/C_U$, si assume comunque $V_{NC} = 35/C_U$ (cfr. §2.4.3). Se risulta: $TR_{CLV} > 2475$ anni, si potrà considerare un valore della vita nominale \geq del limite V_{NC} riportato nella scheda (corrispondente a $TR=2475$ anni: $V_{NC} \geq 2475 * -\ln(1-PV_R) / C_U$).

Compilazione di schede tecniche per Interventi di Miglioramento.

Gli **Indirizzi per l'esecuzione degli interventi di cui in OPCM 3790/2009** (Riparazione con miglioramento sismico di edifici danneggiati), relativi agli eventi sismici de L'Aquila del 6 aprile 2009, prevedono, al punto H), la compilazione della scheda tecnica di **"Determinazione dell'entità del miglioramento sismico complessivo dell'edificio"**. I parametri richiesti per i risultati dell'analisi si riferiscono allo stato limite ultimo (SLV) e considerano l'indicatore di rischio in termini di PGA.

Per quanto riguarda la simbologia utilizzata in PC.E, si è fatto in generale riferimento ai documenti più recenti del settore (attuazione OPCM 3790/2009), adottando un criterio coerente fra i diversi SL. Alcune equivalenze significative fra diverse espressioni delle stesse grandezze (ove non coincidenti con la simbologia adottata da PC.E) sono le seguenti:

$TR_{SLV} \equiv TR_{CLV}$ (capacità in termini di periodo di ritorno allo stato limite SLV)

$TR_{SLV,RIF} \equiv TR_{DLV}$ (domanda in termini di periodo di ritorno allo stato limite SLV \equiv TR di riferimento)

e analogamente per SLO e SLD.

Dopo il Report alleghiamo anche il grafico di confronto tra SA e SP che dimostra sia il miglioramento (cioè l'incremento di capacità antisismica nel passaggio dallo Stato Attuale allo Stato di Progetto) che l'adeguamento (cioè il superamento, da parte della capacità, della domanda di Normativa allo Stato di Progetto).

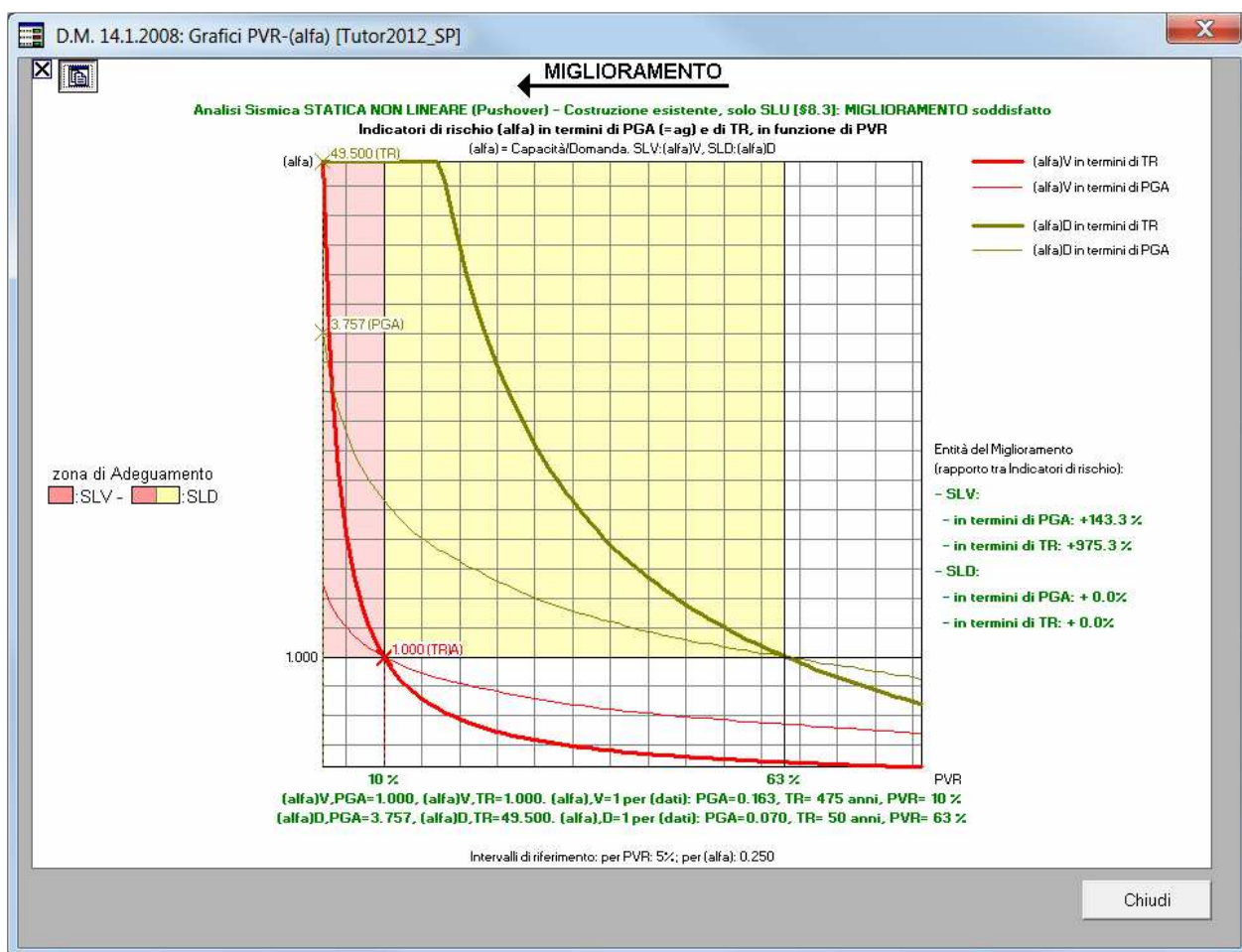


Fig. 2.11.1.

2.12. RELAZIONE DI CALCOLO

Il rapporto riassuntivo riportato al paragrafo precedente può costituire il nucleo di una relazione di calcolo che sinteticamente illustri e dimostri il miglioramento e/o adeguamento raggiunto. PC.E consente di comporre per ogni tipo di analisi dati e risultati in fascicoli di calcoli completi di descrizioni, secondo varie opzioni.

E' possibile inserire in relazione tutte le immagini desiderate: è sufficiente selezionare una delle finestre grafiche di PC.E, digitare CTRL + C (Copia), andare nel file *rtf* o *doc* della relazione, e digitare CTRL + V (Incolla).

Per generare la relazione si utilizza il comando di stampa, selezionando le analisi che ci interessano. In particolare il check 'Descrizioni' permette di ottenere descrizioni complete dei parametri strutturali e dei riferimenti normativi. La stampa di alcune parti della relazione, oltre che al termine del lavoro di progettazione, è molto utile anche nelle fasi intermedie per il controllo della modellazione e dei risultati.

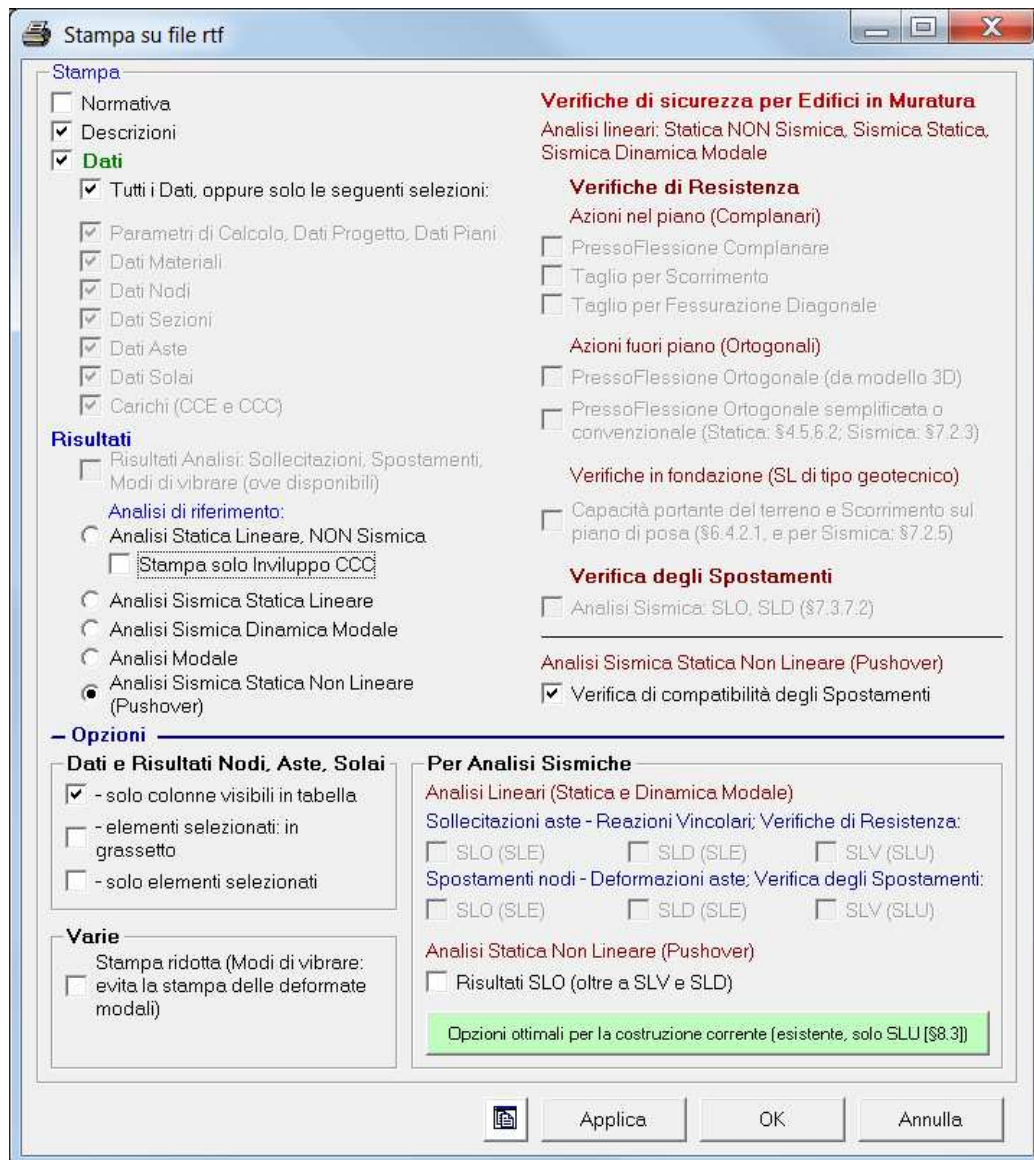


Fig. 2.12.1.

A seconda del tipo di costruzione il pulsante di comando in colore verde: "Opzioni ottimali per la costruzione corrente" permette di selezionare automaticamente i check relativi agli stati limite strettamente richiesti dalla Normativa.