



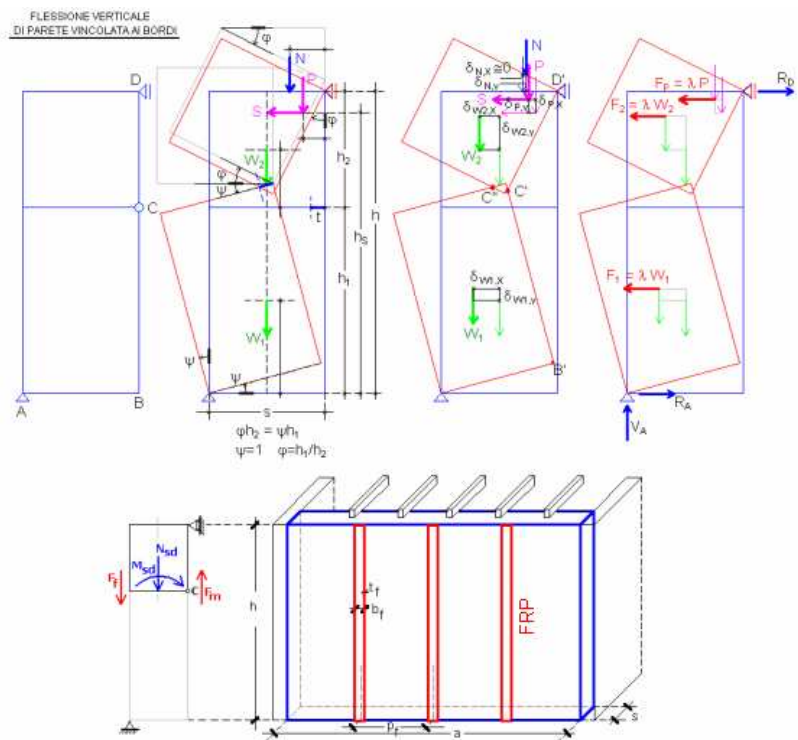
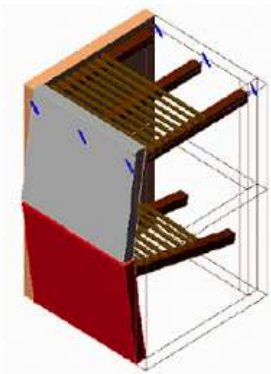
 **PC.M: PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI IN MMURATURA**

 **PC.E: PROGRAMMA PER IL CALCOLO AGLI EELEMENTI FINITI**

 Modulo **ESP:**
ELEMENTI STRUTTURALI PREDEFINITI

Analisi Cinematica (Meccanismi di Collasso)

conforme alla **nuova Normativa Tecnica** (D.M. 14.1.2008)



Manuale completo (vers. 2012)

TEORIA (SINTESI) - MANUALE D'USO - ESEMPI APPLICATIVI

Manuale di PC.M-PC.E (modulo ESP): Analisi Cinematica (Meccanismi di Collasso)

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.

I^a edizione conforme al D.M. 14.1.2008: giugno 2010

II^a edizione revisionata: aprile 2012



© **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**

Il presente documento è stato prodotto da AEDES Software, con il contributo delle seguenti collaborazioni:

Ing. Francesco Pugi,

Autore dei programmi PC.M e PC.E, per gli approfondimenti teorici, il coordinamento generale, la revisione e l'ampliamento dei contenuti per l'edizione 2012

Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara,

per i paragrafi riguardanti i Cinematismi di collasso fuori dal piano in edifici in muratura a N piani (ricerca in convenzione con AEDES)

Ing. Stefano Giannarelli,

per i test di validazione del software e la collaborazione alla riorganizzazione dei contenuti per la I^a edizione.

Le immagini a sinistra nell'illustrazione in copertina sono tratte dai riferimenti bibliografici, ed in particolare da: A. Benedetti: Rinforzo di strutture murarie, da: Seminario di studio sul documento CNR-DT 200/2004: Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati, Università Federico II, Napoli, giugno 2005.

Gli schemi statici sono tratti dalla documentazione di ESP © AEDES Software.

AVVERTENZE E CONDIZIONI D'USO

La AEDES Software si riserva il diritto di apportare miglioramenti o modifiche al programma PC.M-PC.E (modulo ESP), 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.M-PC.E (modulo ESP) è di esclusiva proprietà della AEDES e viene concesso in uso non esclusivo secondo i termini e le condizioni riportati nel contratto di licenza d'uso. L'utente non avrà diritto ad utilizzare PC.M-PC.E (modulo ESP) fino a quando non avrà sottoscritto la suddetta licenza d'uso.

L'utente è responsabile della scelta di PC.M-PC.E (modulo ESP) al fine del raggiungimento dei risultati voluti, nonché dell'installazione, dell'uso dello stesso e dei relativi risultati.

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

I nomi dei prodotti citati nella documentazione di PC.M-PC.E (modulo ESP) possono essere marchi di fabbrica o marchi registrati dalle rispettive Società.

INDICE

A. LA TEORIA 5

A.1. INTRODUZIONE 5

A.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO 6

A.3. METODOLOGIA DI ANALISI 7

A.3.1. ACCELERAZIONE DI ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO 8

A.3.2. CAPACITA' IN TERMINI DI ACCELERAZIONE. GLI INDICATORI DI RISCHIO 10

B. MANUALE D'USO 14

B.1. INTRODUZIONE 14

B.1.1. COLLEGAMENTO PC.E-ESP 14

B.1.2. AMBIENTE DI LAVORO 21

B.1.3. TERMINOLOGIA 23

B.2. COMANDI COMUNI 24

B.2.1. BARRA DEGLI STRUMENTI 24

B.3. FINESTRA DATI 25

B.3.1. ELEMENTI PREDEFINITI: MECCANISMI DISPONIBILI 26

B.3.2. DATI IN INPUT 45

B.3.3. BARRA DEGLI STRUMENTI 46

B.3.4. Menu FILE 47

B.3.5. Menu ESEGUI 48

B.3.6. Menu OPZIONI 50

B.4. FINESTRA RISULTATI 52

B.4.1. BARRA DEGLI STRUMENTI 53

B.5. FINESTRE GRAFICHE 54

B.5.1. BARRE DEGLI STRUMENTI 55

B.6. FINESTRA GRAFICI 57

B.6.1. BARRA DEGLI STRUMENTI SUPERIORE 57

B.6.2. BARRA DEGLI STRUMENTI LATERALE 58

B.6.3. Menu OPZIONI 59

B.7. SUGGERIMENTI E COMPLEMENTI 60

B.7.1. COME FARE PER... 60

B.7.1.1. SALVARE UNA SCHERMATA 60

B.7.1.2. CREARE UNA RELAZIONE DI CALCOLO 60

B.7.1.3. GENERARE I GRAFICI DATO-RISULTATI 60

B.7.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA' 61

B.7.2.1. FINESTRE SOVRAPPOSTE 61

B.7.2.2. IMPOSSIBILE INSTALLARE ESP IN ALTRE DIRECTORY 61

B.7.2.3. IMPOSSIBILE APRIRE PIÙ ISTANZE DI ESP 61

C. ESEMPI APPLICATIVI e PROCEDURE DI VALIDAZIONE 62

C.1. INTRODUZIONE 62

C.2. Esempio 1: RIBALTAMENTO DI PARETE BIPIANO:

Test di validazione per l'applicazione del D.M.14.1.2008 63

C.3. Esempio 2: RIBALTAMENTO DI PARETE BIPIANO 76

C.4. Esempio 3: FLESSIONE VERTICALE DI PARETE VINCOLATA AI BORDI 82

C.5. Esempio 4: FLESSIONE ORIZZONTALE DI MURATURA CONFINATA 87

C.6. CINEMATISMI DI COLLASSO FUORI DAL PIANO PER PARETI A N PIANI 92

C.6.1. Esempio 5: PARETE A 2 PIANI (test di validazione) 94

C.6.2. Esempio 6: PARETE A 4 PIANI (esempio progettuale) 100

C.7. Esempio 7: ANALISI DI CHIESA AD UNA NAVATA 111

C.7.1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA 112

C.7.2. RIBALTAMENTO DELLE PARETI LONGITUDINALI 117

C.7.3. RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE 120

C.8. Esempio 8: RIBALTAMENTO DI CANTONALE

Test di validazione 125

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). 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 applicativa del D.M.14.1.2008.

I riferimenti ai paragrafi del presente Manuale d'uso sono invece preceduti dal simbolo p.:

Ulteriori informazioni in p.3.2.3

Per i riferimenti bibliografici, si utilizzano le parentesi quadre con sigla identificativa dell'opera:

[4] significa il riferimento bibliografico 4.

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:

DPCM 9.2.2011 indica la Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M.

14.1.2008; il riferimento ad un paragrafo è indicato facendo seguire alla sigla della norma il numero del paragrafo preceduto dal simbolo §. Ad esempio:

DPCM 9.2.2011 §2.4

indica il paragrafo 2.4 della Direttiva PCM 9.2.2011.



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.

A. LA TEORIA

A.1. INTRODUZIONE

L'Analisi 'Cinematica' (o 'dei Meccanismi di Collasso') è fondamentale per lo studio del comportamento sismico degli edifici in muratura esistenti; attraverso il calcolo dei moltiplicatori di collasso è possibile stimare la capacità antisismica dei singoli elementi strutturali e determinare l'eventuale necessità di consolidamento.

Con l'ipotesi di corpo rigido, viene studiata la stabilità sotto le azioni ribaltanti di origine sismica (e talvolta statica, ad esempio le spinte dalle volte e dalle coperture) contrastate dalle azioni stabilizzanti dovute ai carichi verticali ed ai presidi quali catene, tiranti, fasciature in fibre. Sono ignorati i parametri di elasticità e di resistenza; è comunque possibile considerare ad esempio la resistenza a compressione della muratura, al fine di stimare in modo più accurato la modalità di formazione della cerniera alla base della parete soggetta a ribaltamento.

Questi presupposti rendono univoci i risultati di quest'analisi, in quanto essa non è affetta dalle incertezze che gravano sui parametri di resistenza e di elasticità attribuibili alle murature.

Lo studio dei meccanismi di collasso rientra quindi nella più generale applicazione dei concetti di Statica Grafica per lo studio dell'equilibrio dei solidi murari. Seguendo il criterio fondamentale di Heyman, infatti, la capacità sismica delle strutture murarie di fatto non dipende dalla resistenza a compressione della muratura e neppure dalle presunte proprietà elastiche: la stabilità è assicurata da curve delle pressioni interne alla sagoma geometrica delle strutture; ove queste fuoriescono si formano cerniere di rotazione locale. Quando l'intensità dell'azione stabilizzante (ad es. di origine sismica) aumenta, e le cerniere che si formano sono in numero sufficiente a produrre un cinematismo (o meccanismo), si raggiunge il massimo valore sostenibile per l'azione instabilizzante stessa.

L'analisi cinematica, poiché verifica la stabilità della struttura nei confronti della formazione dei meccanismi locali di collasso, deve precedere ogni analisi globale che preveda un comportamento scatolare o comunque una collaborazione d'insieme di pareti murarie (p.es. in un paramento verticale): l'analisi pushover, il metodo Por, le analisi lineari, in generale: qualunque analisi 3D o 2D che interpreti un comportamento statico collaborativo di un gruppo di pareti murarie, acquista significato solo se le singole parti sono in sé stabili. Diversamente, l'evento sismico potrebbe manifestare crolli rigidi anche in edifici teoricamente soddisfatti dal punto di vista globale: qui risiede la critica da farsi ai casi in cui è stato applicato in passato il metodo Por senza una preventiva analisi dei meccanismi di corpo rigido.

Questi concetti, noti agli studiosi già da molto tempo [vd. riferimenti bibliografici nel p.A.2], sono stati accolti dalla Normativa Italiana:

- in prima istanza nei regolamenti di ricostruzione per il terremoto Umbria-Marche (Legge 61/98, in linea con il D.M. 16.1.1996);
- successivamente, con validità estesa all'intero territorio nazionale, nella revisione 2005 dell'OPCM 3274 (OPCM 3431/2005, nell'Allegato 11.C), che è rimasta il punto di riferimento anche per l'applicazione delle nuove norme tecniche di cui al D.M. 14.9.2005;
- infine, in modo definitivo, nel D.M. 14.1.2008, e più esattamente nella Circolare ad esso relativa (§C8.A.4), dove i contenuti introdotti con l'OPCM 3431/2005 sono stati ulteriormente sviluppati ed armonizzati con le nuove modalità di definizione dell'azione sismica.

Nel corso degli ultimi anni, alcune normative locali, (es.: Regione Umbria 1998, Regione Molise 2006) per l'attuazione degli interventi sugli edifici a seguito dei noti eventi sismici, hanno previsto la compilazione di schede apposite dove riportare i coefficienti sismici o le accelerazioni al suolo sostenibili, ricavati - oltre che dalle analisi complessive degli edifici - anche dall'analisi dei cinematismi; queste schede sono state riferite al testo normativo in vigore al momento dell'emanazione di tali provvedimenti (il D.M. 16.1.1996, piuttosto che l'OPCM 3431/2005 ed il D.M. 14.9.2005); le più recenti indicazioni in tal senso (terremoto dell'Abruzzo del 2009) fanno riferimento al D.M. 14.1.2008.

Alla data di redazione di questo Manuale, la situazione, molto articolata, ha trovato un assetto 'definitivo' nel D.M. 14.1.2008; tutti gli esempi sviluppati in questo Manuale fanno riferimento al D.M. 14.1.2008. Per l'applicazione di norme attualmente superate (D.M. 16.1.1996, OPCM 3431/2005 e D.M. 14.9.2005), si rinvia alle edizioni precedenti della manualistica AEDES.

A.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Oltre alla normativa di riferimento, nazionale (cfr. in particolare: Circolare n.617, 2.2.2009 §C8.A.4) e regionale, i principali riferimenti bibliografici per lo studio dei meccanismi di collasso in edifici in muratura sono i seguenti:

[1] A. Giuffrè: Letture sulla meccanica delle murature storiche, Roma, 1990.

[2] C. Baggio: Il comportamento sismico delle murature storiche, in: "Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia", a cura di A. Giuffrè, Laterza.

[3] "Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia", a cura di A. Giuffrè, Laterza.

[4] A. Borri, A. Avorio, G.Cangi: Riparazione e consolidamento degli edifici in muratura. Cinematismi di collasso e soluzioni progettuali, in: Regione Umbria: "Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici", a cura di Francesco Gurrieri, DEI srl - Tipografia del Genio Civile, Roma, 1999.

[5] Regione Toscana, Giunta Regionale: Linee guida per le Verifiche Sismiche, Dipartimento Politiche Territoriali e Ambientali, AREA – Servizio Sismico Regionale, Ottobre 2002.

ESP accede al documento attraverso il comando: menu Normativa, Regione Toscana: Linee guida (2002)

[6] Regione Marche (Servizio Edilizia Pubblica e Ufficio decentrato di Muccia); CNR-ITC Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, sede de L'Aquila; Università degli Studi de L'Aquila, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno: Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di consolidamento e dei relativi costi negli edifici in muratura, 2007.

Il documento è disponibile in Internet al seguente indirizzo:

<http://edilizia.regione.marche.it/web/Edilizia/Notiziario/Repertorio/index.htm>

ESP accede al documento attraverso il comando: menu Normativa, Regione Marche: Repertorio dei meccanismi di danno (2007)

[7] ANIDIS, Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica e SSN, Servizio Sismico Nazionale: Commentario al DM 16.01.1996 e alla Circ. n.55/AA.GG del 10.04.1997 del Ministero LL.PP., AA.VV, a cura di Franco Braga, Lamisco, Potenza 1998.

[8] Dipartimento Protezione Civile - Reluis: Linee guida per la riparazione e il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni, bozza Agosto 2009. Allegati: Schede illustrative dei principali meccanismi di collasso locali negli edifici esistenti in muratura e dei relativi modelli cinematici di analisi (a cura di L. Milano, A. Mannella, C. Morisi, A. Martinelli); Esempio di calcolo su rafforzamento locale di edifici in muratura con tiranti (a cura di G. Bettiol, M. Munari, F. da Porto, L. Milano, C. Modena).

I documenti sono disponibili in Internet ai seguenti indirizzi:

http://www.protezionecivile.it/docs/www.ulpiano11.com/linee_guida_riparazione_e_rafforzamento_bozza_agosto_2009.pdf

http://www.reluis.it/doc/emergenza_terremoto_abruzzo/Esempio_calcolo_tirante.pdf

ESP accede al documento attraverso il comando: menu Normativa, Reluis: schede sui meccanismi di collasso - Esempio di verifica a ribaltamento - Linee guida per Riparazione e Rafforzamento

*Sugli interventi di consolidamento con utilizzo di **FRP**, tecnica di notevole interesse anche per il miglioramento antisismico delle strutture in muratura nei confronti dei meccanismi di collasso di corpo rigido, segnaliamo i seguenti lavori:*

[9] Linee guida per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP, Documento approvato il 24 luglio 2009 dall'assemblea Generale Consiglio Superiore LL.PP.

[10] AICO, Associazione Italiana Compositi: Meccanica delle strutture in muratura rinforzate con FRP-materials: modellazione, sperimentazione, progetto, controllo. Atti del 2° Convegno Nazionale, coordinato da Angelo di Tommaso, a cura di Laura Ceriolo e Valeria Zerbo, Libreria Internazionale Cortina, Padova, 2004.

[11] A. Benedetti: Rinforzo di strutture murarie, da: Seminario di studio sul documento CNR-DT 200/2004: Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati, Università Federico II, Napoli, giugno 2005.

A.3. METODOLOGIA DI ANALISI

Negli edifici esistenti in muratura, come hanno dimostrato anche gli eventi sismici più recenti, i collassi più frequenti sono determinati dalla formazione di cinematismi: porzioni murarie di dimensioni rilevanti si distaccano dalle strutture e ruotano come corpi rigidi; è tipico il ribaltamento delle parti superiori delle facciate verso l'esterno.

Durante la sollecitazione sismica, le azioni di tipo stabilizzante (pesi propri e carichi verticali dai solai) si oppongono alle instabilizzanti (azioni orizzontali di tipo sismico, proporzionali alle masse, cioè ai pesi). Quando a causa del sisma le azioni instabilizzanti superano un certo valore, si forma il meccanismo di collasso. Pertanto, la sicurezza strutturale può essere indagata studiando i cinematismi che possono formarsi nell'opera muraria e definendo per ognuno di essi il moltiplicatore di collasso, ossia l'entità dell'input sismico che lo attiva generando il ribaltamento.

Al moltiplicatore di collasso è legata l'accelerazione al suolo a_g (cfr. §C8.A.4). Con riferimento ad uno stato limite di interesse (in generale, lo Stato Limite ultimo SLV di salvaguardia della Vita), attraverso le relazioni biunivoche che legano: accelerazione al suolo (o più esattamente: accelerazione di picco su suolo rigido) a_g (\equiv PGA), periodo di ritorno T_R e probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} , determinata una di queste grandezze restano definite le altre. In tal modo, è possibile esprimere un indicatore di rischio (definito dal rapporto tra capacità e domanda) in termini di periodo di ritorno anche per i cinematismi, così come richiesto dai più recenti testi normativi (cfr. Indirizzi per l'esecuzione degli interventi di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3790 del 17.7.2009: Riparazione con miglioramento sismico di edifici danneggiati).

Un'importante ipotesi riguarda la monoliticità delle pareti: ad una muratura che può disgregarsi non si può attribuire la qualifica di corpo rigido. D'altra parte, alcuni Autori [1] hanno notato che la presenza di carico verticale sulla parete, insieme ai collegamenti trasversali (diatoni) conferisce alla parete stessa il comportamento di tipo monolitico. La presenza di giaciture orizzontali, inoltre, assicura la regolarità geometrica nella formazione dei cinematismi.

Di fatto, l'analisi sismica condotta con metodi cinematici fornisce risultati idonei se la tessitura della parete è sufficientemente regolare e con buoni collegamenti trasversali.

In pratica, volendo definire un ordine secondo cui le strutture di un fabbricato in muratura devono essere analizzate, è possibile identificare tre stadi progressivi.

I) Se la **muratura è disgregata**, caotica e con malta di scarsa qualità, è impossibile il comportamento a corpo rigido. Né l'analisi cinematica né (a maggior ragione) le analisi elastiche o ultraelastiche possono identificare un parametro di capacità antisismica. La struttura deve essere consolidata comunque, se non ricostruita: si tratta di uno stato di fatto a capacità teoricamente nulla.

II) La muratura è sufficientemente organizzata in modo da potersi comportare come corpo rigido. L'analisi cinematica studia i **meccanismi locali di collasso** e definisce la capacità antisismica dei singoli elementi strutturali costituenti il complesso del fabbricato (singole pareti, volte, ecc.).

III) Superati i controlli di cui alle due fasi precedenti, il complesso murario mostra un **comportamento scatolare**: a questo punto (e solo a questo punto) può essere adeguatamente studiato con **metodi elasto-plastici**, quali le analisi pushover. Per elasticità si intende una fase deformativa iniziale reversibile; per plasticità una fase successiva caratterizzata da spostamenti permanenti. Il comportamento della muratura non è 'plastico' nel senso tradizionale del termine: la struttura è un solido a geometria variabile con lo stato di sollecitazione. Incrementando l'azione orizzontale, lo scheletro resistente si modifica; si formano cerniere progressive per superamenti locali della scarsa o nulla resistenza a trazione ed infine si giunge ad una labilità (meccanismo di collasso complessivo dell'edificio, che di fatto costituisce lo stadio finale di un'analisi pushover: essa può essere vista come la ricerca, per via statica, del cinematismo d'insieme del fabbricato).

Per l'edificio esistente, l'analisi verrà svolta anzitutto sullo Stato Attuale (Stato di fatto). Gli interventi di miglioramento richiederanno poi il confronto fra lo Stato di Progetto e lo Stato di Attuale, volto a quantificare l'entità del miglioramento conseguito.

Nello Stato Attuale, le verifiche degli stadi II) e III) verranno o meno eseguite a seconda che l'edificio si trovi in sicurezza oppure no nei confronti della cattiva organizzazione muraria. Nello Stato di Progetto, invece, lo stadio I) deve necessariamente essere superato, e le strutture consolidate saranno certamente sottoposte alle verifiche degli stadi II) e III).

Questo manuale si occupa dell'analisi cinematica, adottando, come già osservato, il modello di corpo rigido; il moto della struttura si attiva quando l'input sismico raggiunge un'intensità sufficiente a generare la formazione di un cinematismo.

In particolare, viene trattata l'**analisi cinematica lineare**, che procede secondo i seguenti punti:

1. si sceglie un cinematismo e si descrive nei suoi termini parametrici;
2. si calcola il moltiplicatore di collasso e la corrispondente accelerazione di attivazione del meccanismo;
3. si esegue la verifica di sicurezza secondo NTC08, confrontando l'accelerazione al suolo che attiva il cinematismo con l'accelerazione sismica relativa al sito della costruzione (in termini di PGA; equivalentemente, il confronto può essere condotto in termini di T_R fra capacità e domanda); la verifica viene condotta allo stato limite ultimo (§C8A.4.2.3 consente la trascurabilità della verifica a stato limite di danno, che in effetti non appare significativo per strutture studiate con i metodi di analisi limite, metodi cioè tipici della rottura).

Nella norma NTC08 è proposta in alternativa l'analisi cinematica non lineare, che procede descrivendo l'andamento della funzione forza-spostamento fino al valore ultimo dello spostamento stesso (in corrispondenza del quale le azioni stabilizzanti divengono ribaltanti), assumendo in generale che il cinematismo resti invariato durante il moto. Viene così costruita una 'curva di capacità' con la quale si effettuano le verifiche di sicurezza, analogamente ai metodi dell'analisi statica non lineare.

L'analisi cinematica non lineare presenta finora un esiguo numero di applicazioni, e la sua trattazione nei testi di riferimento è scarsa. Alla data di redazione del presente manuale, AEDES ha quindi preferito orientare il software in modo specifico verso l'analisi cinematica lineare, la cui metodologia operativa è di immediata comprensione e consolidata da tempo.

A.3.1. ACCELERAZIONE DI ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO

Nel seguito, si descrive l'impostazione tipica di un problema di analisi cinematica lineare; per fissare le idee, viene fatto riferimento al **ribaltamento di una parete monopiano**.

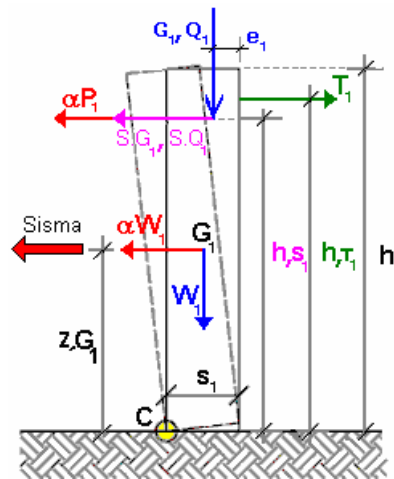


Fig. A.3.1. Ribaltamento di parete monopiano

Seguendo NTC08 (§3.2.4), i carichi da considerare in fase sismica sono i seguenti:

- Carico statico da solaio: $P_{,1} = G_{,1} + \psi_{,21} * Q_{,1}$;

- Spinta totale esercitata dal solaio (ad esempio, proveniente da una struttura voltata):
 $S_{,tot} = SG_{,1} + \psi_{,21} * SQ_{,1}$,

dove $\psi_{,21}$ = coeff. di combinazione quasi permanente $\psi_{,2}$ per $Q_{,1}$ (§2.5.3).

La parete è stabilizzata dal tirante capace di esercitare il tiro $T_{,1}$.

Il ribaltamento della parete avviene facendo cerniera alla base, sullo spigolo esterno (cerniera C in fig. A.3.1; in tal caso per la posizione del polo di rotazione si suppone resistenza a compressione della muratura infinita. Più avanti sarà illustrata la possibilità di considerare un arretramento della cerniera, assumendo un valore finito per la resistenza a compressione). Il cinematismo viene quindi descritto dalla rotazione φ attorno alla cerniera C.

Si applica il Principio dei Lavori Virtuali (§C8A.4.1):

$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi}$$

che nel caso in esame, diventa:

$$\alpha_o (P,1 \cdot \varphi h,S1 + W,1 \cdot \varphi z,G1) + (S,tot \cdot \varphi h,S1) - [P,1 \cdot \varphi (s,1 - e,1) + W,1 \cdot \varphi s,1/2 + T,1 \cdot \varphi h,T1] = 0$$

Semplificando in φ e con le seguenti posizioni la formula può essere riscritta in un modo valido nella generalità dei casi:

$$\alpha_o \cdot \text{MomRib}_1 + \text{MomRib}_2 - \text{MomStab} = 0$$

dove:

- **MomRib₁** = $(P,1 \cdot h,S1 + W,1 \cdot z,G1)$ è il coefficiente moltiplicativo di α_o ;

- **MomRib₂** = $S,tot \cdot h,S1$ è la parte del momento ribaltante dovuta alla spinta orizzontale, indipendente da α_o ;

- **MomStab** = $[P,1 \cdot (s,1 - e,1) + W,1 \cdot s,1/2 + T,1 \cdot h,T1]$ è il momento stabilizzante.

Il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_o = (\text{MomStab} - \text{MomRib}_2) / \text{MomRib}_1 = \{ [P,1 \cdot (s,1 - e,1) + W,1 \cdot s,1/2 + T,1 \cdot h,T1] - (S,tot \cdot h,S1) \} / (P,1 \cdot h,S1 + W,1 \cdot z,G1)$$

Calcolato il moltiplicatore di collasso α_o , si deve valutare il valore della massa partecipante al cinemismo, espressa da (§C8A.4.2.2):

$$M^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i} \right)^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}$$

che nel caso in esame diventa:

$$M^* = (P,1 \cdot \varphi h,S1 + W,1 \cdot \varphi Z,G1)^2 / g [(P,1 \cdot (\varphi h,S1)^2 + W,1 \cdot (\varphi Z,G1)^2]$$

L' **accelerazione di attivazione** del meccanismo (o accelerazione sismica spettrale) è espressa da (§C8A.4.4):

$$a_0^* = \frac{\alpha_o \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* FC} = \frac{\alpha_o g}{e^* FC}$$

dove:

g è l'accelerazione di gravità;

$e^* = gM^* / \sum_{i=1}^{n+m} P_i$ è la frazione di massa partecipante della struttura.

Per l'esempio considerato:

$$e^* = gM^* / (P,1 + W,1).$$

FC è il fattore di confidenza; in questo caso, dove si prescinde dalla resistenza a compressione della muratura, FC deve essere comunque quello relativo al livello di conoscenza LC1:


FC = 1.35 (§C8A.1.A.4 - §C8A.4.2.2).

Fino a questo punto non è stato utilizzato alcun dato sismico relativo al sito di ubicazione della struttura: il calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo non dipende dai dati sismici, ma soltanto dalla geometria e dai carichi applicati.

A.3.2. CAPACITA' IN TERMINI DI ACCELERAZIONE. GLI INDICATORI DI RISCHIO

Per considerare l'entità del sisma nel sito in esame, si deve fissare il periodo di riferimento per l'azione sismica **VR**. Ad ogni località geografica individuata tramite le proprie coordinate poi sono univocamente collegate (con riferimento allo stato limite SLV):

- la Probabilità dell'evento sismico: **PVR,DLV** (%) (l'indice D indica la domanda, cioè la richiesta sismica secondo Normativa; DLV è la domanda per SLV);
- la domanda in termini di Periodo di ritorno: **TR,DLV** = $-V, R / (1 - \ln(1 - PVR))$
- la domanda in termini di accelerazione al suolo: **PGA,DLV** ($\equiv a_g$ corrispondente a SLV).

 **Importante!** Dal punto di vista operativo del software AEDES, la procedura per ricavare tali valori tramite le coordinate del sito è implementata in PC.E (a cui ESP è collegato). Per utilizzare in ambiente ESP i dati corretti, sarà stato precedentemente preparato un file PC.E (ad es.: *Prova.pce*) in cui nei Parametri di Calcolo, scheda Sismica (1) (cfr. fig. A.3.2), si saranno indicate le coordinate geografiche del sito in questione; richiamando l'ambiente ESP sarà automaticamente predisposto un file avente identica denominazione, ovviamente con diversa estensione (*Prova.esp*). In tal modo si realizza la connessione fra ESP ed i dati sismici in PC.E. Maggiori dettagli sono illustrati nei paragrafi della sezione B. (Manuale d'uso). ■

Come già osservato, si fa riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). L'analisi cinematica infatti si presenta come analisi al collasso e le NTC08 esplicitano che, per gli edifici esistenti, è possibile studiare solo lo stato limite ultimo (§C8A.4.2.3.)

L'accelerazione **a₀*** di attivazione del cinematismo deve essere confrontata con quella richiesta nello Stato Limite di salvaguardia della vita SLV: **a***.

a* deve essere calcolata in due possibili modi, considerando poi come valore di progetto quello massimo fra i due:
1) considerando il corpo rigido vincolato direttamente al terreno o con un corpo rigidamente collegato ad esso (**a*,Rig**);

2) considerando il corpo rigido in questione collegato al terreno tramite corpi deformabili (**a*,Def**).

Pertanto:

$$\mathbf{a^*} = \max \{(\mathbf{a^*},\text{Rig}); (\mathbf{a^*},\text{Def})\}$$

dove:

a*,Rig è l'accelerazione spettrale richiesta allo stato limite SLV su sottostante corpo rigido:

$$\mathbf{a^*},\text{Rig} = a_g(P_{VR}) S / q$$

formulazione che si ricava immediatamente dallo spettro di progetto a SLV ponendo $T=0$ (§3.2.3.2.1, formule (3.2.4)). In pratica, $[a_g(P_{VR}) \cdot S]$ è l'accelerazione al suolo che tiene conto delle caratteristiche del sito; la divisione per q è relativa allo spettro allo stato limite ultimo (§3.2.3.5).

a*,Def è l'accelerazione spettrale richiesta allo stato limite SLV su sottostante corpo deformabile:

$$\mathbf{a^*},\text{Def} = S_e(T_1) \psi(Z) \gamma / q$$

dove:

T_1 = periodo fondamentale di vibrazione dell'intera costruzione nella direzione considerata. Se non noto da analisi dinamica applicata alla struttura nel suo complesso, può essere calcolato in via semplificata tramite la relazione (7.3.5) (§7.3.3.2):

$T_1 = 0.05 H^{0.75}$ (§ 7.3.5.), dove H è l'altezza totale dell'edificio.

$S_e(T_1)$ = spettro elastico definito in §3.2.3.2.1 corrispondente a SLV; $S_e(T_1)$ è ovviamente proporzionale ad a_g in input per SLV;

$\psi(Z)$ = primo modo di vibrazione nella direzione considerata, posto pari a Z/H , essendo H l'altezza di tutto la costruzione rispetto alla fondazione (cioè l'altezza totale dell'edificio cui il corpo considerato appartiene), e Z la quota del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura (per la parete dell'esempio, è la quota di base della parete stessa);

γ = coefficiente di partecipazione modale, calcolabile in via semplificata con la relazione:

$\gamma = 3N/(2N+1)$ con N numero di piani della costruzione.

Questa relazione può essere sostituita da un'espressione più corretta qualora siano note le masse agenti alle diverse quote, ad esempio nel caso delle pareti multipiano:

$$\gamma = H * \Sigma(m_i * Z_i) / \Sigma(m_i * Z_i^2)$$

Per comprendere l'origine di queste formulazioni, si consulti la seguente nota di approfondimento.

Per il coefficiente di partecipazione γ , in alternativa alle formulazioni semplificate, è possibile inserire direttamente il valore noto da analisi complessive della struttura (p.es. dall'analisi dinamica di un edificio, precedentemente eseguita in PC.E, di cui si valutano in ESP i ribaltamenti di alcune pareti).

Nota di approfondimento

Quando si esamina il comportamento sismico di una struttura posta a una quota sovrastante altre strutture (nel seguito: struttura in elevazione), è necessario tener conto del fatto che **l'accelerazione assoluta alla base della struttura in elevazione è in genere amplificata rispetto a quella al suolo**.

La procedura illustrata in §C8.A.4.2.3, che fa riferimento ai cinematismi per corpi rigidi, nell'ambito dell'analisi dei meccanismi di collasso delle strutture murarie, descrive la **modalità di definizione dell'amplificazione dell'accelerazione assoluta alla quota di base della struttura in elevazione**.

Quando si eseguono valutazioni di questo tipo, generalmente sono assenti i parametri dinamici relativi all'intera struttura, comprensiva sia della struttura in elevazione sia delle strutture ad essa sottostanti.

Infatti, queste valutazioni si svolgono per elementi isolati (i macroelementi cinematici).

Anzitutto, un breve cenno alla formulazione delle **forze modali** (dalla teoria della dinamica delle strutture), facendo riferimento ad un edificio composto da N piani.

Con riferimento ad uno specifico modo di vibrare, avente periodo T (=definito dall'autovalore del modo), sia:

a_i = componente del corrispondente autovettore relativa al piano i -esimo.

La forza modale a tale piano è espressa da: $F_i = m_i a_i \gamma S_a$

dove: m_i = massa competente al piano; S_a = spettro di risposta in termini di accelerazione competente al periodo T ; γ = coefficiente di partecipazione modale, definito da:

$$\gamma = \Sigma(m_i a_i) / \Sigma(m_i a_i^2)$$

Come noto, le componenti dell'autovettore sono definite a meno di una costante; il valore della forza modale è in ogni caso invariato. Si può scegliere ad esempio di effettuare la normalizzazione ad 1 della componente di sommità ($a_N = 1$).

In analisi dinamica modale, le forze dinamiche agenti sulle strutture derivano dalla composizione delle forze competenti a più modi di vibrare.

Ai fini della **stima** del comportamento dinamico di una struttura, **in via semplificata** si fa riferimento al solo modo principale di vibrazione e ad una deformata modale lineare, evitando così la necessità del calcolo di autovalori e autovettori. Si faccia riferimento alla fig. A.3.2.

Considerando masse di piano m_i e altezze di interpiano distinte tra loro, la formulazione del coefficiente di partecipazione diviene (fig. (b)):

$$\gamma = \Sigma [m_i (h_i / h_N)] / \Sigma [m_i (h_i / h_N)^2] = h_N * \Sigma(m_i h_i) / \Sigma(m_i h_i^2)$$

Esprimendo l'altezza complessiva della struttura h_N con H , e la quota dei singoli piani h_i con Z_i , si ottiene l'espressione cercata:

$$\gamma = H * \Sigma(m_i * Z_i) / \Sigma (m_i * Z_i^2)$$

che può essere estesa in generale a un sistema di masse m_i poste alle quote Z_i .

In configurazioni diverse dallo schema a piani tipico degli edifici, quali ad esempio le strutture monumentali, la definizione delle singole masse ed altezze può essere problematica, e comunque può in generale interessare una formulazione ancora più semplice del coefficiente di partecipazione.

Ipotizzando masse di piano ed altezze di interpiano tutte uguali, γ resta così definito:

$$\gamma = \Sigma (i / N) / \Sigma [(i / N)^2] = N * \Sigma (i) / \Sigma (i^2)$$

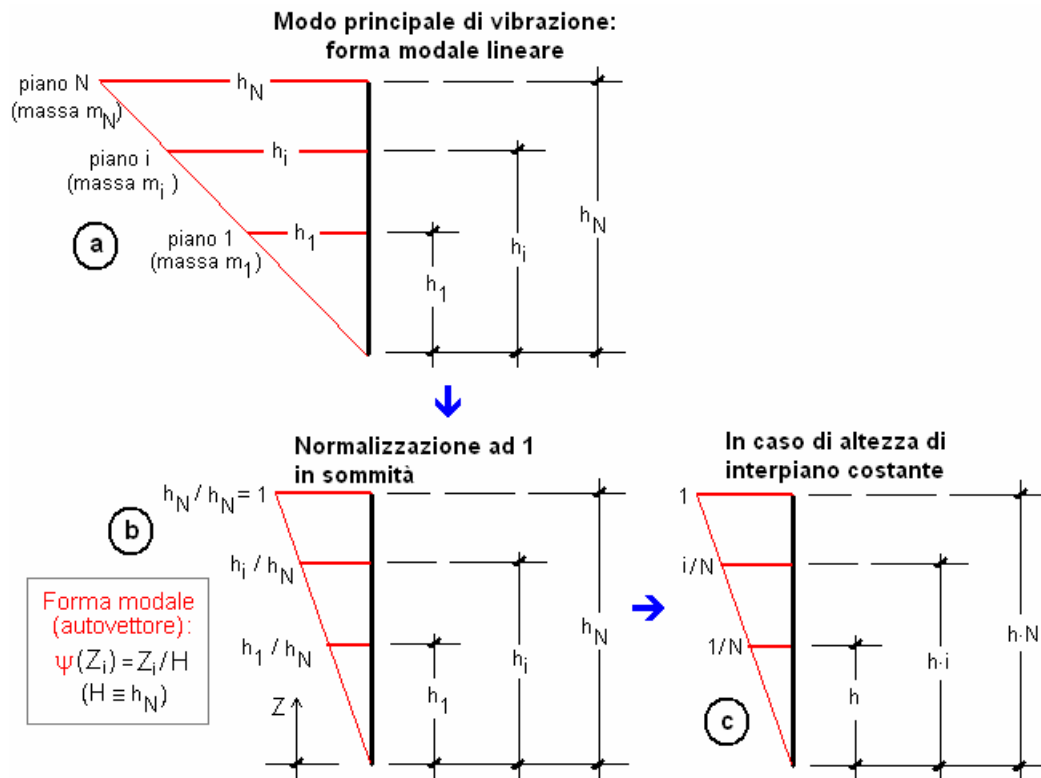
e osservando che:

$$\Sigma (i) = N * (N+1) / 2$$

$$\Sigma (i^2) = (N / 6) * (N+1) * (2N+1)$$

si ottiene:

$$\gamma = 3N / (2N + 1), \text{ formulazione semplificata proposta in §C8A.4.2.3.}$$



Facendo ancora riferimento alla tipologia 'edificio', e alla formulazione della forza modale agente in corrispondenza del piano i-esimo (cioè sull'impalcato posto alla quota $Z_i=h_i$), essa è quindi data da:

$$F_i = m_i a_i \gamma S_a = m_i \psi(Z_i) \gamma S_a$$

e quindi, poiché si tratta di una forza d'inerzia, l'accelerazione assoluta agente sopra al piano i-esimo (cioè sul suo impalcato, e quindi alla base del piano sovrastante) è data da:

$$a_g' = \psi(Z_i) \gamma S_a = \psi(Z_i) \gamma S_e(T_1)$$

avendo indicato lo spettro in termini di accelerazione con lo spettro elastico $S_e(T_1)$, essendo T_1 il periodo principale della struttura nel suo complesso; il simbolo T_1 lo fa distinguere dal periodo T del singolo interpiano.

Per analogia, è quindi chiara la formulazione espressa per il meccanismo:

$$a^*, \text{Def} = S_e(T_1) \psi(Z) \gamma / q \quad \blacksquare$$

Nell'espressione di a^* :

$$a^* = \max \{ (a^*, \text{Rig}); (a^*, \text{Def}) \}$$

con:

$$a^*, \text{Rig} = a_g(P_{VR}) S / q$$

$$a^*, \text{Def} = S_e(T_1) \psi(Z) \gamma / q$$

dove $S_e(T_1)$ contiene il termine in $a_g(P_{VR})$,

è direttamente identificabile la componente $a_g(P_{VR})$ (si tenga sempre presente che a_g è sinonimo di PGA). E' quindi immediatamente comprensibile come, **uguagliando l'accelerazione di attivazione del meccanismo a_0^***

all'espressione dell'accelerazione richiesta a^* , resti determinato **univocamente un valore di a_g** : è questa la **capacità in termini di accelerazione dell'elemento strutturale nei confronti del cinematismo**: PGA, CLV (C = capacità, LV = allo stato limite SLV). Un valore maggiore dell'accelerazione al suolo, quindi, innesca il meccanismo di collasso.

L'equazione $a_0^* = a^*$ che fornisce PGA, CLV è di tipo non lineare. Infatti, sia a_g sia i parametri di spettro F_0 e T_C^* sono tabulati in funzione del periodo di ritorno, nel reticolo sismico fornito dal D.M. 14.1.2008. Da essi dipendono inoltre i valori dei parametri S , T_C , T_B , T_D .

Pertanto, **l'unico modo esatto con cui procedere per determinare PGA, CLV è seguire una procedura iterativa**, fondata sul periodo di ritorno. Applicando il metodo di bisezione, ad ogni passo T_R viene fatto variare fra i valori ammissibili, compresi fra 30 e 2475 anni; a T_R corrispondono univocamente i valori degli altri parametri, e si controlla se l'equazione $a_0^* = a^*$ è soddisfatta: quando ciò accade, la a_g corrispondente è la PGA, CLV cercata. A **PGA, CLV** corrispondono il periodo di ritorno TR, CLV e la probabilità PVR, CLV .

La capacità **PGA,CLV** viene confrontata con l'accelerazione in input sismica al suolo relativa al sito in esame PGA,DLV, definendo il coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo, denominato 'Indicatore di Rischio Sismico' IRS in termini di PGA:

$$\text{IRS}_{\text{PGA}} = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV}$$

Si osservi che a questo punto è possibile definire l'Indicatore di Rischio anche in termini di TR (IRS_{TR}) come rapporto tra TR,CLV e TR,DLV. Poiché il legame tra TR e PGA, pur biunivoco, non è lineare, il valore di IRS_{TR} non coincide col valore di IRS_{PGA} (però sono entrambi >1 o <1 , e quando uno dei due IRS vale esattamente 1.000, anche l'altro vale 1.000). ESP fornisce direttamente i valori sia di IRS_{PGA} sia di IRS_{TR} ; gli indicatori di rischio vengono anche archiviati su file e resi così disponibili a PC.E ai fini della compilazione delle schede relative agli interventi di miglioramento o di adeguamento (p.es. nel rispetto di quanto richiesto da OPCM 3790/2009).



Nota bene

1. Intervallo 30-2475 anni per TR. Il D.M. 14.1.2008 definisce un periodo di ritorno compreso tra 30 e 2475 anni. Non essendo disponibili dati fuori da tale intervallo, nel calcolo i periodi di ritorno inferiori a 30 anni sono posti pari a 30 e quelli superiori a 2475 pari a 2475. In alcuni casi, è quindi possibile che, per lo stesso elemento strutturale, pur operando variazioni ai dati, i risultati finali in termini di TR, PGA e PVR non subiscano variazioni.

2. Definizione di PGA: accelerazione di picco al suolo. PGA può essere intesa come accelerazione di picco al suolo su roccia (o: su suolo rigido), oppure come accelerazione di picco al suolo tenendo conto degli effetti di sito. La scelta di questa opzione determina il valore di PGA,DLV e PGA,CLV: nel caso si tenga conto degli effetti di sito, la PGA su roccia viene moltiplicata per il fattore di suolo S (§3.2.3.2.1), pari al prodotto di S,S (coefficiente di amplificazione stratigrafica) per S,T (coefficiente di amplificazione topografica). Poiché il coefficiente S,S è legato ai parametri di spettro (dipende da a,g e Fo), PGA,CLV conterrà S,S corrispondente al periodo TR,CLV, che in generale sarà distinto dal valore S,S corrispondente alla domanda (a,g in input): pertanto, l'indicatore di rischio IRS_{PGA} può assumere valori leggermente diversi, considerando o meno gli effetti di suolo nella definizione di PGA. Nessuna variazione corrispondente si ha invece per l'indicatore di rischio IRS_{TR} in termini di periodo di ritorno. Nel caso della microzonazione sismica, S,S viene considerato invariato per i diversi stati limite, ossia per i diversi periodi di ritorno: ne consegue che IRS_{PGA} non varia considerando o meno in PGA gli effetti di sito. La scelta dell'opzione su PGA viene effettuata nell'ambito della definizione dei parametri sismici che ESP legge dal file di PC.E cui si riferisce il cinematismo esaminato. ■

B. MANUALE D'USO

B.1. INTRODUZIONE

L'Analisi Cinematica è trattata da un apposito modulo (ESP di PC.E), dove la sigla ESP significa: 'Elementi Strutturali Predefiniti', nel senso di 'schede di calcolo, o fogli di calcolo specializzati'. Tali 'schede' consistono in una serie di cinematismi specifici, utilizzando i quali, in varia combinazione, è possibile condurre l'analisi di un edificio.

Il motore di calcolo ESP ha origine dal software AEDES PC.S (Prontuario Professionale per il Calcolo delle Strutture), applicativo ingegneristico a carattere generale, dove gli elementi strutturali predefiniti consistono in singoli argomenti (p.es. schemi statici predefiniti di travi o telai). Nel caso di ESP tali argomenti corrispondono ai cinematismi.

I fogli di calcolo di ESP differiscono da analoghi oggetti utilizzati in altri ambienti informatici (ad es. Microsoft Excel®) in quanto sono 'specializzati', nel senso che si avvalgono di numerose funzionalità estese appositamente studiate per il software Aedes.

Uno specifico dato può essere espresso in formato variabile, ottenendo tutti i grafici dei risultati in dipendenza della variazione di tale dato.

Per una data struttura locale (parete o insieme di pareti), soggetta a cinematismo ortogonale o complanare, si possono quindi ottenere interessanti informazioni: p.es. il minimo spessore con cui la parete è verificata, oppure la variazione del coefficiente di sicurezza (=indicatore di rischio sismico) in dipendenza del carico applicato in sommità.

La funzione di **interattività** consente l'aggiornamento in tempo reale dei risultati a seguito della variazione di un qualunque dato.

B.1.1. COLLEGAMENTO PC.E-ESP

Il modulo ESP, dedicato all'Analisi Cinematica, è collegato a PC.E, da cui può essere direttamente lanciato. ESP può essere utilizzato per due diversi scopi.

1. La prima modalità di utilizzo di ESP è l'**analisi dei meccanismi di collasso di un edificio di cui sia stata effettuata la modellazione globale**. A tale edificio compete il proprio nome di file (*NomeProgetto*), ed uguale sarà il nome del file predisposto in ESP quando si richiama da PC.E.

Se risulterà già presente in ESP un file *NomeProgetto* precedentemente elaborato, esso verrà direttamente aperto; altrimenti l'apertura di ESP produce l'inizializzazione di un nuovo file denominato *NomeProgetto*.

L'operazione di passaggio all'ambiente ESP produce anche la **generazione automatica dei meccanismi di ribaltamento delle pareti**: più precisamente, per ogni maschio in muratura ordinaria (tipologia "M") che risulti selezionato in PC.E al momento in cui da PC.E si lancia ESP, può essere generato il meccanismo di ribaltamento dell'intero paramento murario cui appartiene e/o il meccanismo di ribaltamento semplice relativo al solo maschio, a seconda delle impostazioni correntemente attive nel menu Esegui della finestra Progetto di PC.E (fig. B.1.1).



Attenzione La generazione automatica dei meccanismi di ribaltamento è un'operazione che **deve essere eseguita laddove ha fisicamente significato**. Generalmente, il ribaltamento viene preso in considerazione per le pareti di prospetto, cioè poste su una facciata dell'edificio.

Il ribaltamento semplice viene normalmente esaminato solo sulle pareti dell'ultimo piano; il ribaltamento del paramento murario riguarda invece tutto il prospetto nel suo insieme, e si articola nell'analisi di tutti i meccanismi determinati dalla formazione della cerniera ad ogni singolo piano. ■

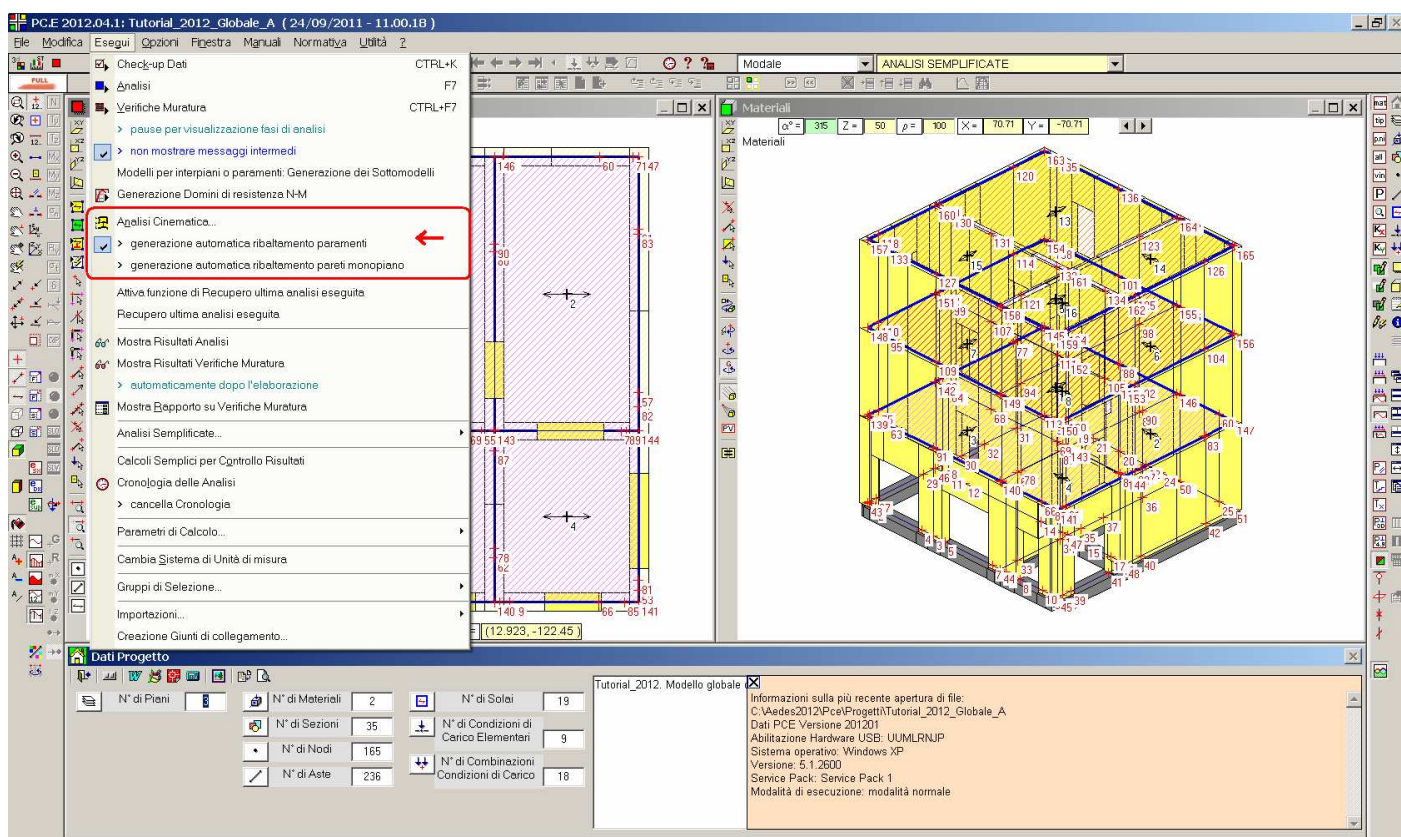


Fig. B.1.1. Opzioni per generazione automatica dei meccanismi di ribaltamento

Se ESP viene lanciato da PC.E senza opzioni attive né sul ribaltamento dei paramenti né sul ribaltamento semplice monopiano, non verranno (ri)generati automaticamente cinematismi (anche se ci sono alcuni maschi selezionati).

Oltre alla geometria, per ogni asta viene impostato - se disponibile - il carico statico corrispondente alla combinazione sismica $G+\psi_2 Q$ e coincidente con lo sforzo normale agenti in sommità.

Tale carico è quindi comprensivo già dei contributi di G e Q , e viene interpretato come permanente (impostando Q nullo e ignorando ψ_2 nei dati del meccanismo cinematico, in quanto il carico è già di per sé pari a $G+\psi_2 Q$). La sua disponibilità dipende dall'aver eseguito un'analisi sismica lineare, statica o dinamica; i risultati dell'analisi dinamica modale hanno la priorità su quelli dell'analisi sismica statica lineare.

Eventuali trazioni in sommità competenti all'analisi effettuata in PC.E vengono annullate ai fini della generazione dei meccanismi: ciò si ritiene coerente con i modelli rigidi dell'analisi cinematica, dove i carichi vengono generalmente applicati alle strutture in base a zone di competenza geometriche e non a reazioni da vincolamento interno di tipo elastico.

Per quanto riguarda i paramenti murari, in fig. B.1.2 sono evidenziate le modalità di assemblaggio dei carichi per la generazione del cinematismo a partire dalle azioni ricavabili da PC.E.

Data l'eterogeneità delle modellazioni in PC.E, opportuni controlli accertano la correttezza dell'assemblaggio delle pareti ai vari piani ai fini della formazione di un reale paramento murario: viene controllata l'eventuale assenza di un piano intermedio, fermo restando che il paramento può comunque iniziare da un piano superiore al piano 1, come avviene nel caso di edifici con piani sfalsati; si controlla inoltre che ad ogni piano sia presente almeno un maschio in muratura ordinaria. In caso di incongruenze, il meccanismo del paramento non viene generato.

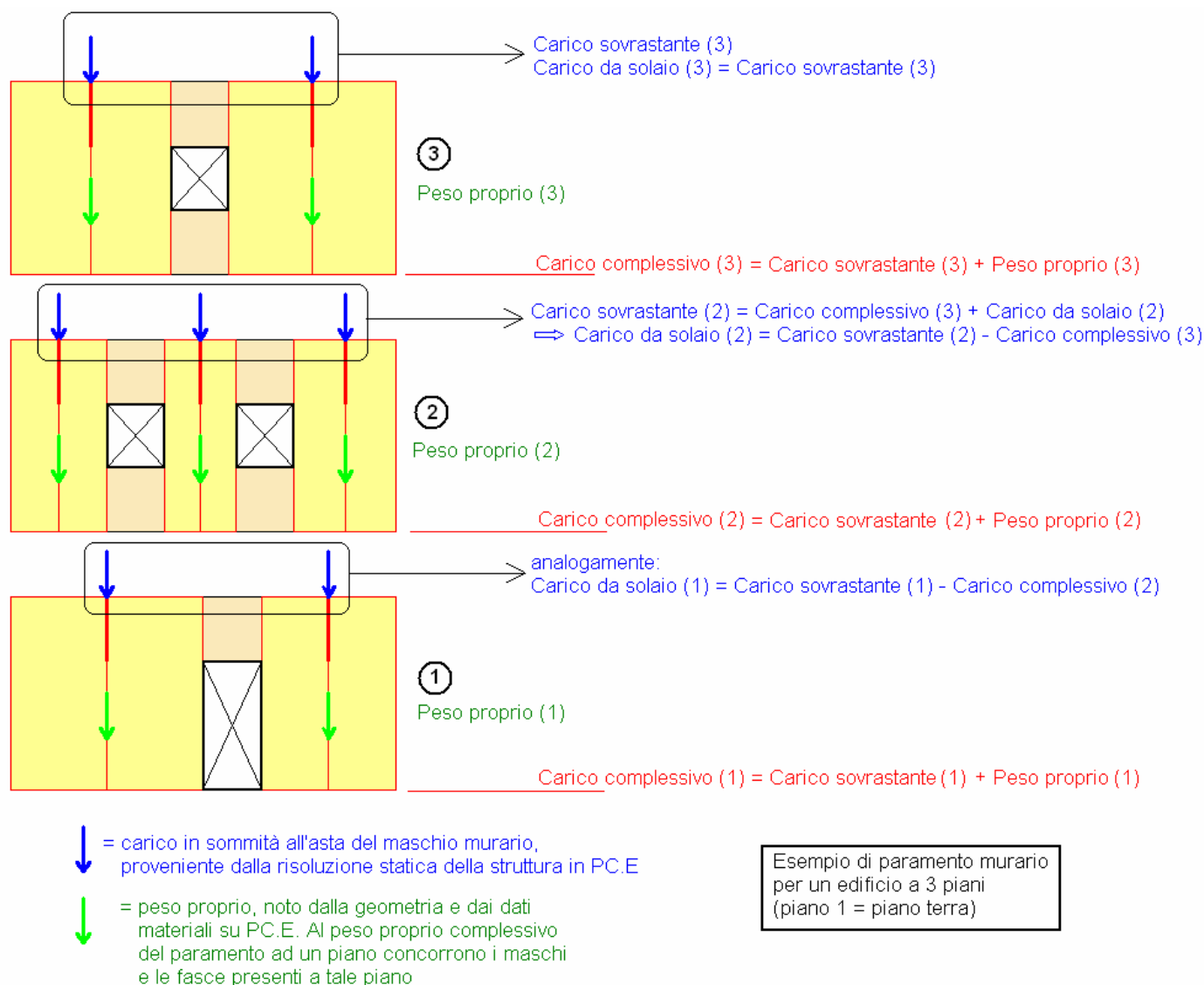




Fig. B.1.2. Assemblaggio azioni per la definizione dei carichi sul cinematicismo

Se in PC.E sono disponibili risultati di analisi modale, è noto il reale primo periodo di vibrazione dell'intera struttura nella direzione considerata (cioè ortogonale al piano della parete oggetto di studio).

Il coefficiente di partecipazione modale γ (§C8.A.4.2.3), inoltre, è noto con esattezza qualora nei Parametri di Calcolo di PC.E sia stata assunta la modalità di normalizzazione degli autovettori rispetto allo spostamento massimo (e non alla matrice delle masse).

In tutti gli altri casi, si fa riferimento al primo periodo definito nei Parametri di Calcolo di PC.E (scheda Sismica (2)) e al coefficiente γ approssimato dalla formula semplificata fornita in §C8A.4.2.3.

2. La seconda modalità di utilizzo di ESP è l'**analisi di meccanismi di collasso di un edificio di cui NON sia stata realizzata la modellazione in PC.E**. E' sufficiente specificare in PC.E i parametri sismici, descritti nel seguito di questo documento, e salvare il file col nome desiderato (anche se, quindi, non contiene la geometria dell'edificio). Il nome di file identico in ESP consentirà il collegamento con i parametri specificati nel corrispondente file di PC.E.

Aperto un qualunque file di PC.E, da menu 'Esegui' della finestra Progetto o direttamente con l'apposito comando posto nella barra degli strumenti orizzontale superiore:  si può aprire la finestra dei Parametri di Calcolo. I dati che interessano l'Analisi Cinematica, presenti in alcune schede, sono evidenziati dal simbolo di ESP: .

Nella scheda '**Generali**' vengono specificati i valori della vita nominale V_N e della Classe d'uso; risulta così definito il periodo di riferimento V_R .

In '**Sismica (1)**' (vd. fig. seg.):

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 = Latitudine =

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

Tab. 2, AII.B:

TR (anni)	a,g (g)	F _o	TC* (sec)
30	0.044	2.549	0.240
50	0.054	2.560	0.254
72	0.062	2.570	0.260
101	0.072	2.546	0.265
140	0.081	2.542	0.269
201	0.093	2.532	0.275
475	0.126	2.527	0.285
975	0.164	2.472	0.285
2475	0.213	2.505	0.296

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	0.044	2.549	0.240	1.000	1.000	1.000	0.080	0.240	1.778	0.722
SLE	SLD	50	0.054	2.560	0.254	1.000	1.000	1.000	0.085	0.254	1.816	0.803
SLU	SLV	475	0.126	2.527	0.285	1.000	1.000	1.000	0.095	0.285	2.104	1.211
SLU	SLC	975	0.164	2.472	0.285	1.000	1.000	1.000	0.095	0.285	2.258	1.351

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

- Componente orizzontale:
SLE: Smorzamento viscoso: ξ (%) = → η =
SLU: α_v/α_1 = (secondo §C8.7.1.2: 1.50) → q_0 = ☒ Regolarità in altezza → q = → η =
 Secondo Normativa: $q = k \cdot (a_u/a_1)$. Si ha: $k = 2.0$, e quindi: $q = 2.800$

- Componente verticale:
SLE: ξ (%) = → η =
SLU: q = → η =

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

☒ Reimpostazione automatica Tab.3

Fig. B.1.3. Definizione dei parametri sismici in ambiente PC.E

- si assegnano i valori di a,g F_o e TC* relativi al sito della costruzione.

Per far questo è possibile inserire direttamente le coordinate geografiche (longitudine, latitudine) oppure copiare e incollare la tabella presente nei fogli di calcolo resi disponibili dal Consiglio Superiore dei Lavori pubblici, che fornisce tali valori in funzione di TR.

Si faccia attenzione che le coordinate da inserire devono essere relative al sistema ED50: il programma consente di convertire le coordinate WGS84 in ED50, con l'utilità presente nella scheda, utilizzabile tramite il pulsante

- si specificano i parametri riguardanti la categoria di sottosuolo (A, B, C, D) e la Categoria Topografica (T1, T2, T3, T4). Nel caso la costruzione sia posta su di un pendio, deve essere specificata la posizione relativa al pendio stesso, definita come rapporto tra la quota h del sito e l'altezza del rilievo H (tale rapporto vale 0 in corrispondenza della base del rilievo e 1 in sommità).

Si specifica inoltre l'opzione su PGA (che terrà conto o meno del fattore di suolo).

Nell'apposita tabella si possono rilevare i valori, relativi allo stato limite ultimo SLV, di a,g F_o, TC*, S che verranno utilizzati per l'analisi cinematica. In generale, è opportuno utilizzare il comando "Reimpostazione parametri dipendenti Tab.3", in modo da garantire coerenza fra i valori dei vari parametri (in tal caso, i campi in input risultano colorati in verde).


Nella scheda '**Sismica (2)**' si imposta la zona sismica e si può selezionare l'opzione per la progettazione semplificata per edifici posti in Zona 4 [§7]: Sd(T1)=0.07g.

Nella scheda '**Muratura (1)**' si definiscono il livello di conoscenza ed il fattore di confidenza.

Dai dati sul materiale dei maschi murari viene tratta la **resistenza media a compressione f_m**, che in ESP verrà utilizzata per tener conto dell'opzione sull'arretramento della cerniera di ribaltamento corrispondente ad una resistenza a compressione finita.

Nota bene Nel caso del meccanismo di un paramento murario, il dato sulla resistenza si riferisce alla prima parete del paramento stesso che PC.E individua nell'elenco degli elementi appartenenti al paramento. Se la muratura non è omogenea, è possibile procedere modificando successivamente in ESP il dato su f_m , identificandolo cautelativamente con il valore più basso fra i vari materiali presenti. In alternativa, sarà in ogni caso possibile prescindere dalla resistenza a compressione, considerandola infinita (sulla scelta del polo di rotazione e delle modalità di eventuale arretramento della cerniera si rimanda al p. B.3.5). In caso di resistenza a compressione infinita, il fattore di confidenza da utilizzare in ESP dovrà essere pari a 1.35, indipendentemente dal valore considerato in PC.E, in accordo con quanto indicato in §C8A.4.2.2. ■

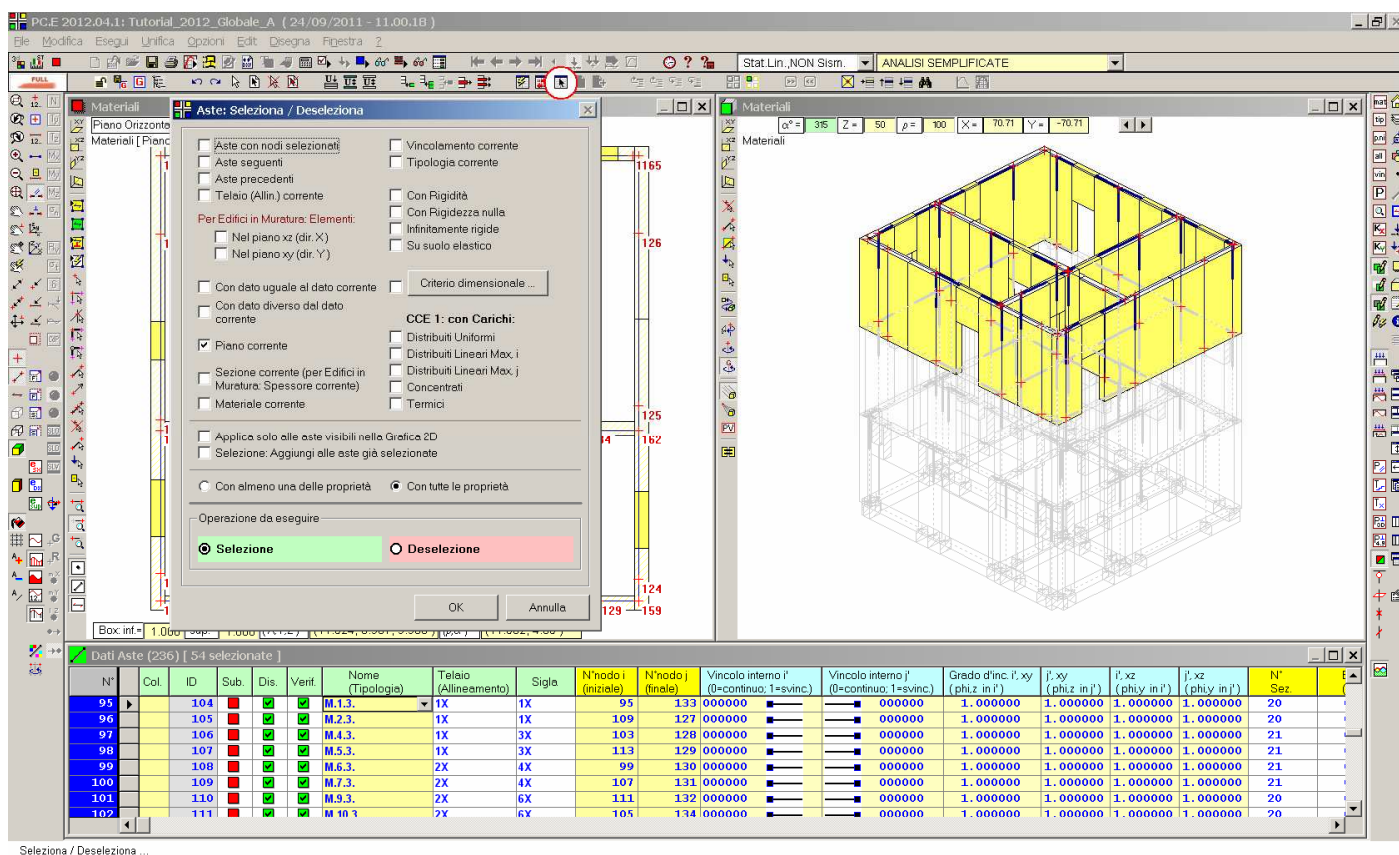
Apertura di ESP

Impostati i dati, da PC.E è possibile accedere al modulo ESP (Analisi Cinematica) attraverso il comando  della barra degli strumenti orizzontale superiore di PC.E, o equivalentemente dal comando apposito del menu Esegui.

Come già osservato, viene automatico creato un file ESP avente lo stesso nome del file di provenienza di PC.E e dunque facente riferimento agli stessi parametri sismici. Avere lo stesso nome, in altre parole, significa riferirsi allo stesso edificio e quindi condividere, nei due ambienti di calcolo PC.E e ESP, gli stessi parametri sismici.

Esempio di applicazione al file: Tutorial_2012_Globale_A

In ambiente PC.E, si apra il file. Per analizzare il meccanismo di ribaltamento semplice delle pareti del livello più elevato (piano 3), si selezionino gli elementi murari di tale piano (fig. B.1.4): è sufficiente porre la cella di input nei Dati Aste in corrispondenza di un maschio del piano 3 (es. in figura: asta 95; che sia un maschio del piano 3 si riconosce facilmente dal suo nome; in alternativa è possibile selezionare graficamente un maschio del piano 3 e quindi passare alla tabella Dati Aste per la selezione di tutti gli altri maschi dello stesso piano); quindi menu Modifica, Seleziona, e scegliere: Piano corrente (si può anche selezionare: Tipologia corrente, per limitare la selezione ai soli maschi; tuttavia, non è necessario in quanto nel gruppo di elementi confluiranno maschi e fasce, ma i cinematismi saranno in ogni caso successivamente generati a partire dai maschi). Ne risulta la selezione illustrata in fig. B.1.4.



N°	Col.	ID	Sub.	Dis.	Verif.	Nome (Tipologia)	Telaio (Allineamento)	Sigla	N°nodo i (iniziale)	N°nodo j (finale)	Vincolo interno i' (0=continuo, 1=svinc)	Vincolo interno j' (0=continuo, 1=svinc)	Grado d'inc. i', j	i'.xy (phi.z in i')	i'.xz (phi.y in i')	i'.yz (phi.x in i')	N° Sez.	
95		104				M.1.3.	1X	1X	95	133	000000		000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	20
96		105				M.2.3.	1X	1X	109	127	000000		000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	20
97		106				M.4.3.	1X	3X	103	128	000000		000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	21
98		107				M.5.3.	1X	3X	113	129	000000		000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	21
99		108				M.6.3.	2X	4X	99	130	000000		000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	21
100		109				M.7.3.	2X	4X	107	131	000000		000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	21
101		110				M.9.3.	2X	6X	111	132	000000		000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	20
102		111				M.10.3.	2X	6X	105	134	000000		000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	20

Fig. B.1.4. Selezione di tutti gli elementi murari in sommità

Poiché i meccanismi di ribaltamento coinvolgono le pareti di facciata, si utilizza ora la deselezione in pianta degli elementi murari interni del piano 3, ottenendo la configurazione illustrata in fig. B.1.5.

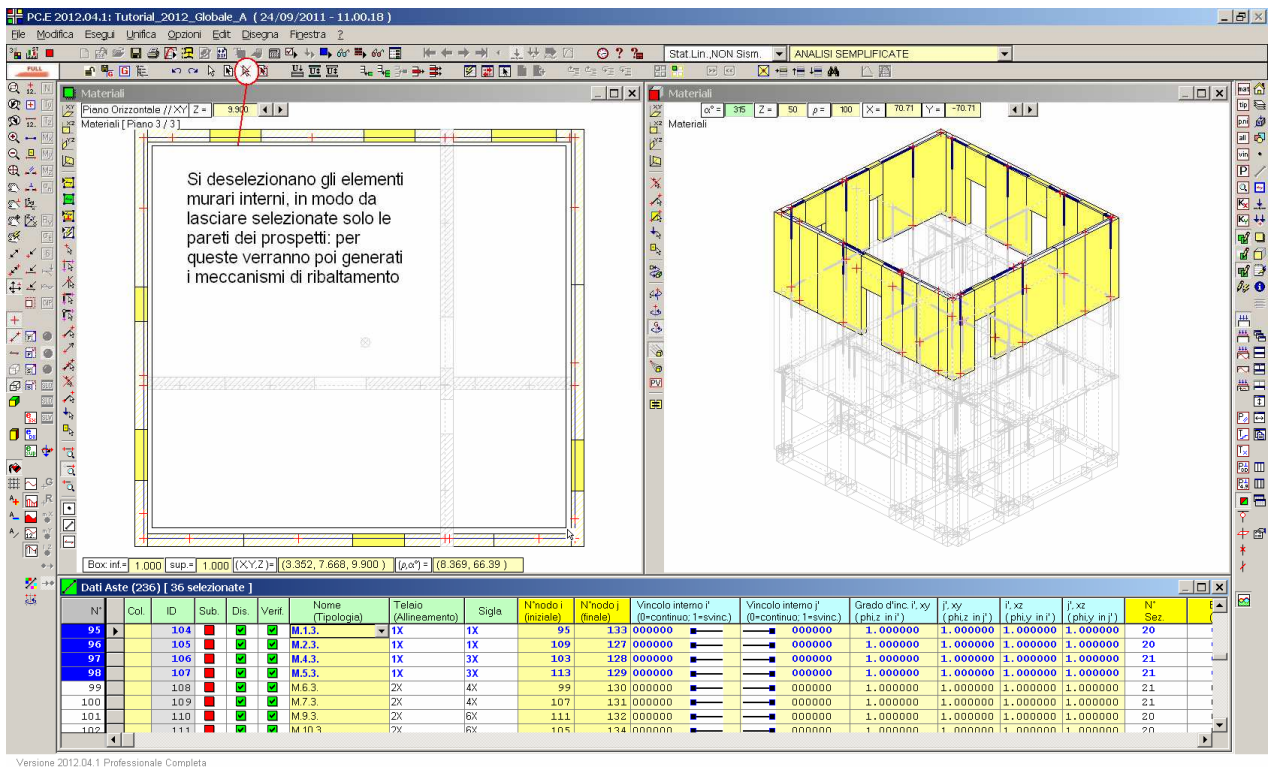


Fig. B.1.5. Limitazione degli elementi selezionati ai soli prospetti

Per il file sia stata già eseguita l'analisi sismica dinamica modale. Sono quindi noti tutti i carichi (competenti alla combinazione di tipo sismico) agenti sulle pareti. Per quanto riguarda le opzioni sulla generazione dei meccanismi, sia attiva l'opzione relativa ai paramenti: è quindi prevista la generazione di 4 meccanismi, cioè 4 paramenti murari da analizzare in analisi cinematica, per ognuno dei quali saranno possibili 3 cinematismi (essendo 3 il numero di piani dell'edificio) consistenti in ribaltamenti intorno allo spigolo esterno di ogni livello (quota di base di ogni piano). Si apra quindi il modulo ESP (vd. in fig. B.1.6 il comando dalla barra strumenti superiore).

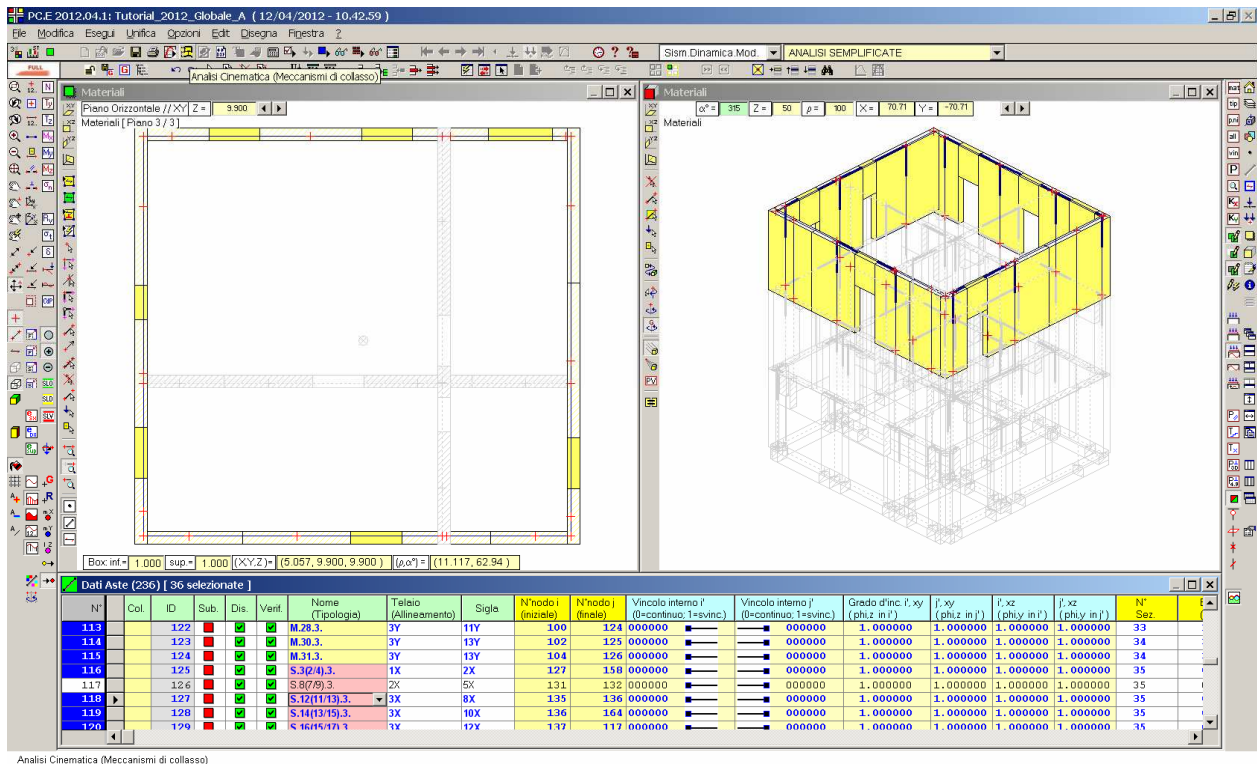


Fig. B.1.6. Apertura di ESP da PC.E

Prima della generazione automatica dei meccanismi, il comando propone un messaggio di conferma:

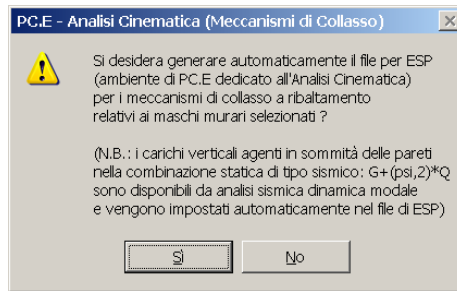


Fig. B.1.7. Conferma sulla generazione dei meccanismi

Rispondendo Sì verranno generati automaticamente i 4 meccanismi corrispondenti ai parametri selezionati: 1X, 3X, 1Y, 3Y. Viene così composto un file di ESP contenente i 4 parametri selezionati: ognuno di essi diventa un meccanismo cinematico del file di ESP omonimo al file di PC.E (fig. B.1.8). Il file *Tutorial_2012_Globale_A* di ESP fa riferimento agli stessi parametri sismici dell'omonimo file di PC.E. E' così possibile visualizzare immediatamente i risultati della verifica.

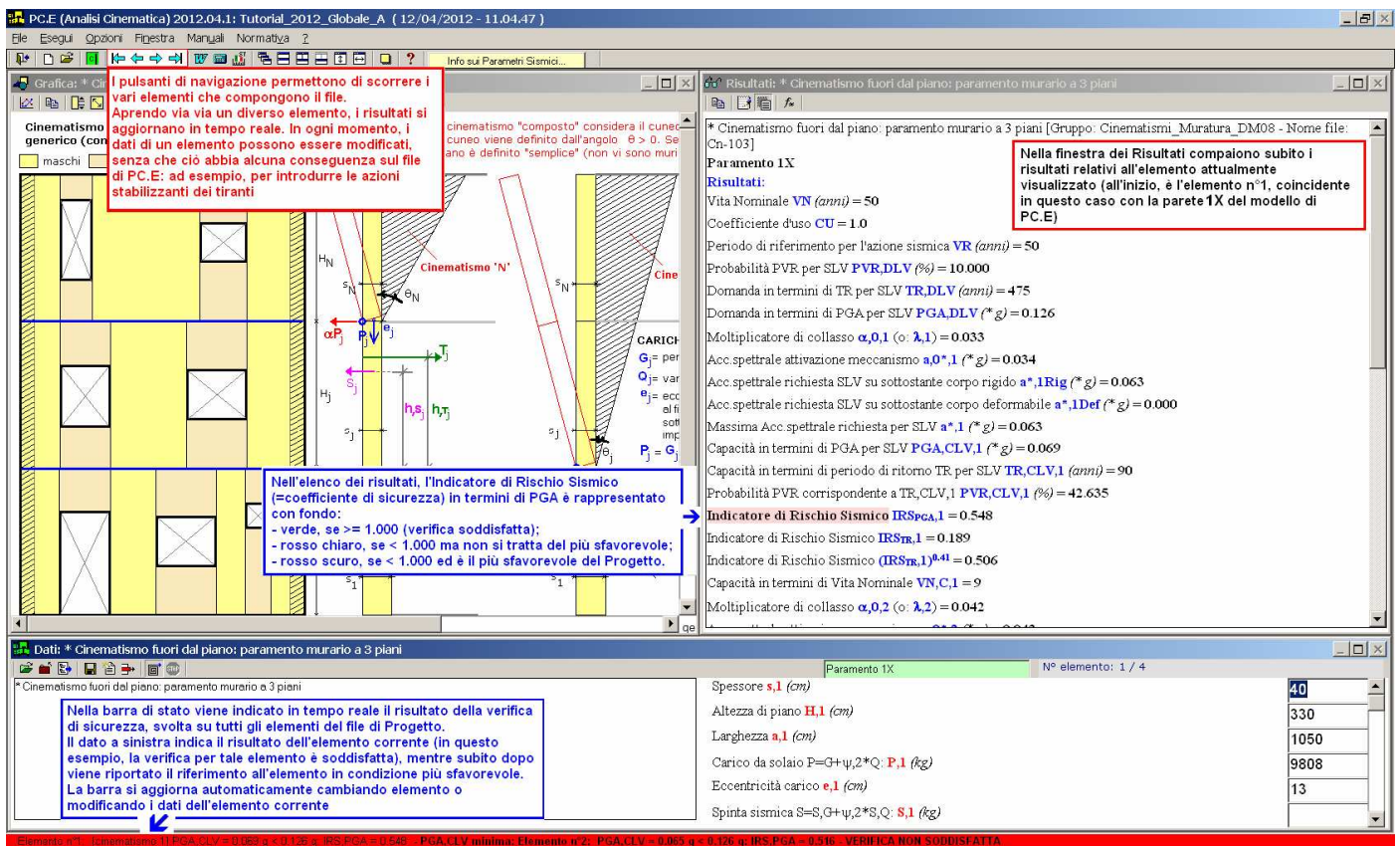


Fig. B.1.8. Meccanismi in ESP generati automaticamente da PC.E

La fig. B.1.9 propone per lo stesso elemento la visualizzazione della grafica vettoriale della parete, dove in sintesi sono presentati i risultati dei 3 cinematismi relativi al meccanismo corrente.

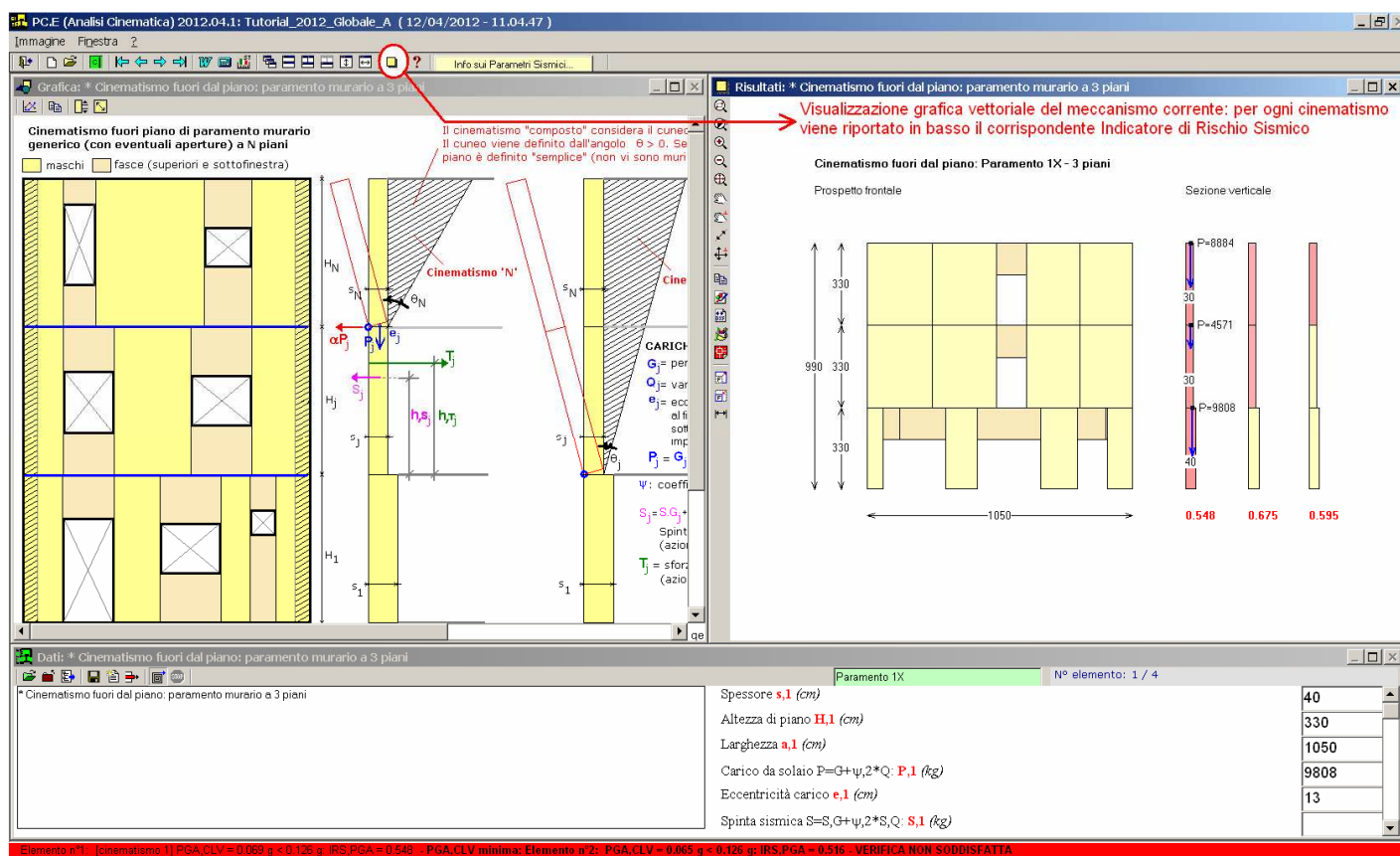


Fig. B.1.9. Meccanismi generati da PC.E: visualizzazione grafica dei risultati

B.1.2. AMBIENTE DI LAVORO

Questo paragrafo descrive le procedure operative di ESP, che riguardano sia i meccanismi dei files predisposti da PC.E (sui quali comunque è sempre possibile intervenire per apportare modifiche), sia più in generale i meccanismi direttamente creati in ESP. Questi ultimi consentono l'analisi di numerosi cinematismi: ad esempio, la flessione verticale e quella orizzontale, ribaltamenti bipiano e con cunei, ecc.

Utilizzando il comando indicato in fig. B.1.10, è possibile selezionare, da un elenco, posto in basso a sinistra, il cinematismo da esaminare: la schermata viene aggiornata ed inizialmente i dati e i risultati sono nulli, mentre un'immagine apposita indica il significato dei vari parametri. Prima di aprire il cinematismo indicato in figura, è stato reimpostato un Nuovo Progetto (da menu File).

I risultati vengono calcolati in tempo reale modificando i dati; il simbolo **n.c.** (=non calcolato) indica che i dati ancora devono essere inseriti oppure che non costituiscono ancora un insieme coerente e corretto in grado di determinare i risultati.

Molto agevole risulta se si possono estrarre immagini, dati e risultati per inserirle nella Relazione di calcolo, ad esempio a corredo dell'analisi globale dell'edificio.

Le immagini disponibili sono di **due tipi**:

tipo predefinito, per ogni meccanismo, finalizzato a descrivere il meccanismo stesso e contenente la simbologia relativa; normalmente, tale immagine è mostrata nella finestra grafica superiore a sinistra;

tipo vettoriale, contenente la visualizzazione effettiva del meccanismo corrente. Normalmente, tale immagine è rappresentata nella finestra grafica a destra, che può essere aperta dall'apposito comando della barra degli strumenti superiore (cfr. fig. B.1.9). La grafica vettoriale è disponibile solo per alcuni meccanismi di ESP, e più precisamente i ribaltamenti monopiano, di pareti e di paramenti.

Come osservato al p. B.1.1, i dati da inserire, relativi alle pareti da esaminare, possono essere tratti dalle elaborazioni statiche di PC.E. Per esempio, nel caso di un ribaltamento monopiano semplice lo sforzo normale in sommità è direttamente ricavabile dal corrispondente valore evidenziato dal nodo di sommità in un'analisi statica lineare (non sismica) condotta in PC.E; lo sforzo normale al nodo di base è dato da N in sommità più il peso proprio; nel caso del ribaltamento di un paramento, le azioni di PC.E vengono composte secondo lo schema indicato in fig. B.1.2.

I dati possono tuttavia avere origine del tutto indipendente da eventuali analisi eseguite con PC.E.

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

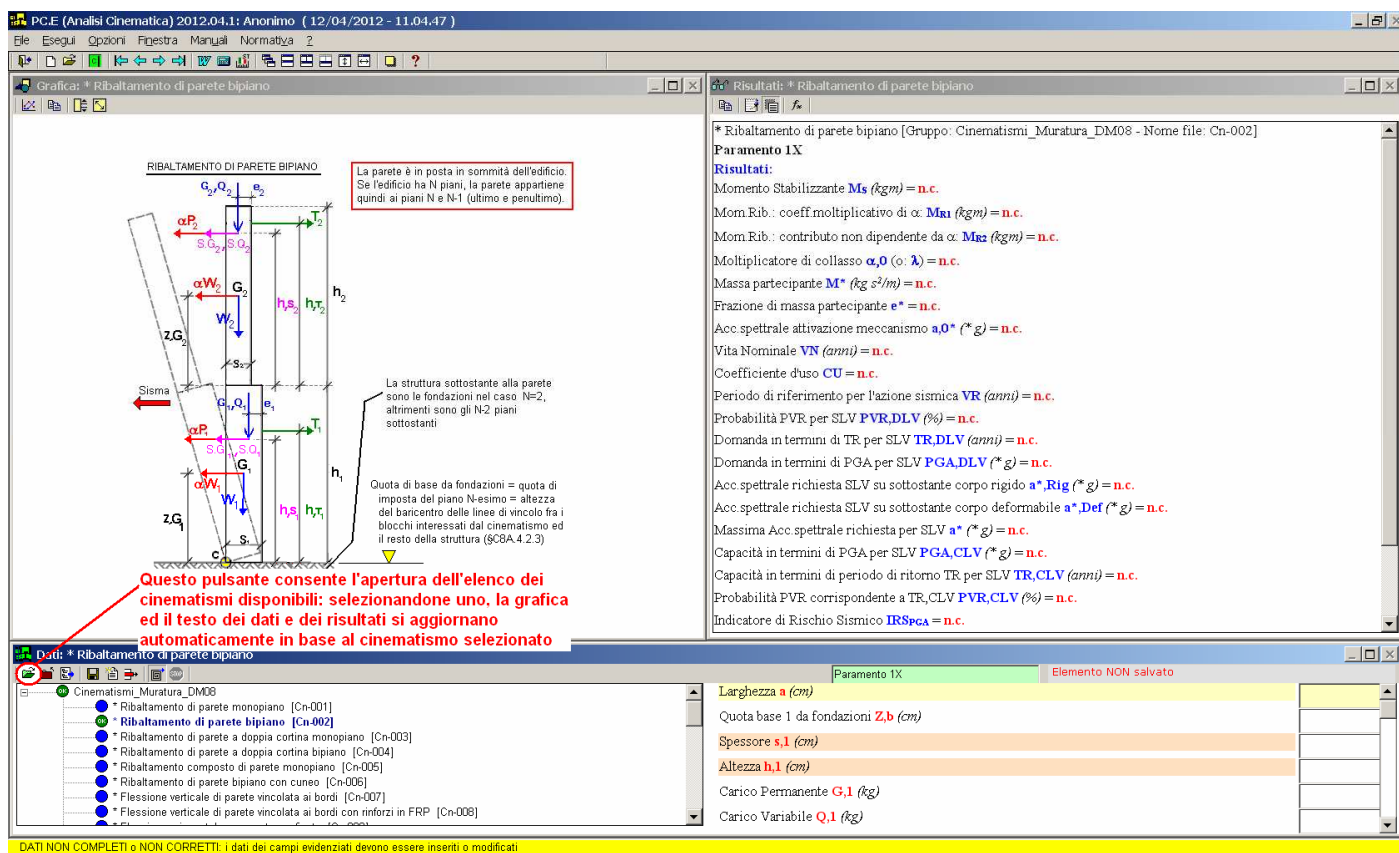



Fig. B.1.10. Ambiente operativo: impostazione di un particolare cinematismo

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

- la **barra degli Strumenti**, che consente l'esecuzione rapida dei comandi comuni principali di ESP;
- la **finestra Grafica** (in alto a sinistra); la **finestra Risultati** (in alto a destra); la **finestra Dati** (in basso) per la gestione degli 'elementi predefiniti' e l'inserimento dei dati relativi al progetto corrente; ogni finestra è dotata una propria barra degli strumenti e di propri comandi di menu: i menu "File, Esegui, Opzioni, Finestra, Manuali, Normativa, ?" vengono dinamicamente aggiornati in base alla finestra correntemente attiva (individuata dal bordo evidenziato);
- la **barra dei Messaggi di Stato**, dove è indicata la versione del software utilizzata, e dove vengono riportati i riferimenti alle più significative operazioni svolte durante la sessione di lavoro con ESP. Qui si riporta anche il risultato della verifica sismica (in fig. B.1.5 il caso di una verifica soddisfatta. La barra in tal caso è colorata di verde; se modificando i dati, la verifica risulta non soddisfatta, la barra assume colore rosso come in fig. B.1.4; poiché il file del progetto può essere composto da un gruppo di cinematismi, è anche possibile che mentre il cinematismo corrente mostra p.es. verifica soddisfatta, complessivamente il gruppo degli elementi esaminati presenti verifica non soddisfatta a causa di un altro cinematismo del gruppo: questa è la situazione rappresentata in fig. B.1.4).

Nella fig. B.1.10, rappresentativa dell'ambiente di lavoro, è in linea un Progetto (di nome *Anonimo*, in quanto appena creato dal comando: Nuovo Progetto del menu File). Sono evidenti le finestre Dati (in basso), la finestra Grafica (in alto a sinistra) e la finestra Risultati (in alto a destra).

I **comandi** di ESP vengono assegnati tramite i menu e le barre degli strumenti associati alle finestre.

I comandi di menu della **finestra Dati** consentono sia le operazioni fondamentali di creazione, apertura e salvataggio di progetti, sia l'uscita dal programma. Ogni sessione di ESP inizia con l'attivazione della finestra Dati, e termina con la sua chiusura attraverso l'apposito comando Esci (CTRL + Q) del menu File, equivalente all'uso del pulsante grafico  della barra degli strumenti principale (quella posta in alto, sotto alla barra dei menu).

In ESP vengono inoltre utilizzate le seguenti ulteriori finestre:

- **finestra 'Grafici Dati - Risultati'**, per la visualizzazione e la gestione dei grafici che siano stati elaborati attraverso la definizione di dati in forma variabile; normalmente tale finestra è posta in alto a sinistra;
- **finestra 'Grafica Struttura'**, per la visualizzazione della grafica vettoriale del meccanismo; normalmente tale finestra è posta in alto a destra;
- altre finestre di dialogo contenenti richieste specifiche, ad esempio per la scelta dei nomi di files in output;
- finestra dei **messaggi di errore**.

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

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

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

Nel paragrafo seguente vengono riportate le definizioni dei termini utilizzati in ESP; nei paragrafi appositi, ogni finestra è descritta in dettaglio con le proprie funzionalità.

B.1.3. TERMINOLOGIA

La terminologia utilizzata in ESP è la seguente.

Elemento Strutturale Predefinito = si definisce tale uno specifico 'cinematismo'. '**Predefinito**' significa appunto che i termini del problema sono stati fissati in dati, risultati e formule che legano i dati ai risultati; questa formulazione contiene ovviamente variabili indipendenti (i dati) e variabili dipendenti (i risultati) che verranno particolarizzati in certi valori quando l'elemento predefinito sarà richiamato all'interno di ESP per l'analisi di un caso specifico.

Progetto = si definisce 'Progetto' **un archivio dell'Utente costituito da uno o più 'elementi strutturali predefiniti'**.

Ad esempio, si desidera analizzare un gruppo di cinematismi per la verifica di un dato edificio, il progetto sarà costituito da un file di archivio che riunisce i corrispondenti elementi predefiniti con i dati associati.

Questa modalità di utilizzo di ESP non è obbligatoria: è infatti possibile usare il software anche come una **calcolatrice momentanea**, richiamando l'elemento predefinito che interessa, senza necessità di archiviare il calcolo in un progetto specifico.

Grafici Dati - Risultati = un qualsiasi elemento strutturale predefinito è composto da dati (variabili indipendenti) e da risultati (variabili dipendenti, legati ai dati da espressioni matematiche). **I dati possono essere espressi in forma 'fissa' o 'variabile'**: facendo variare un determinato dato entro un intervallo (definito da valore minimo, valore massimo e passo di analisi) è possibile visualizzare il grafico di ciascun risultato in funzione di tale dato. Consultare la sezione B.3 dedicata agli Esempi Applicativi per ulteriori approfondimenti.

In ESP i calcoli vengono **eseguiti interattivamente in tempo reale**: ogni modifica dei dati produce un immediato aggiornamento dei risultati e degli eventuali grafici relativi all'elemento predefinito corrente.

Non sono quindi presenti comandi specifici di menu atti all'avvio dell'esecuzione dei calcoli.

ESP è autocorrettivo, nel senso che dati numerici non coerenti fra loro oppure fuori dai limiti significativi vengono automaticamente scartati. Tuttavia, nel caso che alcune combinazioni non possano produrre risultati significativi, questi vengono posti uguali a zero o comunque, attraverso opportuni messaggi, ne viene evidenziata l'erroneità. In generale, i calcoli eseguiti da ESP non sono archiviati su files esterni, ma vengono rielaborati ogni volta che si riaprono gli elementi predefiniti del Progetto. Fanno eccezione i risultati relativi agli Indicatori di Rischio, che vengono scritti su appositi files richiamabili da PC.E per la composizione delle schede che contengono i risultati complessivi, riguardanti sia l'analisi globale condotta con PC.E sia l'analisi locale per cinematismi.

B.2. COMANDI COMUNI

B.2.1. BARRA DEGLI STRUMENTI

La barra degli strumenti generale, posta in alto sotto alla barra dei menu, contiene pulsanti grafici che permettono l'esecuzione rapida di alcuni dei comandi principali.



Fig. B.2.1. Barra degli Strumenti generale

I pulsanti della barra degli strumenti generale sono i seguenti:

Esci. Consente l'uscita dal programma. Corrisponde al comando 'Esci' (CTRL+Q) del menu File della finestra Dati.

Nuovo Progetto. Apre un Nuovo Progetto. Corrisponde al comando 'Nuovo progetto' del menu File della finestra Dati.

Apri Progetto. Apre un Progetto esistente, attraverso la visualizzazione della finestra di dialogo 'Apri'. Corrisponde al comando 'Apri' del menu File della finestra Dati.

Visualizza / Nascondi Commento al Progetto. Il comando consente l'archiviazione di una descrizione nel progetto; corrisponde al comando di menu: Visualizza Commento al Progetto, del menu Esegui della finestra Dati. Il comando ha l'effetto di aprire un'apposita casella di testo per l'inserimento del Commento, che verrà archiviato nel file del Progetto, e quindi sarà rivisualizzabile nelle successive riaperture del file. Il comando ha una funzione di attivazione / disattivazione: per nascondere il Commento, e tornare alla consueta configurazione della finestra Dati, eseguire nuovamente il comando stesso.

Rispettivamente: **Primo Elemento, Elemento Precedente, Elemento Successivo, Ultimo Elemento.** Nell'ambito del Progetto corrente, consentono lo spostamento fra gli elementi costitutivi del progetto stesso; ricordiamo infatti che un Progetto può essere costituito da uno o più elementi predefiniti. Questi comandi corrispondono agli omonimi del menu Opzioni della finestra Dati.

Finestra Relazione. Corrisponde al comando 'Relazione di Calcolo' (CTRL+R) del menu File della finestra Dati. Apre il programma che nel sistema Windows è automaticamente associato ai files RTF (frequentemente: Microsoft Word), inizializzando la Relazione di Calcolo o aprendo una relazione già generata.

Calcolatrice. Corrisponde al comando 'Calcolatrice' del menu Esegui della finestra Dati. Apre la calcolatrice di Windows.


Sistema di unità di misura, Tecnico o Internazionale. Corrisponde al comando 'Sistema Internazionale' del menu Esegui della finestra Dati. Imposta il sistema di unità di misura che verrà utilizzato nel Progetto. E' possibile modificare il sistema di unità di misura corrente solo al momento dell'impostazione di un Nuovo Progetto. Non è quindi possibile definire un meccanismo in un Sistema e cambiare il Sistema nel corso dell'input.

Sovrapponi, Affianca, Disponi tutte, Disponi singola, Allunga, Allarga Finestre. Modifica la visualizzazione delle finestre. In particolare, il comando 'Disponi' (corrispondente all'omonimo del menu Finestra) consente la disposizione automatica delle finestre di ESP, secondo criteri preimpostati.

Finestra Grafica Struttura. Apre la finestra dedicata alla grafica vettoriale del meccanismo corrente. Qualora il disegno non sia disponibile, la finestra viene aperta ma mostra un'etichetta con il messaggio: "Elaborazione grafica non disponibile per la tipologia corrente di cinematismo".

Guida. Apre la Guida di ESP, e più esattamente il 'Manuale Completo'. Corrisponde all'omonimo comando del menu Guida (G). I testi della Normativa di riferimento sono invece disponibili direttamente dai corrispondenti comandi del menu Normativa della finestra Dati Progetto.

B.3. FINESTRA DATI

La **finestra Dati** consente la gestione degli 'elementi predefiniti' e l'inserimento dei dati relativi al Progetto corrente. I comandi di menu della **finestra Dati** consentono sia le operazioni fondamentali di creazione, apertura e salvataggio di progetti, sia l'uscita dal programma. *Ogni sessione di ESP inizia con l'attivazione della finestra Dati*, e termina con la sua chiusura attraverso l'apposito comando Esci (CTRL + Q) del menu File, equivalente all'uso del pulsante grafico  della barra degli strumenti principale (quella posta in alto, sotto alla barra dei menu).

ESP è installato nella directory (obbligatoria) \Aedes2012\Pce\Esp, mentre i **Progetti** dell'Utente vengono **archiviati**, in un formato proprio del programma, **nella sottodirectory \Aedes2012\Pce\Esp\Progetti**.

Per un Progetto di nome 'NomeProgetto', ESP crea inoltre la sottocartella:

Aedes2012\Pce\Esp\Progetti\NomeProgetto dove vengono archiviati files ausiliari contenenti i risultati delle elaborazioni ed i files di informazioni sulle pareti (aventi estensione .geo) prodotti da PC.E con la generazione automatica dei meccanismi di ribaltamento dei paramenti murari.

Per effettuare un completo **backup** del progetto si consiglia di includere in un file .zip (o compresso equivalente) sia il file di progetto sia la sottocartella avente il suo stesso nome.

Vengono inoltre create altre due sottodirectory:

\Aedes2012\Pce\Esp\Servizio\NomeProgetto

all'interno della quale vengono collocati files temporanei ad uso interno di ESP, e

\Aedes2012\Pce\Esp\Output\NomeProgetto

contenente i files di testo (RTF) e grafici (DXF e BMP) elaborati da ESP.

Analogamente alla directory \Progetti, è presente un'altra directory dedicata agli esempi di apprendimento forniti in dotazione a ESP: \Es-Apprendi.

La directory Aedes2012\Pce\Esp\Servizio è normalmente utilizzata soltanto durante la sessione di lavoro con ESP. La directory Aedes2012\Pce\Esp\Output può essere periodicamente svuotata, laddove non interessino più i files grafici e di testo elaborati in precedenza da ESP.

L'assenza delle directory Aedes2012\Pce\Esp\Servizio e Aedes2012\Pce\Esp\Output non interferisce con il normale funzionamento del programma: ESP infatti provvede da solo alla loro creazione quando necessario.

Nel seguito, per 'archivio' si intende un Progetto salvato nel formato ESP nella sottodirectory

Aedes2012\Pce\Esp\Progetti

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

Le operazioni di archiviazione (o salvataggio), di apertura di archivi esistenti e di creazione di nuovi Progetti, vengono effettuate da ESP attraverso i comandi del menu File della finestra Dati.

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

Una particolare cartella è dedicata agli **Elementi Strutturali Predefiniti**, cioè gli elementi preimpostati (con dati, risultati e formule) sui quali si basa il funzionamento di ESP. Si tratta di

Aedes2012\Pce\Esp\Gruppi

che contiene tante sottocartelle quanti sono i gruppi secondo i quali si organizzano gli elementi predefiniti.

La **struttura ad albero** della directory Aedes2012\Pce\Esp\Gruppi viene riproposta, dopo il lancio di ESP, nell'**Elenco degli Elementi Predefiniti disponibili**, elenco da cui vengono selezionati gli elementi predefiniti che interessano per il Progetto corrente, o più semplicemente: elenco dove si cerca il problema ingegneristico che si desidera analizzare.

Dopo il lancio, ESP compone automaticamente tale struttura ad albero ordinando alfabeticamente i gruppi rilevati nella directory Aedes2012\Pce\Esp\Gruppi.

La configurazione della finestra Dati è riportata in fig. B.3.1.



Fig. B.3.1. Finestra Dati

Sulla sinistra, l'Elenco degli elementi predefiniti disponibili. Sotto al titolo, la barra degli strumenti propria di questa finestra, con comandi vari ed utilità di calcolo. Sulla destra, i dati in input.

B.3.1. ELEMENTI PREDEFINITI. MECCANISMI DISPONIBILI

Gli elementi predefiniti vengono organizzati da ESP in una struttura ad albero che elenca i meccanismi di collasso disponibili (fig. B.3.2).

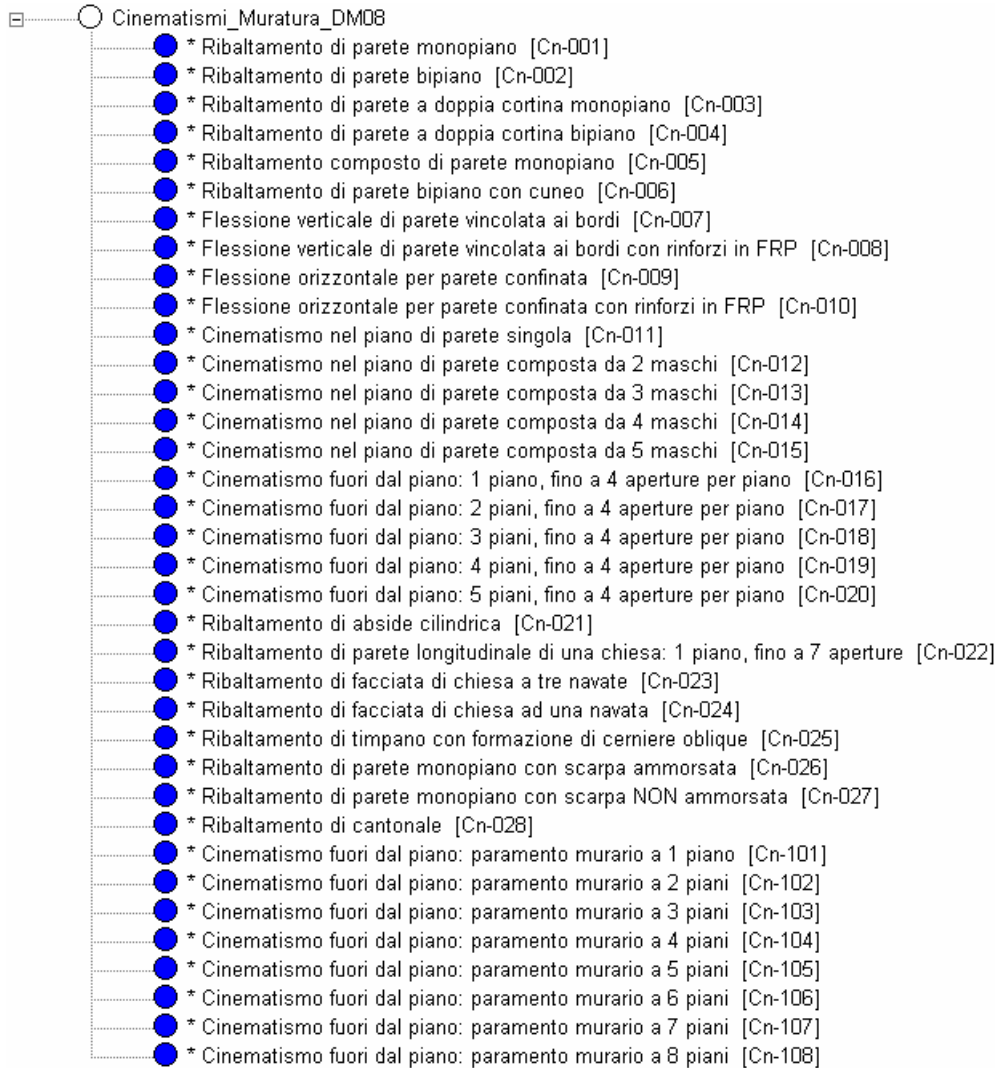




Fig. B.3.2. Elenco ad albero dei meccanismi disponibili




Nel percorso Aedes2012\Pce\Esp\Gruppi la struttura delle cartelle e dei files corrisponde precisamente a quanto visualizzato nell'Elenco (eccetto eventualmente l'ordinamento alfabetico). Quindi, i gruppi sono effettivamente sottocartelle di Aedes2012\Pce\Esp\Gruppi e gli elementi files contenuti in ognuna di tali sottocartelle.

L'Elenco può essere esteso a tutta la finestra Dati utilizzando il comando Riduci / Ingrandisci Elenco della barra degli strumenti; inoltre, ingrandendo la finestra Dati a tutto schermo si ottiene la massima visibilità dell'Elenco, per una sua più completa visualizzazione, come in fig. B.3.2. Tuttavia, le barre di scorrimento consentono la sua completa consultazione anche quando le dimensioni dell'Elenco sono ridotte.

Visualizzati gli elementi predefiniti che interessano, se ne può scegliere uno in particolare semplicemente facendo clic sul suo testo descrittivo. Se l'elemento predefinito è stato correttamente impostato (cioè, se i suoi files che lo definiscono non contengono errori), diviene immediatamente l'elemento corrente e l'icona  in corrispondenza del nodo selezionato conferma la corretta rilettura dell'elemento.

Se invece l'elemento predefinito è stato preimpostato con errori, l'icona  evidenzia il problema: il problema richiede probabilmente la reinstallazione del software.



A livello del gruppo, il corrispondente nodo può mostrare le seguenti icone:

-  se tutti gli elementi predefiniti aperti nel gruppo sono stati correttamente riletti;
-  se tutti gli elementi predefiniti aperti nel gruppo sono stati rilevati errati;
-  se alcuni elementi predefiniti fra quelli aperti nel gruppo sono corretti ma altri sono errati.

Quando ESP viene lanciato, il progetto Anonimo è in linea: la finestra Grafica si presenta vuota, così come la finestra Risultati; la finestra Dati presenta a sinistra l'Elenco degli argomenti, mentre a destra non compaiono ancora campi di dati in input.

Selezionando un elemento predefinito secondo le modalità operative suddette, tutte le finestre vengono riempite dal contenuto corrispondente: l'immagine descrittiva associata all'elemento (file bmp, gif, jpg) viene mostrata nella finestra Grafica, mentre a destra della finestra Dati vengono mostrati i dati in input dell'elemento (con campi di testo ancora vuoti, con valori cioè da specificare), mentre i risultati appaiono elencati nella finestra Risultati, ognuno accompagnato dalla sigla **n.c.** che significa 'non calcolato' (cfr. fig. B.1.6).

Non appena si saranno specificati dati numerici nei campi in input, i risultati si aggiorneranno interattivamente. Successivamente, si potrà salvare l'elemento predefinito corrente come elemento effettivo del Progetto corrente: in tale circostanza, verrà richiesto il nome del file di Progetto. Ancora successivamente, potranno essere richiamati altri elementi predefiniti e salvati nello stesso Progetto.

Una diversa modalità operativa consiste nel riaprire un Progetto elaborato e salvato in sessioni di lavoro precedenti. Utilizzando il comando 'Apri' del menu File (o equivalentemente:  della barra degli strumenti generale, in alto sullo schermo sotto alla barra dei menu - **attenzione! non  della barra della finestra Dati, che invece ha la funzione di aprire l'Elenco degli elementi predefiniti**), e scegliendo un Progetto fra quelli disponibili, viene posto in linea l'elemento predefinito n°1 che era stato salvato.

Gli elementi predefiniti di ESP vengono definiti dai seguenti tipi di files:

.rtf e .txt contenenti la descrizione dei dati, dei risultati e delle formule matematiche che legano i risultati ai dati; i dati saranno mostrati nella finestra Dati ed i risultati nella finestra Risultati; le formule costituiranno la base matematica di calcolo;

.bmp (o .jpg o .gif) contenente l'immagine che verrà mostrata nella finestra Grafica.

.com.rtf: commento su file RTF contenente descrizioni, commenti, annotazioni relative al problema trattato dall'elemento predefinito. Questo testo sarà mostrato nel Commento, nella parte sinistra della finestra Dati.

Come esempio di elemento strutturale predefinito, si consideri il file Cn-001 del gruppo dei Cinematismi della Muratura secondo le NTC08 (si riferisce al meccanismo di ribaltamento semplice monopiano):

Gruppo: Cinematismi Muratura secondo NTC08

Cartella: Aedes2012\Pce\Esp\Cinematismi_Muratura_DM08

Files che lo definiscono:

Cn-001.bmp = immagine bitmap della sezione trapezoidale;

Cn-001.rtf = descrizione su file rtf (con testi formattati con grassetto, colori, lettere greche, apici, pedici, ecc.) dei dati, dei risultati e delle formule matematiche;

Cn-001.txt = formato txt (solo testo) del file rtf (ad uso interno dei calcoli di ESP);

Se il file **.com.RTF** non è presente, il Commento verrà fatto coincidere con la descrizione sintetica del problema (quella riportata all'inizio del file RTF / TXT e che viene utilizzata anche nell'Elenco degli elementi per mostrare gli elementi predefiniti disponibili).

Se il file di immagine non è presente, la finestra Grafica mostra un opportuno messaggio di assenza di immagine; normalmente, ciò indica l'opportunità di reinstallazione del software. L'assenza dell'immagine predefinita associata al meccanismo è comunque ininfluente nei confronti dei calcoli, che possono essere normalmente eseguiti.

Nelle figure seguenti vengono elencati i meccanismi disponibili nella corrente versione di ESP (l'elenco, conforme alla fig. B.3.2, si riferisce alla data di redazione del Manuale; ulteriori meccanismi possono essere resi disponibili in successivi aggiornamenti del software); la sigla associata ad ogni meccanismo richiama il nome del file corrispondente (ad. es. 001 per il file Cn-001 dell'elenco mostrato in fig. B.3.2). Per alcuni meccanismi, la descrizione presente nell'immagine illustra formule di calcolo e criteri operativi.

Tutti i meccanismi per i quali è possibile considerare l'arretramento della cerniera di ribaltamento prevedono in input la resistenza a compressione della muratura.

Fra le funzionalità di ESP più recentemente introdotte, particolare rilievo assume il **meccanismo del paramento murario** (fig. B.3.24), automaticamente generato da PC.E per lo studio del ribaltamento dei prospetti.

Per il **cantonale** (fig. B.3.23) è interessante la possibilità di variare sia la direzione intorno alla quale avviene il ribaltamento, sia l'angolo fra le pareti dell'edificio (non sempre perfettamente uguale a 90°); nel cantonale non è possibile considerare l'arretramento della cerniera, aspetto gestito invece nel meccanismo di **flessione verticale** (fig. B.3.9).

Lo schema del ribaltamento monopiano di **parete con scarpa ammorsata oppure no** (figg. B.3.21, B.3.22) consente la specifica di un'altezza di muro maggiore rispetto a quella di scarpa. E' quindi possibile descrivere anche



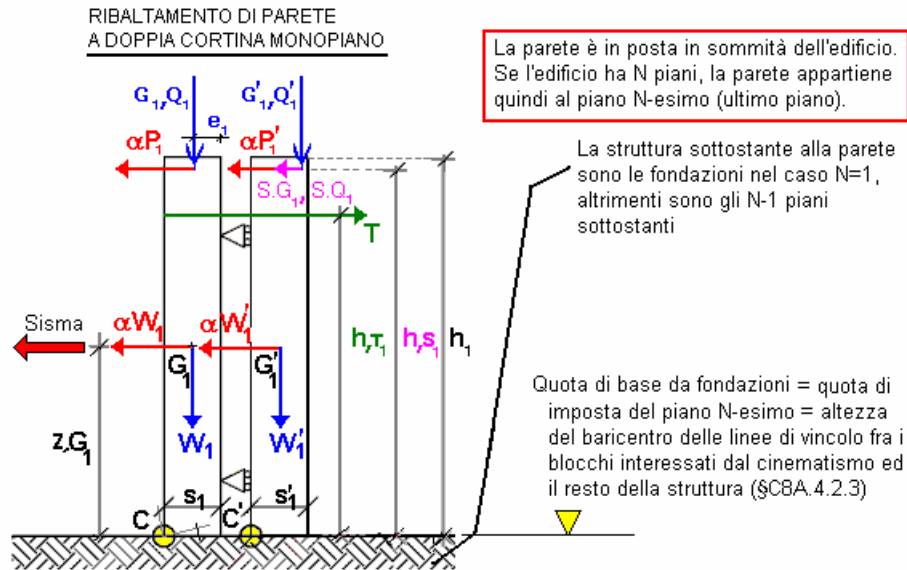


Fig. B.3.5. 003. Ribaltamento di parete a doppia cortina monopiano

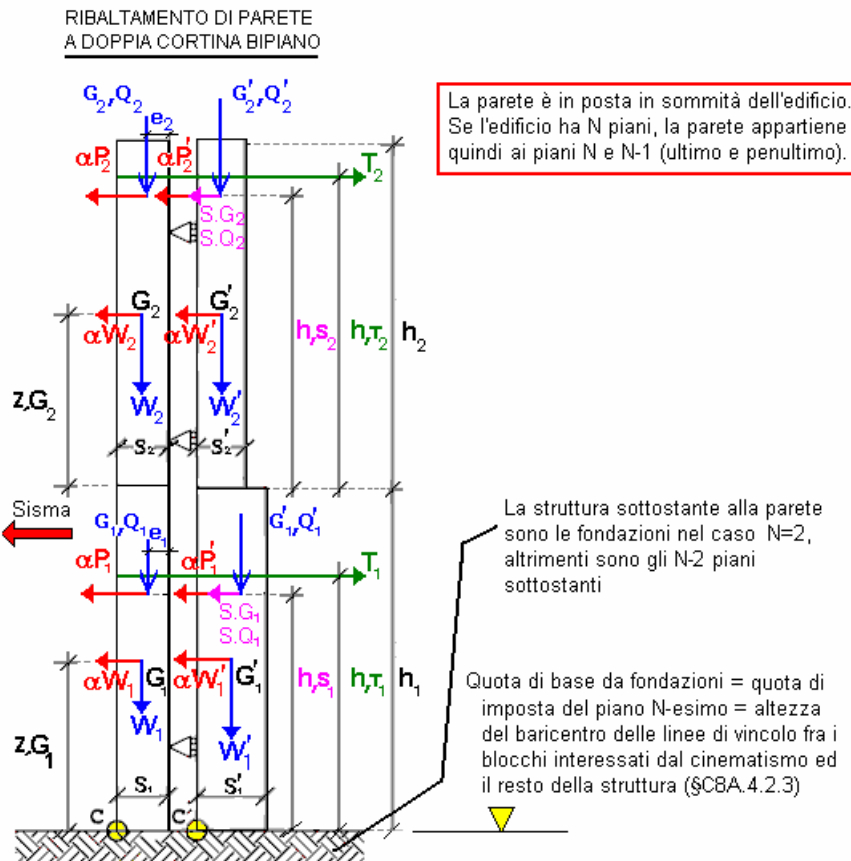


Fig. B.3.6. 004. Ribaltamento di parete a doppia cortina bipiano

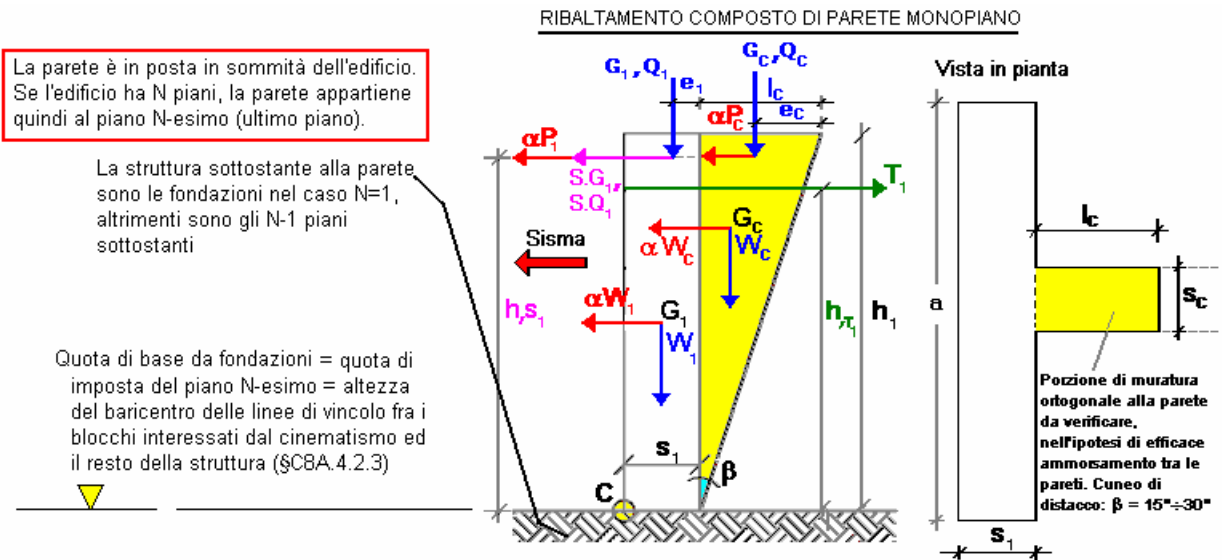


Fig. B.3.7. 005. Ribaltamento composto di parete monopiano

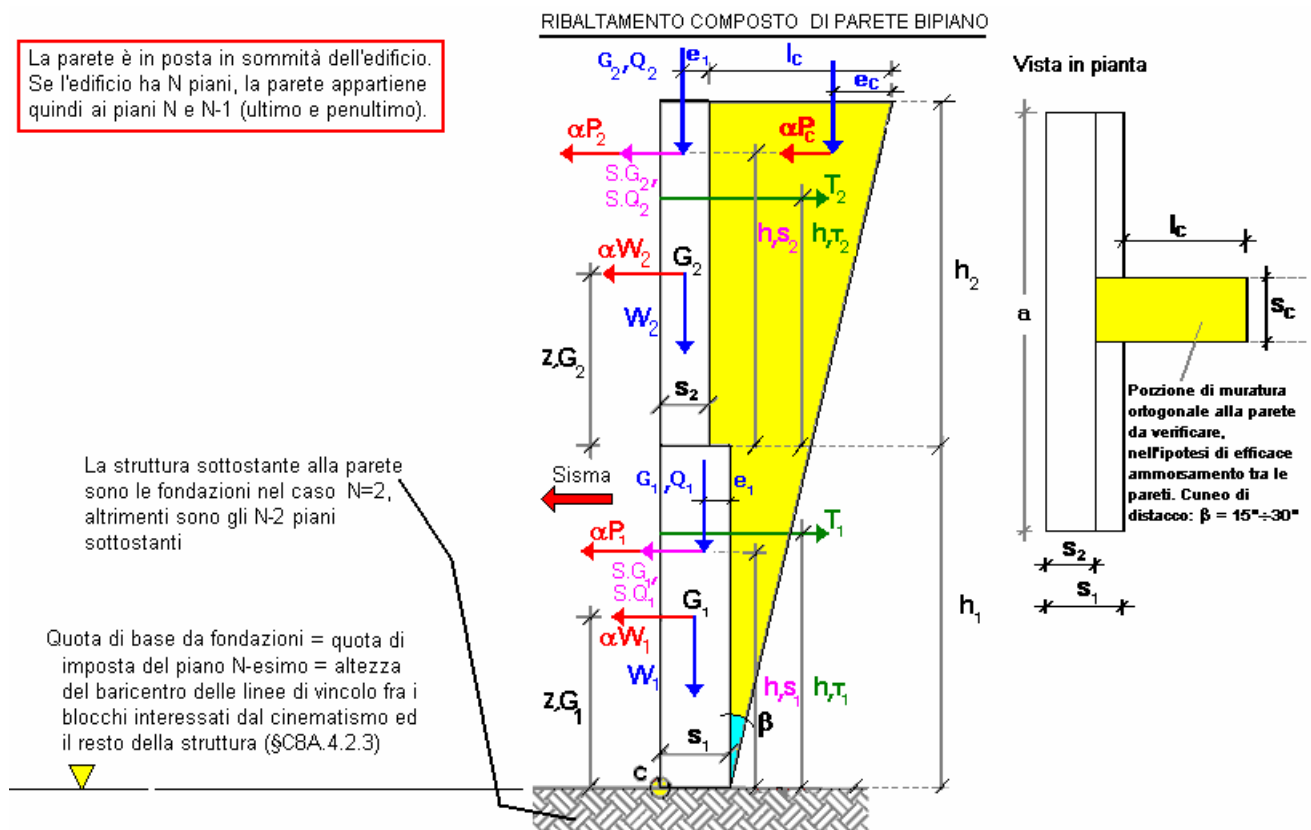


Fig. B.3.8. 006. Ribaltamento di parete bipiano con cuneo

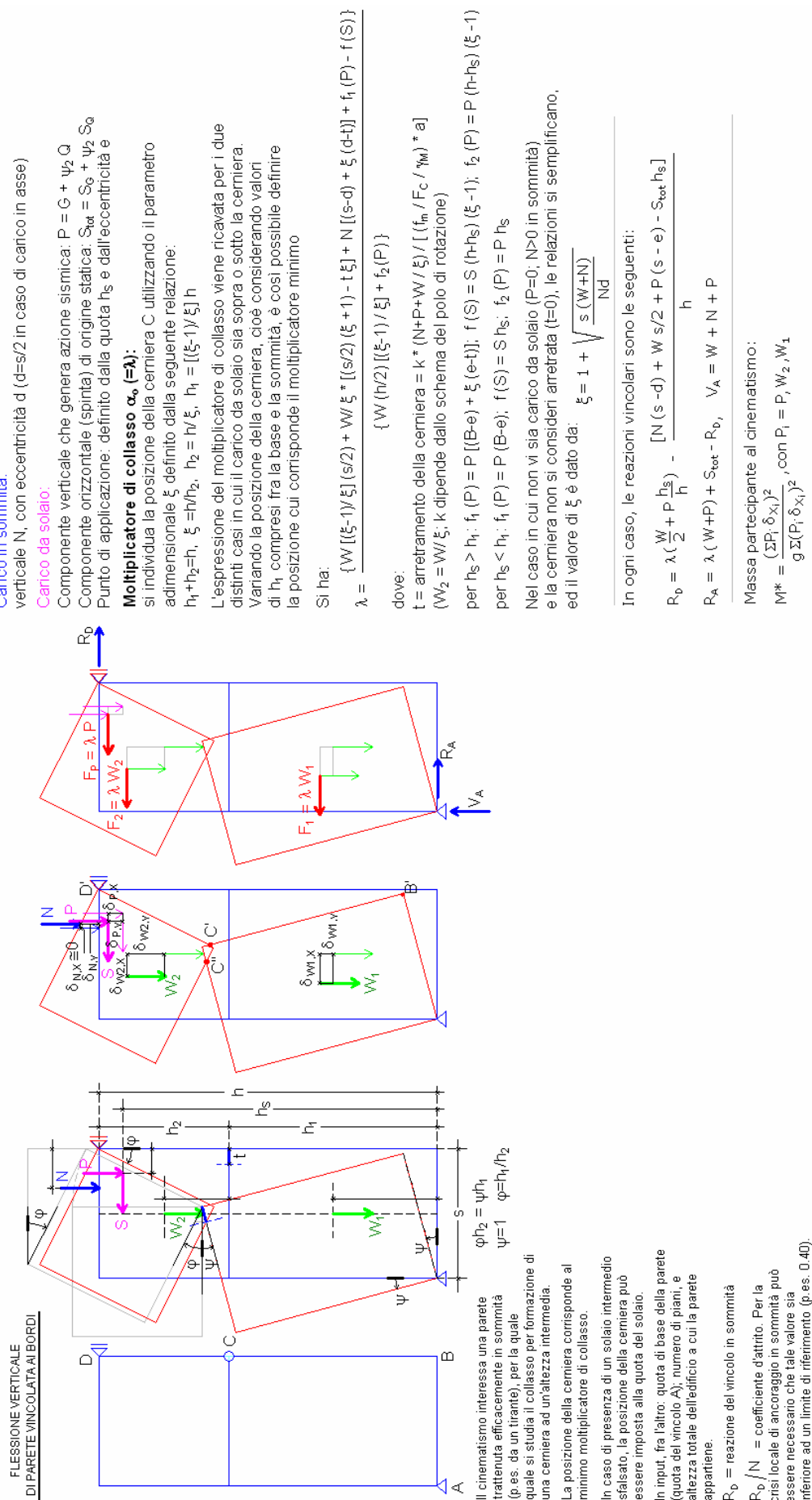
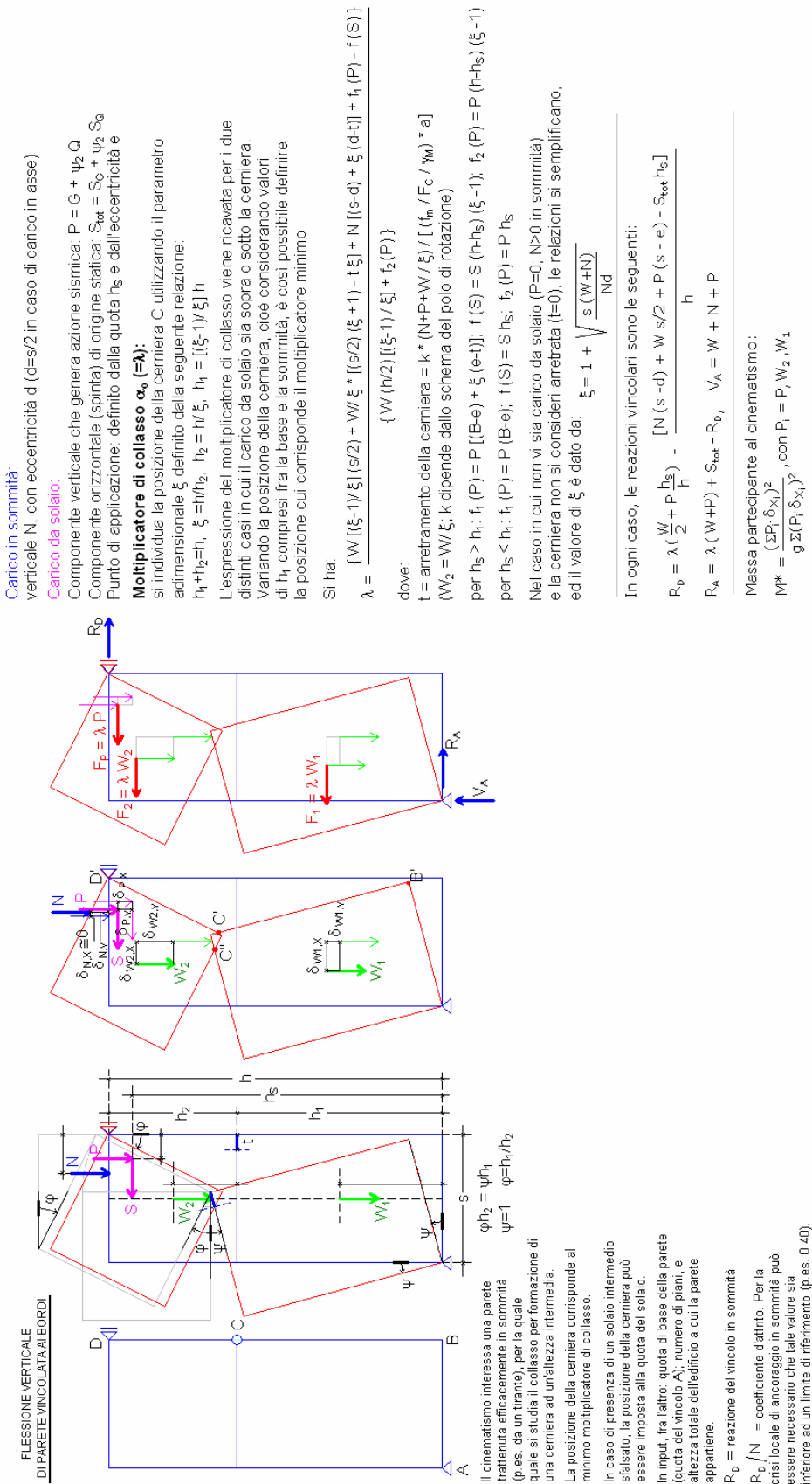


Fig. B.3.9. 007. Flessione verticale di parete vincolata ai bordi



Dimensionamento del rinforzo in FRP

1. Si determina la posizione della cerniera C (cioè h_1 , h_2), dipendente dai carichi agenti e dalla geometria
2. Si calcola il corrispondente moltiplicatore di collasso
3. Si esegue la verifica di sicurezza: se non è soddisfatta, si prosegue ai punti successivi, se no Stop.
4. Si definisce il moltiplicatore tale che la verifica sia soddisfatta (coefficiente di sicurezza pari a 1.0)
5. Si calcola la forza di trazione che deve essere garantita dal rinforzo in FRP, utilizzando le seguenti relazioni.

Sollecitazioni di calcolo nella sezione $z=h_1$ (sezione della cerniera C):

$$N_{sd} = \text{sfuerzo normale sollecitante di progetto}, M_{sd} = \text{momento sollecitante di progetto}$$

$$N_{sd} = N + P + W_2$$

$$M_{sd} = R_0 h_2 - \lambda W_2 h_2 / 2 - (\lambda P + S_{tot}) [h_2 - (h - h_s)] - N (d - s/2) - P (e - s/2)$$

(nel caso $h_s < h_1$, sono assenti i contributi del carico di solaio: P , S_{tot})

In assenza di carico di solaio e con sforzo N centrato, l'espressione del momento si semplifica in:

$$M_{sd} = \lambda W h_1 h_2 / 2h - (N + W) / 2 * s h_2 / h$$

Al **sistema muratura-rinforzo in FRP** corrisponde una coppia di forze: F_f per il rinforzo, F_m per la muratura.

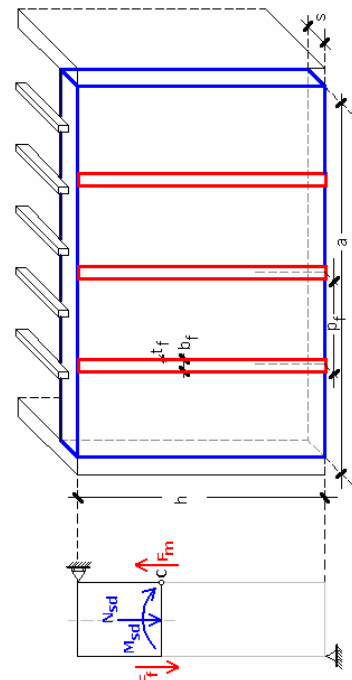
La forza F_m viene pensata concentrata, prescindendo dalla resistenza a compressione della muratura.

$$F_{sd} = M_{sd} / s - N_{sd} / 2$$

La verifica di sicurezza consiste nel confrontare la sollecitazione con la resistenza di progetto: $F_{sd} < F_{rd}$

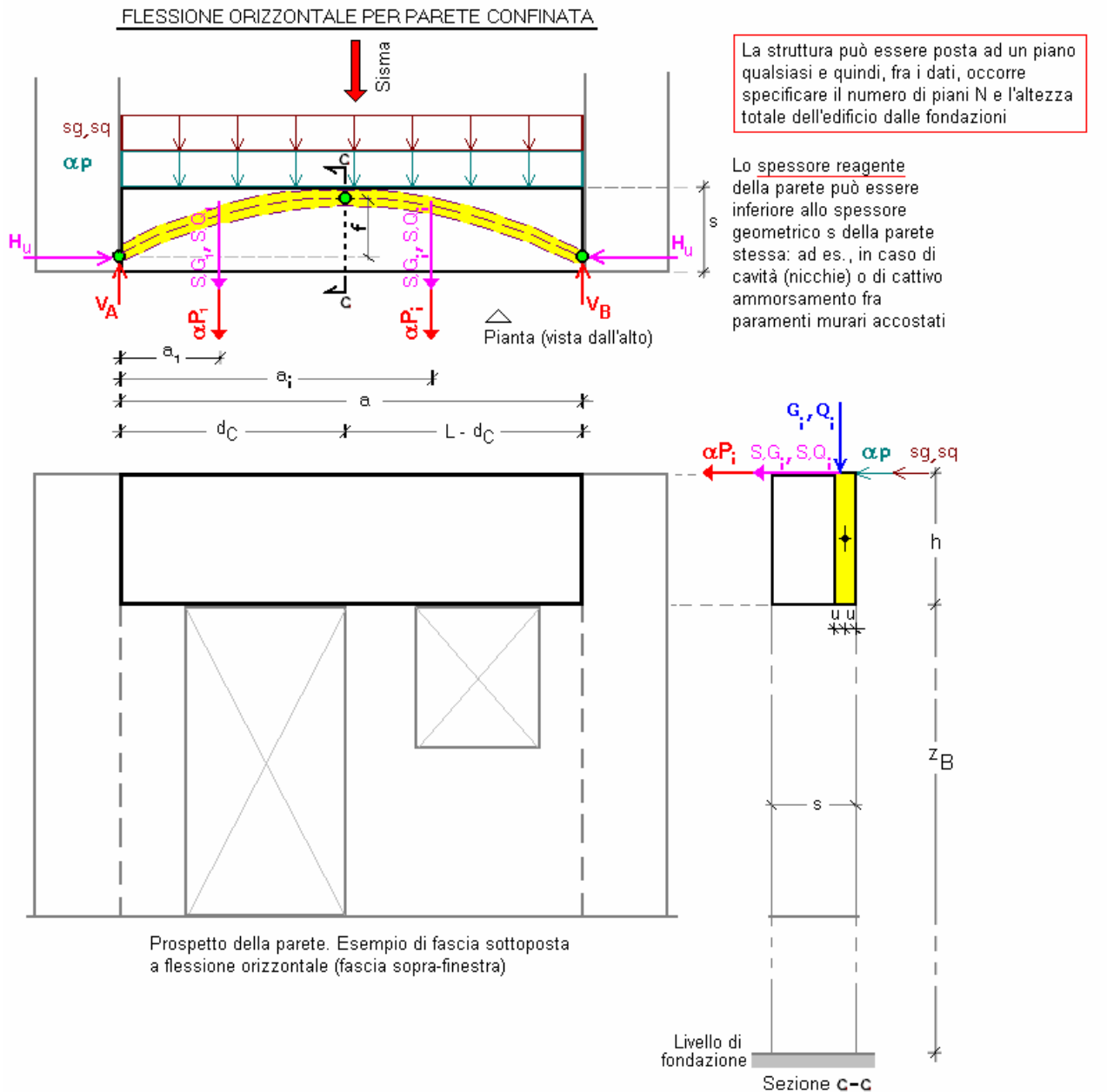
La resistenza di progetto F_{rd} è data dal minimo valore tra la resistenza a trazione del rinforzo e la resistenza di ancoraggio del rinforzo alla muratura

Disposizione nastri in FRP per miglioramento cinematisimo per flessione verticale



Per il dimensionamento dei nastri in FRP: tipologia, larghezza, spessore e interasse dei nastri, da cui deriva F_{rd} , fare riferimento alle Linee Guida C.S.I.LL.PP. del 24.7.2009

Fig. B.3.10. 008. Flessione verticale di parete vincolata ai bordi con rinforzi in FRP



Carichi concentrati applicati sopra la fascia muraria ($n \cdot m_{\max} \cdot s$): componenti verticali: $P = G + \psi_2 Q$; spinte: $S = SG + \psi_2 SQ$

Carichi distribuiti agenti sopra la fascia muraria: componenti verticali: $p = g + \psi_2 q$; spinte: $S_{\text{tot}} = sg + \psi_2 sq$

Carichi orizzontali sismici (α =moltiplicatore) concentrati: αP_i , distribuiti: αp , αw ($w = p \cdot \text{spec.} \cdot s \cdot h$)

La **posizione della cerniera** d_C può essere definita a priori, oppure determinata dalla ricerca del minimo moltiplicatore di collasso.

Moltiplicatore di collasso: $\lambda = (H_u \cdot f - C_1) / C_2$ dove:

f = freccia dell'arco compresso, per ipotesi pari a: $s - 2u$, essendo $2u$ =altezza sezione dell'arco compresso;

si pone: $u = s/k$, dove k è un parametro in input che assume valori ≥ 4 . Per $k=4$, il moltiplicatore assume il massimo valore, a parità di altri parametri.

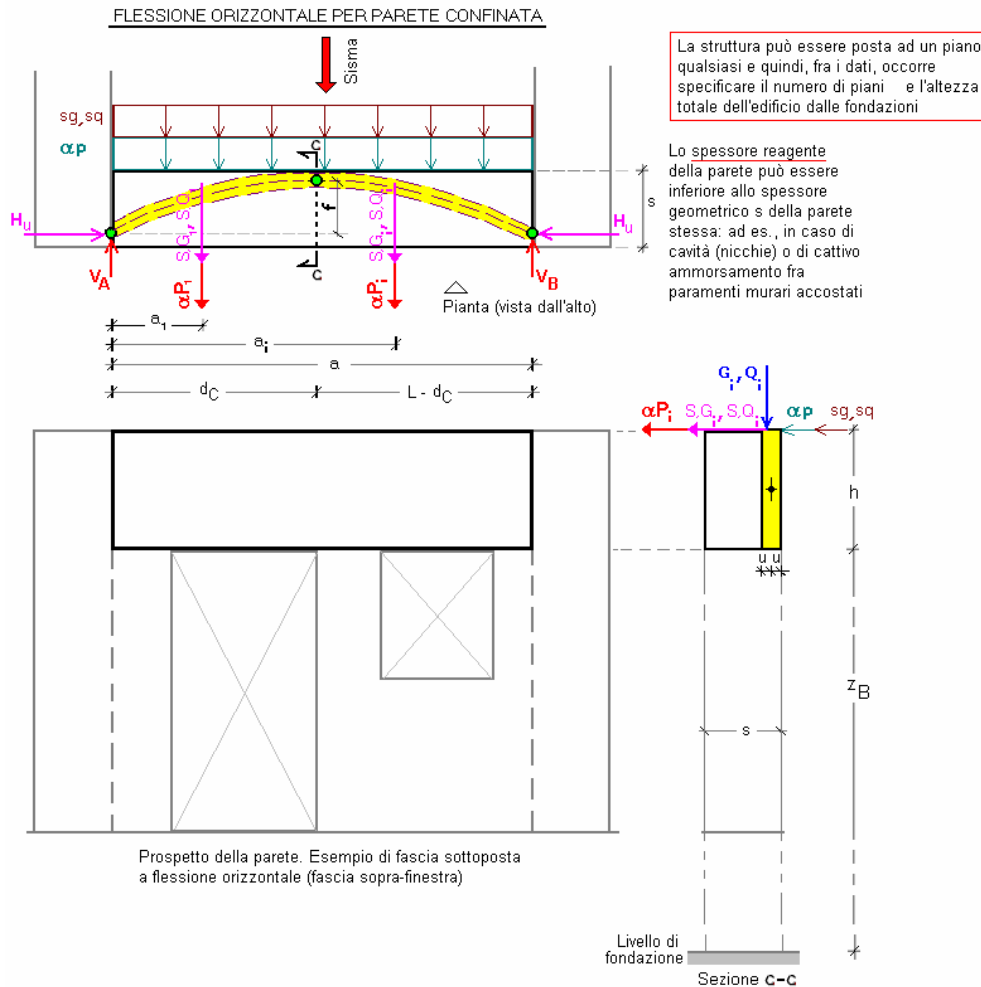
$$H_u = 2 f_{hd} u h$$

$$C_1 = \frac{(a-d_C)}{a} \left[\sum_{i=1}^n S_i a_i + \frac{S_{\text{tot}} a^2}{2} - \frac{a}{(a-d_C)} \sum_{i=m}^n S_i (a_i - d_C) - \frac{a}{2} S_{\text{tot}} (a-d_C) \right]$$

$$C_2 = \frac{(a-d_C)}{a} \left[\sum_{i=1}^n P_i a_i + \frac{(p+w) a^2}{2} - \frac{a}{(a-d_C)} \sum_{i=m}^n P_i (a_i - d_C) - \frac{a}{2} (p+w) (a-d_C) \right]$$

$$M^* = \frac{(\sum P_i d_i)^2}{g \sum (P_i d_i)^2}, \text{ con } P_i d_i \text{ dati da: } P_i a_i [i=1, m-1], P_i (a-a_i) \frac{d_C}{(a-d_C)} [i=m, n], p d_C \cdot d_C/2, p(a-d_C) \cdot d_C/2$$

Fig. B.3.11. 009. Flessione orizzontale di parete confinata



Carichi concentrati applicati sopra la fascia muraria ($n \leq n_{\max}$; s): componenti verticali: $P = G + \psi_2 Q$; spinte: $S = SG + \psi_2 SQ$

Carichi distribuiti agenti sopra la fascia muraria: componenti verticali: $p = g + \psi_2 q$; spinte: $S_{\text{tot}} = sg + \psi_2 sq$

Carichi orizzontali sismici (α =moltiplicatore) concentrati: αP_i , distribuiti: αp , αw ($w = p \cdot \text{spec} \cdot s \cdot h$)

La **posizione della cerniera** d_C può essere definita a priori, oppure determinata dalla ricerca del minimo moltiplicatore di collasso.

Moltiplicatore di collasso: $\lambda = (H_u \cdot f - C_1) / C_2$ dove:

f = freccia dell'arco compresso, per ipotesi pari a: $s - 2u$, essendo $2u$ =altezza sezione dell'arco compresso;

si pone: $u = s/k$, dove k è un parametro in input che assume valori ≥ 4 . Per $k=4$, il moltiplicatore assume il massimo valore, a parità di altri parametri.

$$H_u = 2 f_{hd} u h$$

$$C_1 = \frac{(a-d_C)}{a} \left[\sum_{i=1}^n S_i a_i + \frac{S_{\text{tot}} a^2}{2} - \frac{a}{(a-d_C)} \sum_{i=m}^n S_i (a_i - d_C) - \frac{a}{2} S_{\text{tot}} (a-d_C) \right]$$

$$C_2 = \frac{(a-d_C)}{a} \left[\sum_{i=1}^n P_i a_i + \frac{(p+w) a^2}{2} - \frac{a}{(a-d_C)} \sum_{i=m}^n P_i (a_i - d_C) - \frac{a}{2} (p+w)(a-d_C) \right]$$

$$M^* = \frac{(\sum P_i d_i)^2}{g \sum (P_i d_i)^2}, \text{ con } P_i d_i \text{ dati da: } P_i a_i [i=1, m-1], P_i (a-a_i) \frac{d_C}{(a-d_C)} [i=m, n], p d_C \cdot d_C/2, p(a-d_C) \cdot d_C/2$$

Dimensionamento del rinforzo in FRP

1. Si calcola il moltiplicatore di collasso
2. Si esegue la verifica di sicurezza: se non è soddisfatta, si prosegue ai punti successivi, se no Stop.
3. Si definisce il moltiplicatore tale che la verifica sia soddisfatta (coefficiente di sicurezza pari a 1.0)
4. Si calcola la forza di trazione che deve essere garantita dal rinforzo in FRP, utilizzando le seguenti relazioni.

Sollecitazione di calcolo (momento) nella sezione $x=d_C$ (sezione della cerniera C): M_{sd}

$$M_{sd} = \sum_{i=1}^{m-1} (\lambda P_i + S_i) a_i (a-d_C)/a + \sum_{i=m}^n (\lambda P_i + S_i) (a-a_i) d_C/a + (\lambda p + S_{\text{tot}}) d_C (a-d_C)/2$$

Al **sistema muratura-rinforzo in FRP** corrisponde una coppia di forze: F_f per il rinforzo, F_m per la muratura.

La forza F_m viene pensata concentrata, prescindendo dalla resistenza a compressione della muratura.

Pertanto, si ha:

$$F_{sd} = M_{sd} / s$$

La verifica di sicurezza consiste nel confrontare la sollecitazione con la resistenza di progetto: $F_{sd} \leq F_{rd}$

La resistenza di progetto F_{rd} è data dal minimo valore tra la resistenza a trazione del rinforzo e la resistenza di ancoraggio del rinforzo alla muratura

Per il dimensionamento dei rinforzi in FRP: tipologia, larghezza, spessore e interasse dei nastri, da cui deriva F_{rd} ,

fare riferimento alle Linee Guida C.S.LL.PP. del 24.7.2009

Fig. B.3.12. 010. Flessione orizzontale di parete confinata con rinforzi in FRP

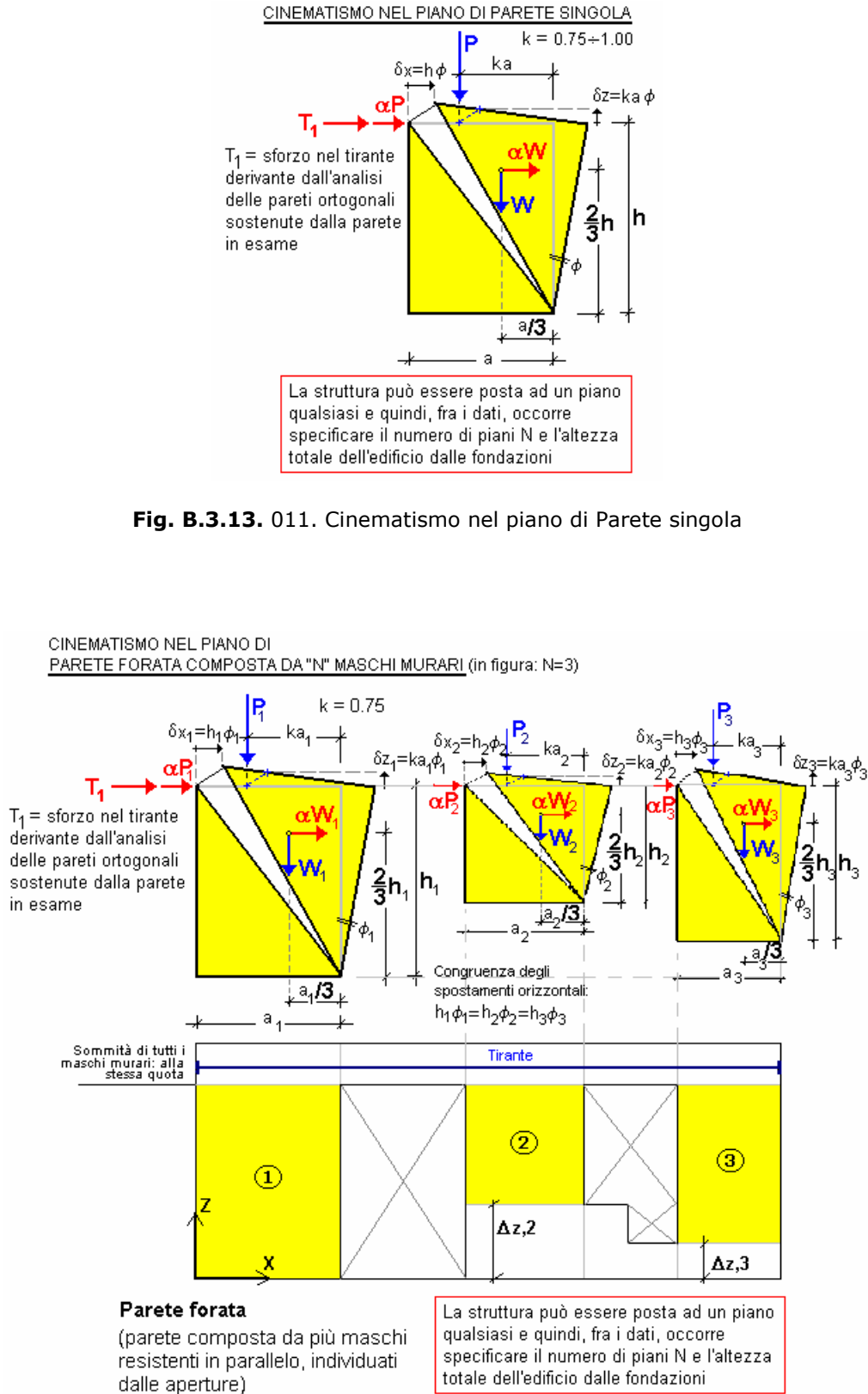
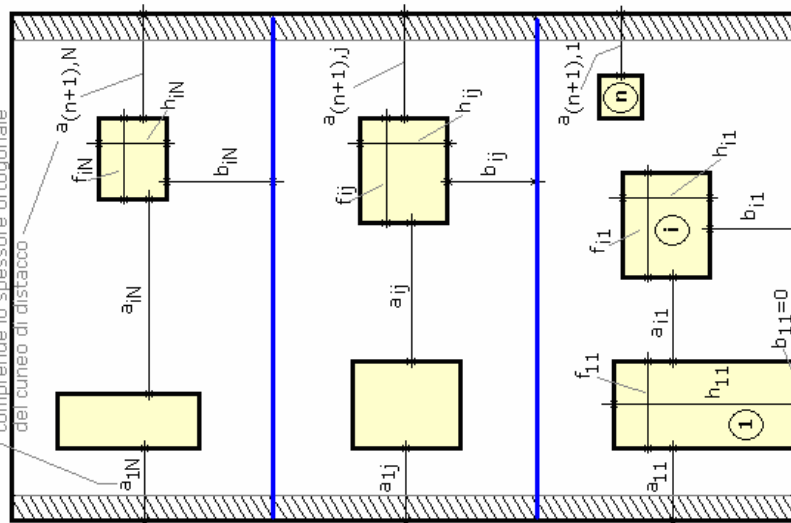


Fig. B.3.14. 012-015. Cinematismo nel piano di Parete composta da N maschi ($2 \leq N \leq 5$)

Cinematismo fuori piano di parete a N piani con aperture.
In figura: $N=3$. Numero max di aperture per piano: 4

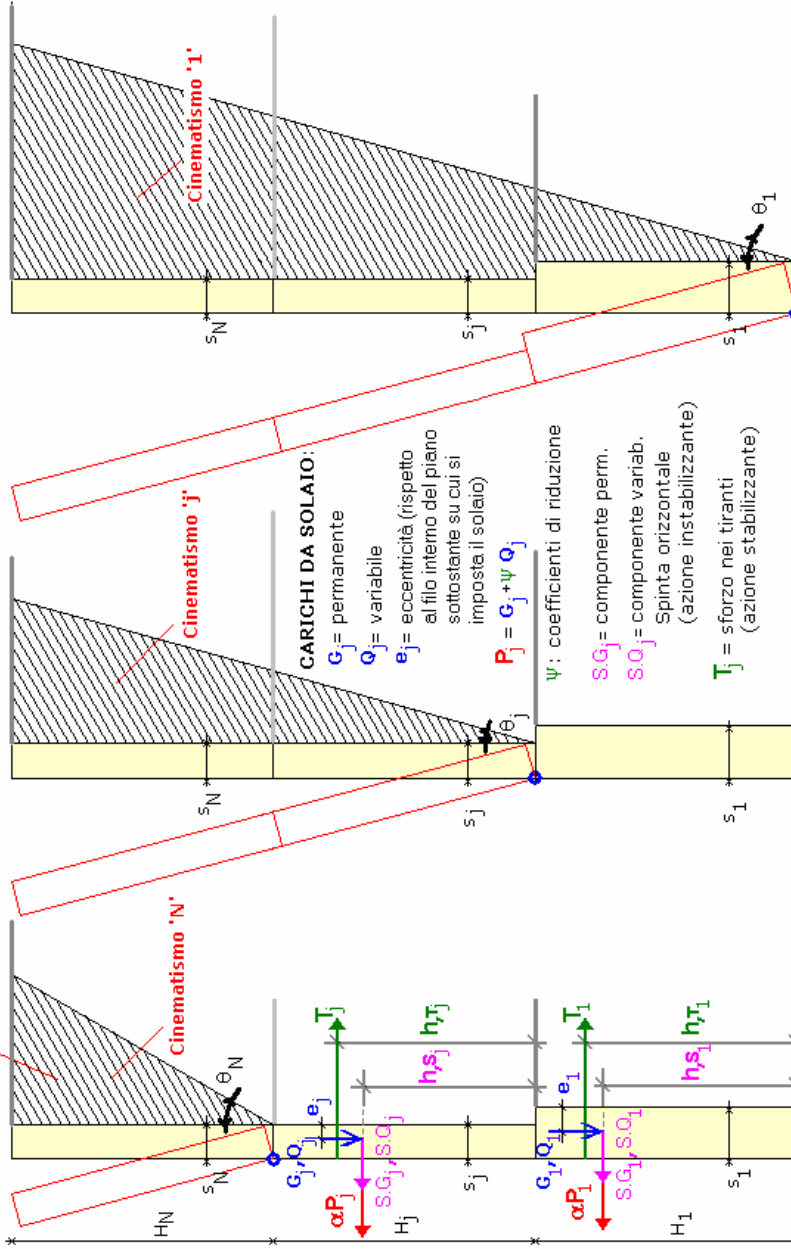
La larghezza dei maschi ai bordi
comprende lo spessore ortogonale
del cuneo di distacco



Dati variabili per ogni piano sono i seguenti: spessore; altezza; numero ($n \leq 4$) e posizione delle aperture; peso specifico della muratura; carichi e forze stabilizzanti da solaio; e per cinematismi composti (con cuneo di distacco): spessore equivalente del cuneo (=somma degli spessori dei cunei ortogonali considerati: normalmente 2, come in figura); angolo di definizione del cuneo di distacco.

La posizione della cerniera (polo di rotazione) può essere arretrata rispetto allo spigolo esterno qualora nel calcolo si tenga conto della resistenza a compressione

Il cinematismo "composto" considera il cuneo di distacco collaborante con la parete in ribaltamento. Il cuneo viene definito dall'angolo $\theta > 0$. Se $\theta = 0$, il ribaltamento fuori piano è definito "semplice" (non vi sono murti trasversali collaboranti).



CARICHI DA SOLAIO:

G_j = permanente

Q_j = variabile

e_j = eccentricità (rispetto al filo interno del piano sovrastante su cui si imposta il solaio)

$P_j = G_j + Q_j$

ψ : coefficienti di riduzione

$S G_j$ = componente perm.

$S Q_j$ = componente variab.

Spinta orizzontale (azione instabilizzante)

T_j = sforzo nei tiranti (azione stabilizzante)

Il ribaltamento fuori piano di una parete di N piani genera N possibili cinematismi.

Per un dato piano, il corrispondente cinematismo viene definito dalla rotazione (attorno allo spigolo di base esterno) della porzione muraria sovrastante alla base del piano considerato.

LEGENDA DEI PARAMETRI: le aperture sono numerate da sinistra a destra ($1, \dots, i, \dots, n, n < 4$); i maschi che ne risultano definiti sono numeri analogamente ($1, \dots, j, \dots, n+1$). I piani sono numerati dal basso verso l'alto ($1, \dots, j, \dots, N$).

a_{ij} = larghezza del maschio i del piano j; f_{ij} = larghezza dell'apertura i del piano j;

h_{ij} = altezza dell'apertura i del piano j; b_{ij} = distanza dalla base del piano, dell'apertura i del piano j;

s_j = spessore del piano j; H_j = altezza di interpiano del piano j; $s_{c,j}$ = spessore del cuneo del piano j;

$\theta_{j,j}$ = angolo di distacco del cinematismo del piano j.

Fig. B.3.15. 016-020. Parete con aperture (fuori piano) a N piani ($1 \leq N \leq 5$)

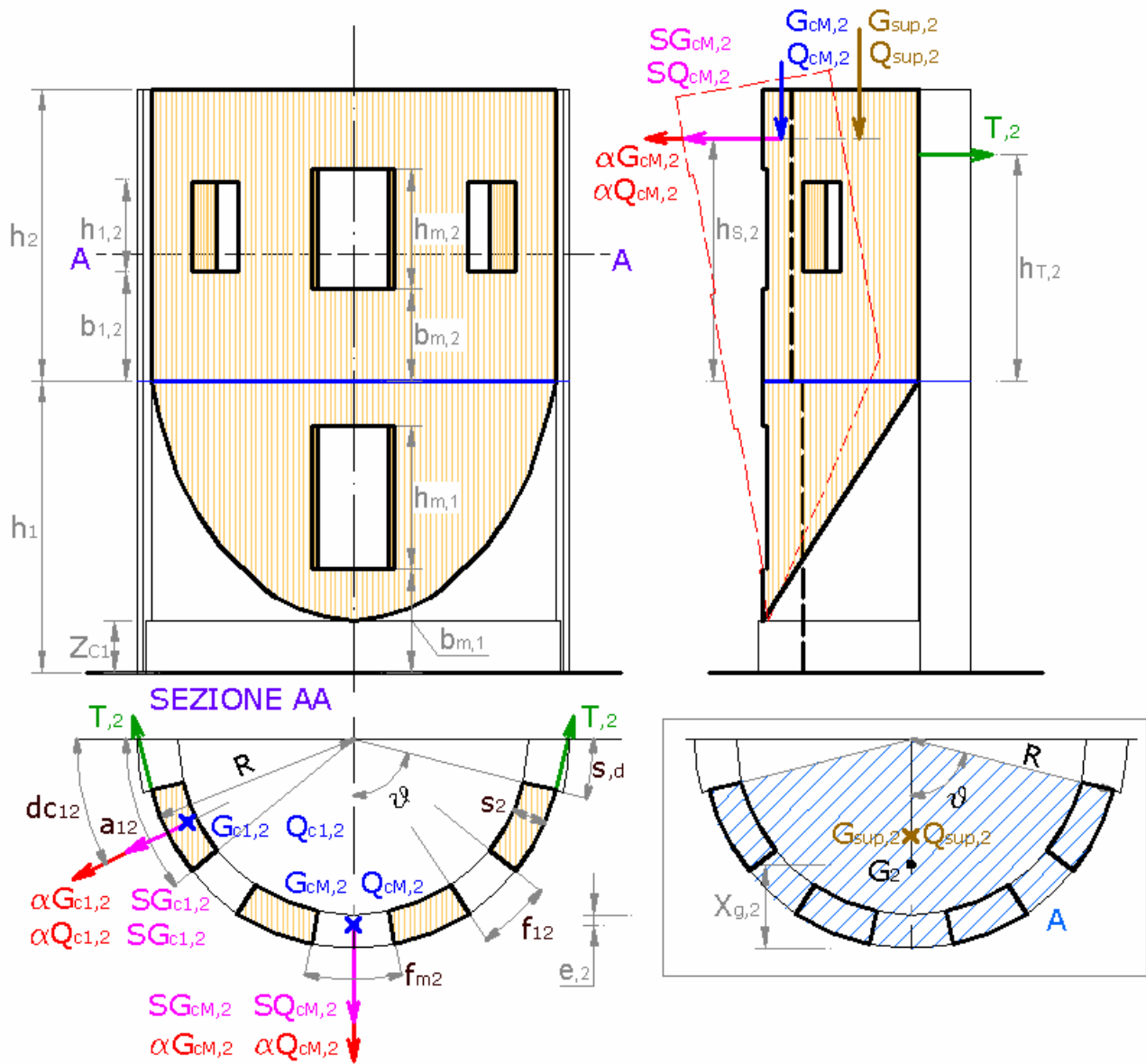


Fig. B.3.16. 021. Ribaltamento di Abside cilindrica (fuori piano)

RIBALTAMENTO DI PARETE LONGITUDINALE DI UNA CHIESA

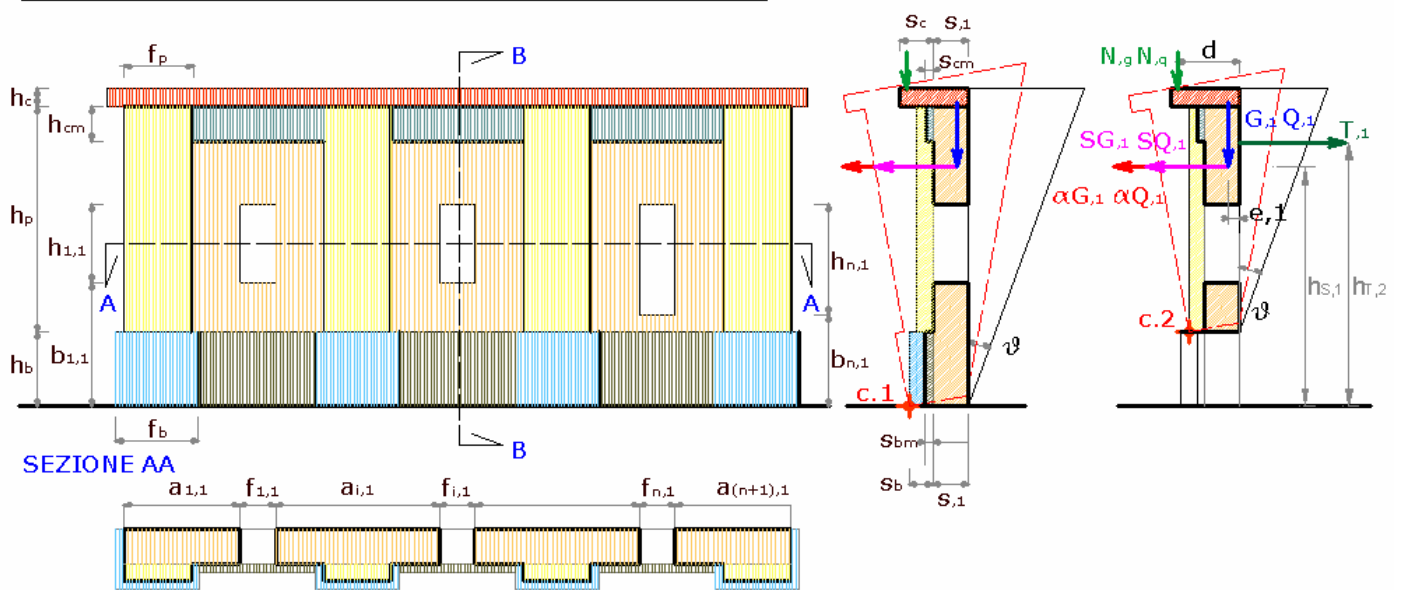


Fig. B.3.17. 022. Ribaltamento di parete longitudinale di una chiesa: 1 piano, fino a 7 aperture

Ribaltamento facciata di chiesa a 3 navate

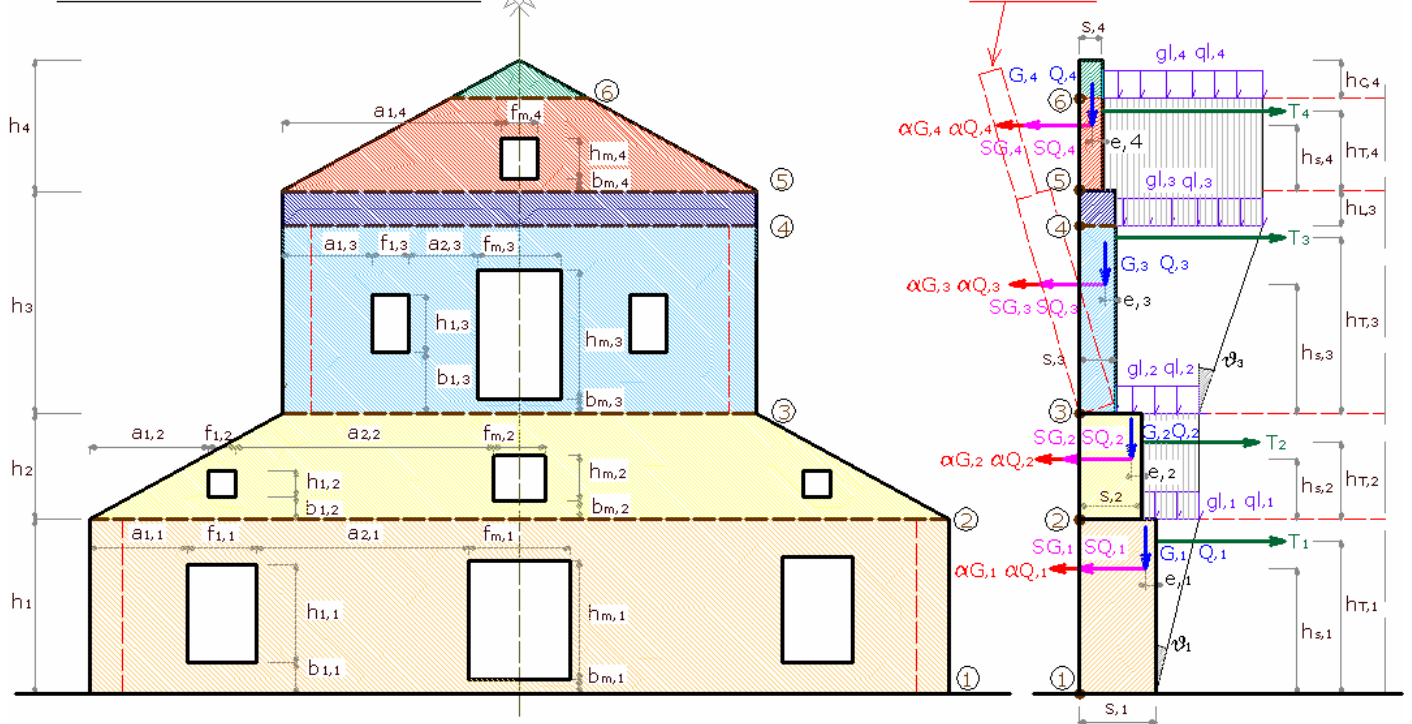


Fig. B.3.18. 023. Ribaltamento di facciata di chiesa a tre navate (fuori piano)

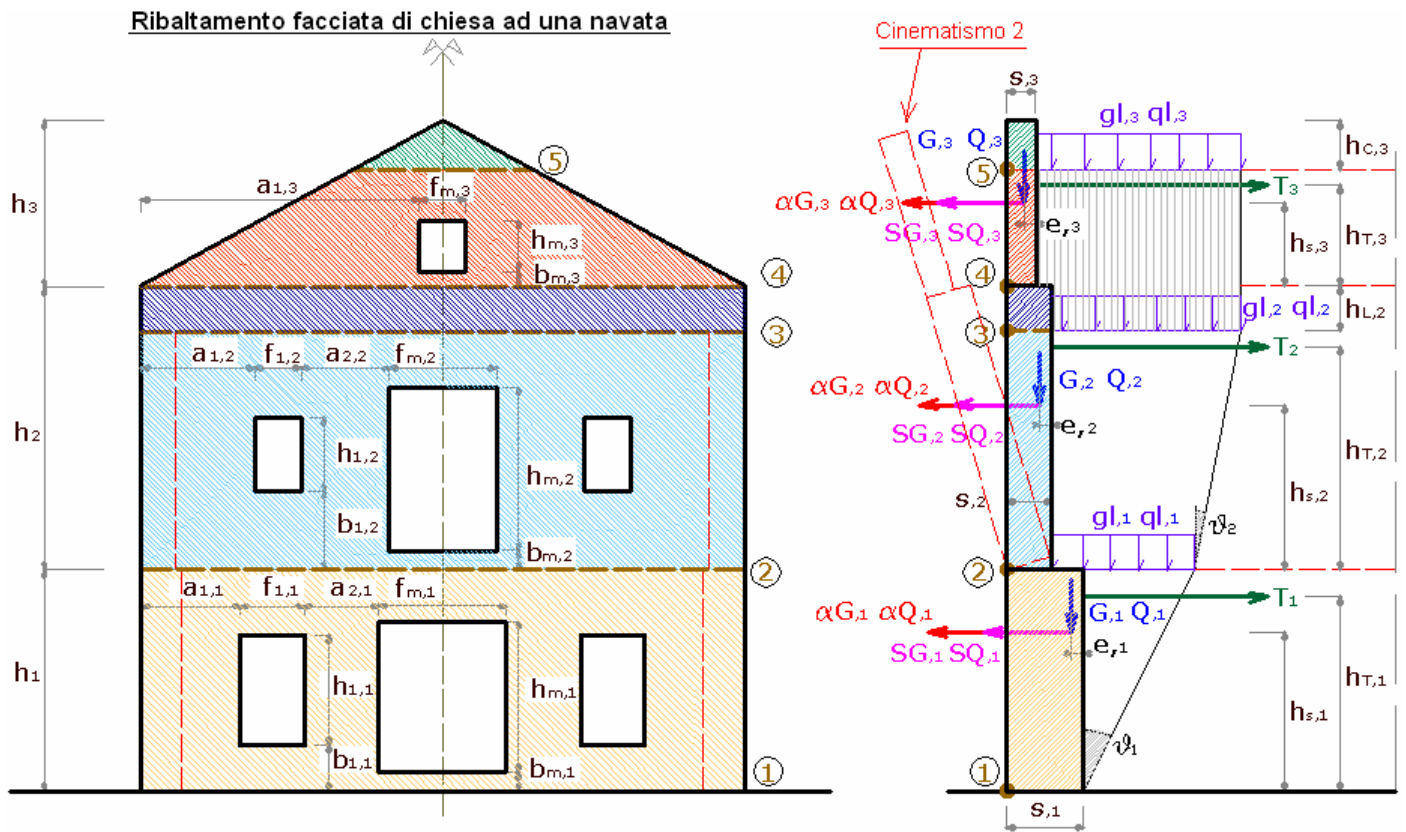


Fig. B.3.19. 024. Ribaltamento di facciata di una chiesa a una navata (fuori piano)

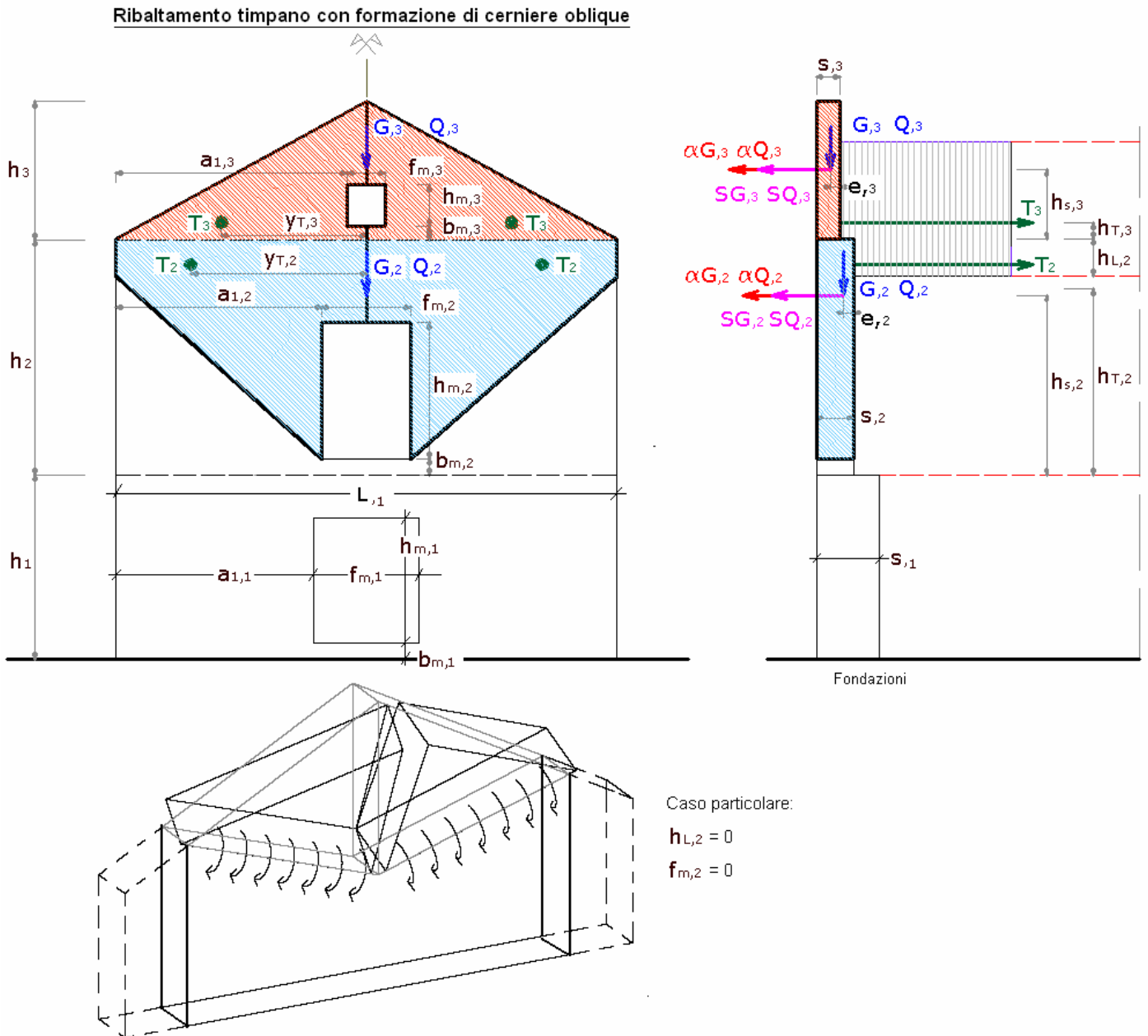


Fig. B.3.20. 025. Ribaltamento di timpano con formazione di cerniere oblique (fuori piano)

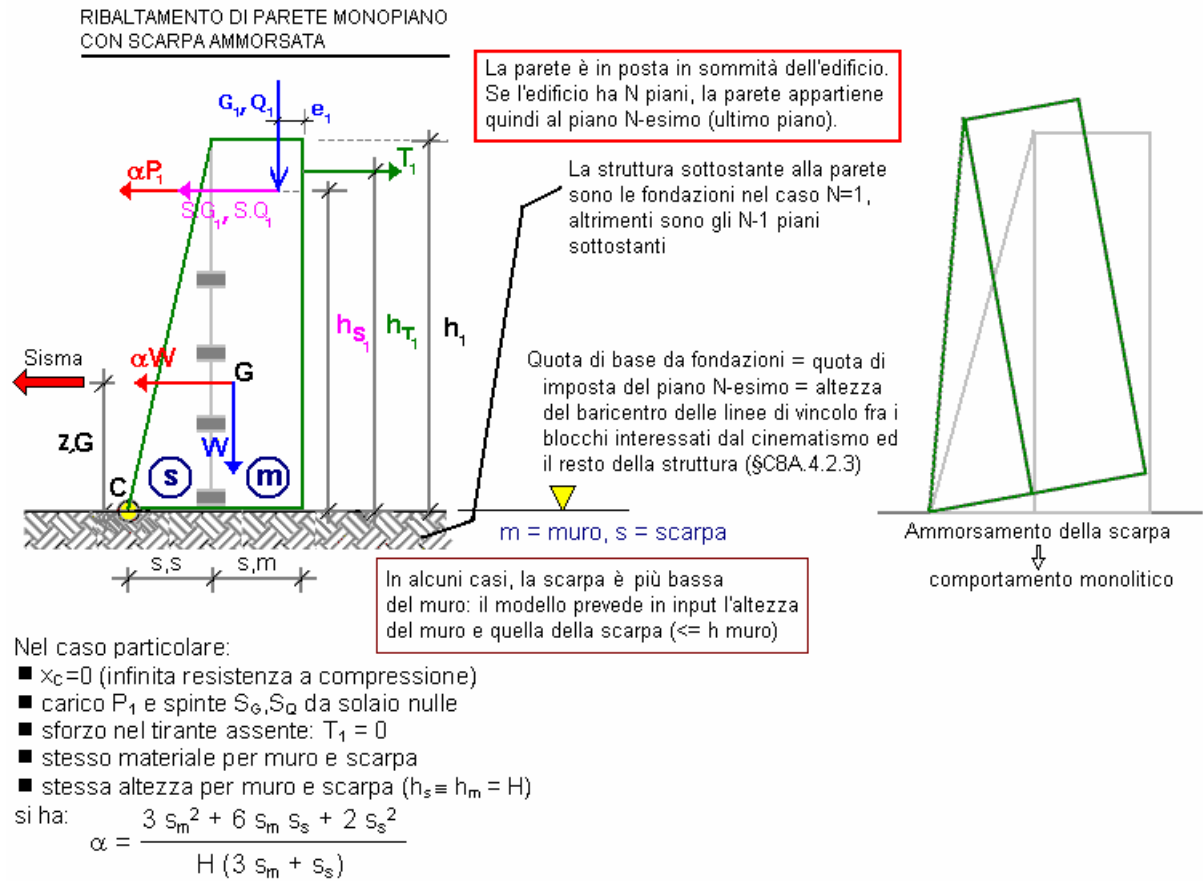


Fig. B.3.21. 026. Ribaltamento di parete monopiano con scarpa ammorsata

RIBALTAMENTO DI PARETE MONOPIANO
CON SCARPA NON AMMORSATA

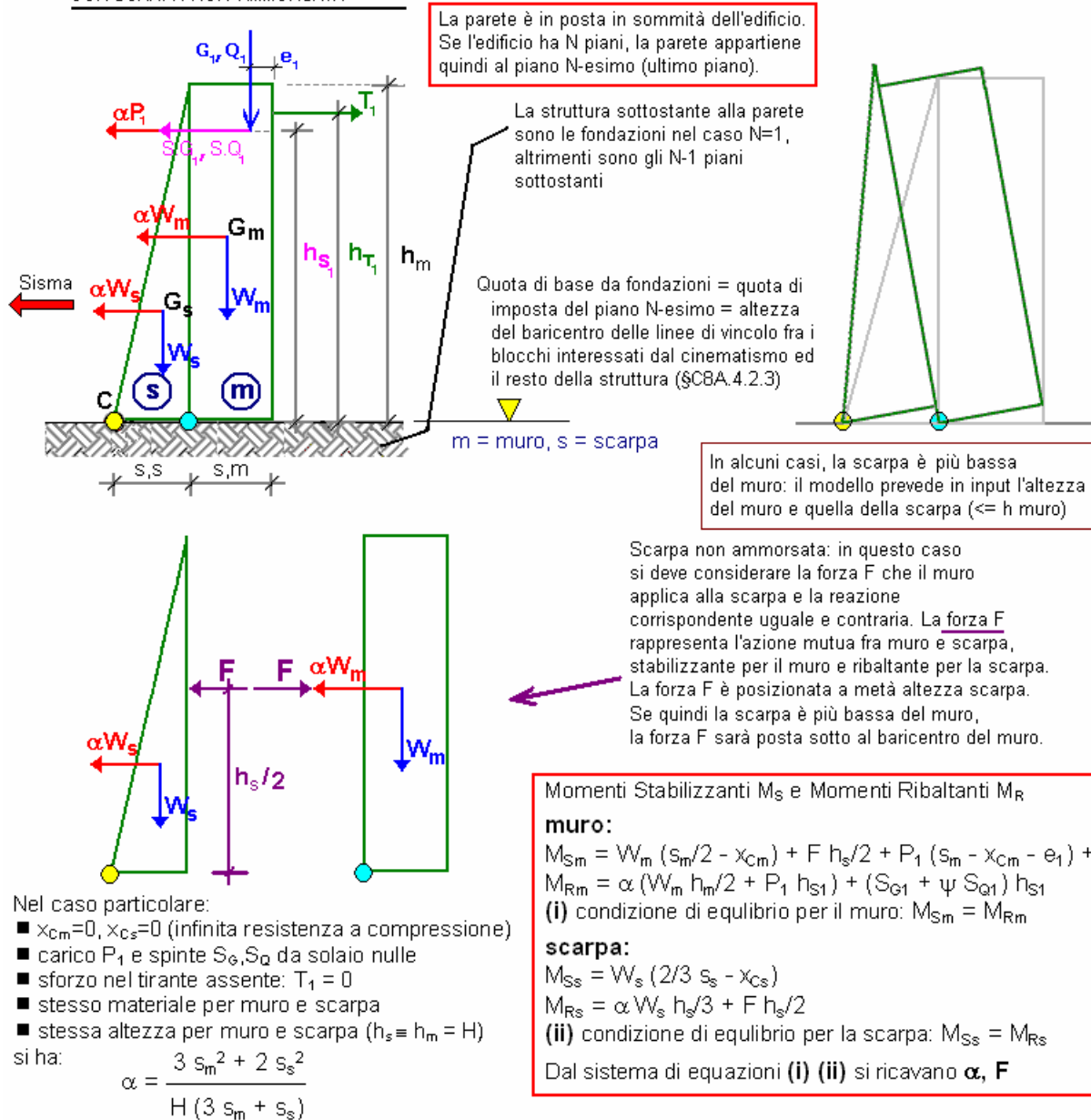


Fig. B.3.22. 027. Ribaltamento di parete monopiano con scarpa non ammorsata

Ribaltamento del cantonale definito dai parametri 1 e 2 intorno ad una cerniera C posta alla base del cuneo di distacco

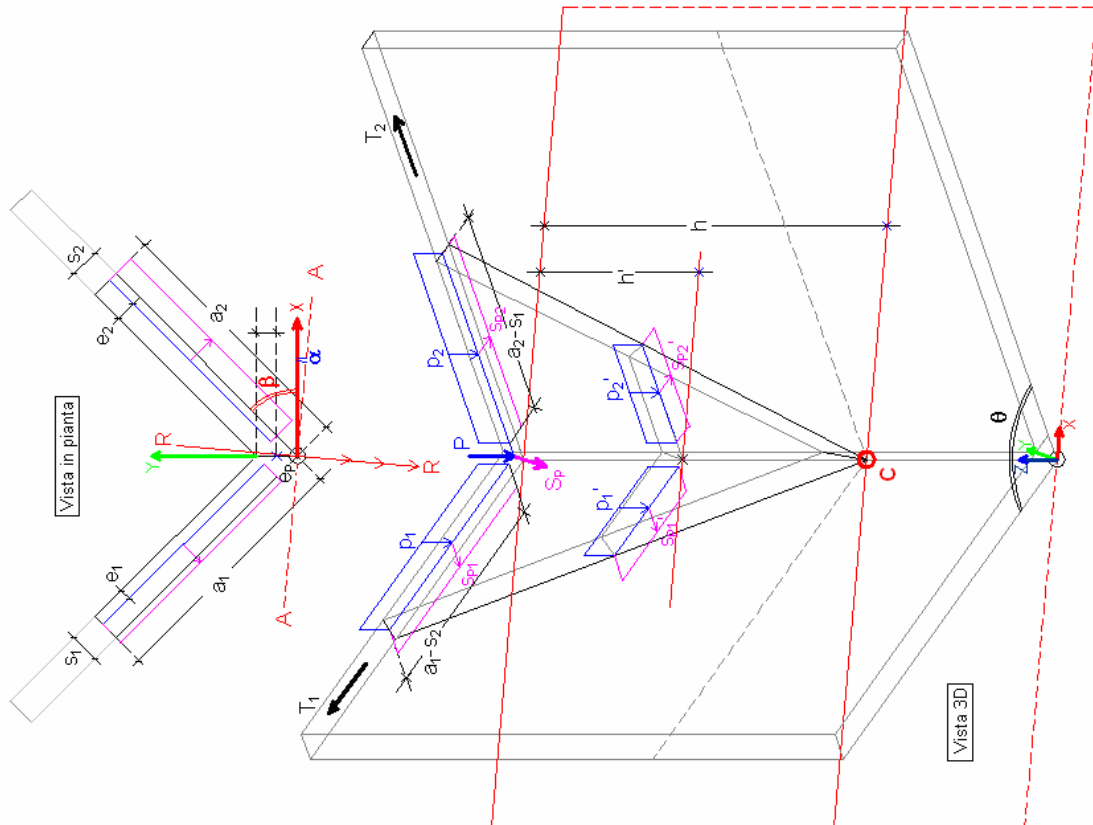


Fig. B.3.23. 028. Ribaltamento di cantonale

Il cantonale si ribalta intorno all'asse A-A passante per C che forma un angolo $(\alpha+\beta)$ con il filo esterno del paramento 2 (vd. fig.)

Assi di riferimento (terna ortogonale XYZ):

Y = bisettrice dell'angolo θ fra i paramenti murari esterni 1 e 2,

X = ortogonale a Y e passante per lo spigolo,

Z = verticale

Angoli (misurati in senso orario):

α = angolo fra asse X e asse A-A ortogonale al piano R-R di ribaltamento (spesso: $\alpha=0^\circ$)

β = angolo fra +X e filo esterno del paramento 2 (spesso: $\beta=45^\circ$)

θ = angolo fra i paramenti murari 1 e 2 (spesso: $\theta = 90^\circ$)

h = altezza del cuneo di distacco;

h' = distanza fra sommità e piano di carico intermedio (h=0 in assenza di piano intermedio)

P = carico verticale trasmesso dal puntone del tetto sul cantonale

e_P = eccentricità di P rispetto al filo esterno dello spigolo

S_P = spinta (carico orizzontale) trasmesso dal puntone del tetto sul cantonale,

orientata nel piano della bisettrice dei due paramenti. La componente ribaltante è la proiezione su R-R

$P_1 = (g_1 + \psi_2 q_1) / a_1$ = carico verticale distribuito in sommità del paramento 1

$S_{P1} = (s_{g1} + \psi_2 s_{q1}) / a_1$ = carico orizzontale (spinta) distribuito in sommità del paramento 1,

ortogonale al piano del paramento stesso. La componente ribaltante è la proiezione su R-R

s_1 = spessore del paramento 1

e_1 = eccentricità di p_1 rispetto al filo interno del paramento 1

analogamente per il paramento 2: $P_2 = (g_2 + \psi_2 q_2) / a_2$; $S_{P2} = (s_{g2} + \psi_2 s_{q2}) / a_2$

s_2 = spessore del paramento 2

e_2 = eccentricità di p_2 rispetto al filo interno del paramento 2

Il carico distribuito verticale e orizzontale per un eventuale piano intermedio è espresso da:

$P_1' = (g_1' + \psi_2 q_1') / a_1$; $S_{P1}' = (s_{g1}' + \psi_2 s_{q1}') / a_1$; e_1'

$P_2' = (g_2' + \psi_2 q_2') / a_2$; $S_{P2}' = (s_{g2}' + \psi_2 s_{q2}') / a_2$; e_2'

s_1' e s_2' = spessori dei due paramenti al disotto della quota del piano di carico intermedio (in caso di spessore costante lungo l'altezza del paramento: $s'=s$)

h_G = altezza del baricentro del cuneo di distacco (punto di applicazione del peso proprio del cuneo)

T_1 = azione stabilizzante da tirante nel piano del paramento 1; T_2 = analogo per il paramento 2

Per il calcolo della **massa partecipante** al cinemismo:

posto ψ = rotazione imposta al cuneo intorno a C, lo spostamento orizzontale

di una massa M posta a quota h_M rispetto a C, è pari a: ψh_M

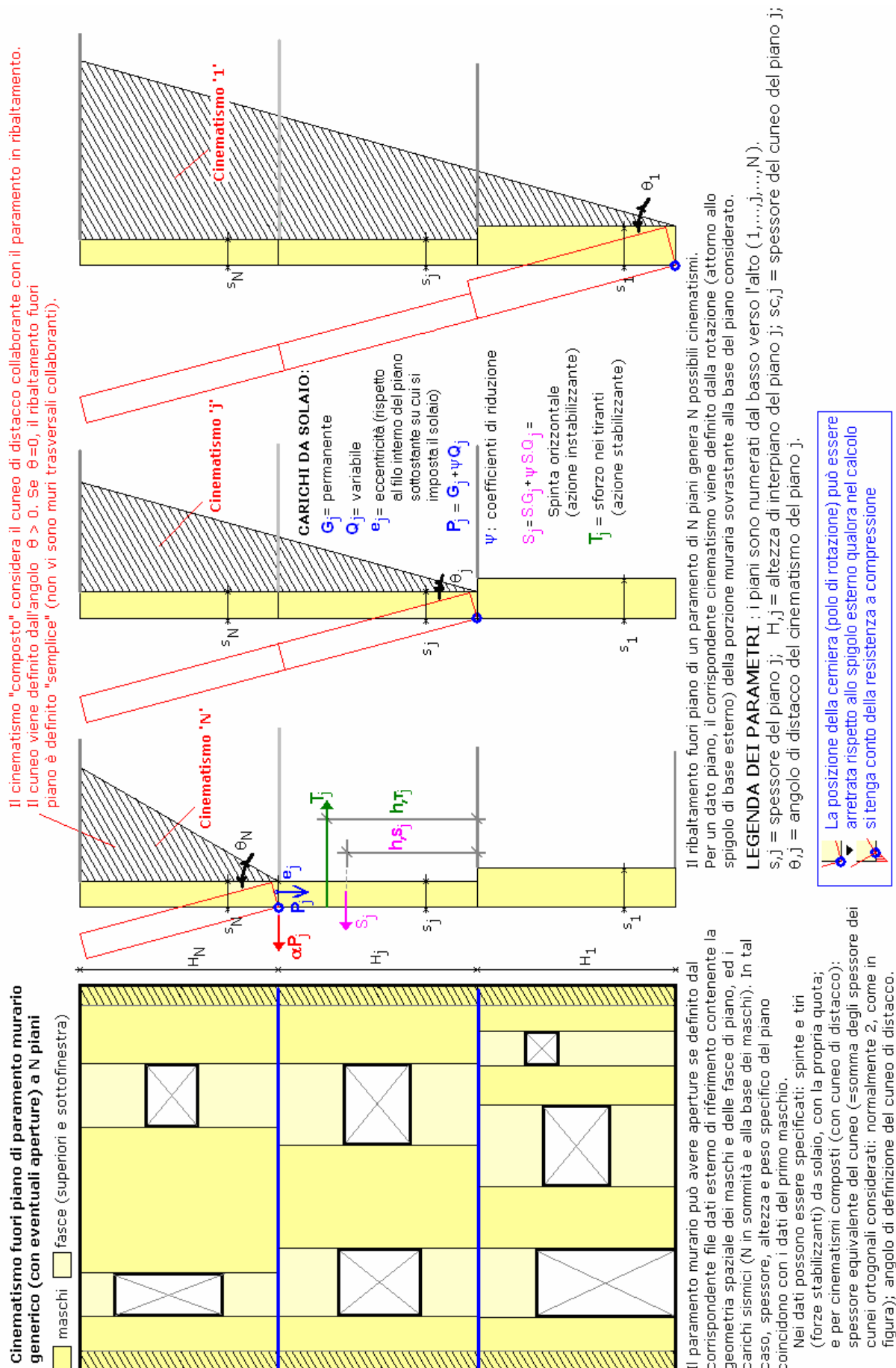


Fig. B.3.24. 101-108. Paramento murario a N piani (fuori piano) (N da 1 a 8)

B.3.2. DATI IN INPUT

I dati in input vengono specificati in apposite caselle di testo nella finestra Dati (cfr. fig. B.3.1). I dati sono numerici, e possono essere espressi in due formati:

- **formato fisso**: il dato assume un valore preciso;

- **formato variabile**: il dato varia da un minimo a un massimo, con un certo passo (o intervallo).

In fig. B.3.25 l'elemento predefinito corrente è il meccanismo di collasso per ribaltamento semplice monopiano. L'esempio si riferisce ad una parete in sommità di un edificio a tre piani. La base della parete è posta alla quota di 600 cm.; la parete ha spessore 50 cm. ed è alta 320 cm.; gli altri dati sono leggibili in figura (in questo caso, i parametri sismici sono stati automaticamente assunti dal file di default di PC.E in quanto non è stato precedentemente definito un corrispondente file in PC.E). Per questo esempio, si studia l'influenza del tiro stabilizzante sull'indicatore di rischio sismico IRS (corrispondente al coefficiente di sicurezza; si fa riferimento all'Indicatore in termini di PGA). I grafici di ESP consentono l'immediata individuazione del valore del tiro che fa conseguire il coefficiente di sicurezza unitario: con tale valore, la parete è in grado di sostenere, allo stato limite ultimo, la domanda di accelerazione.

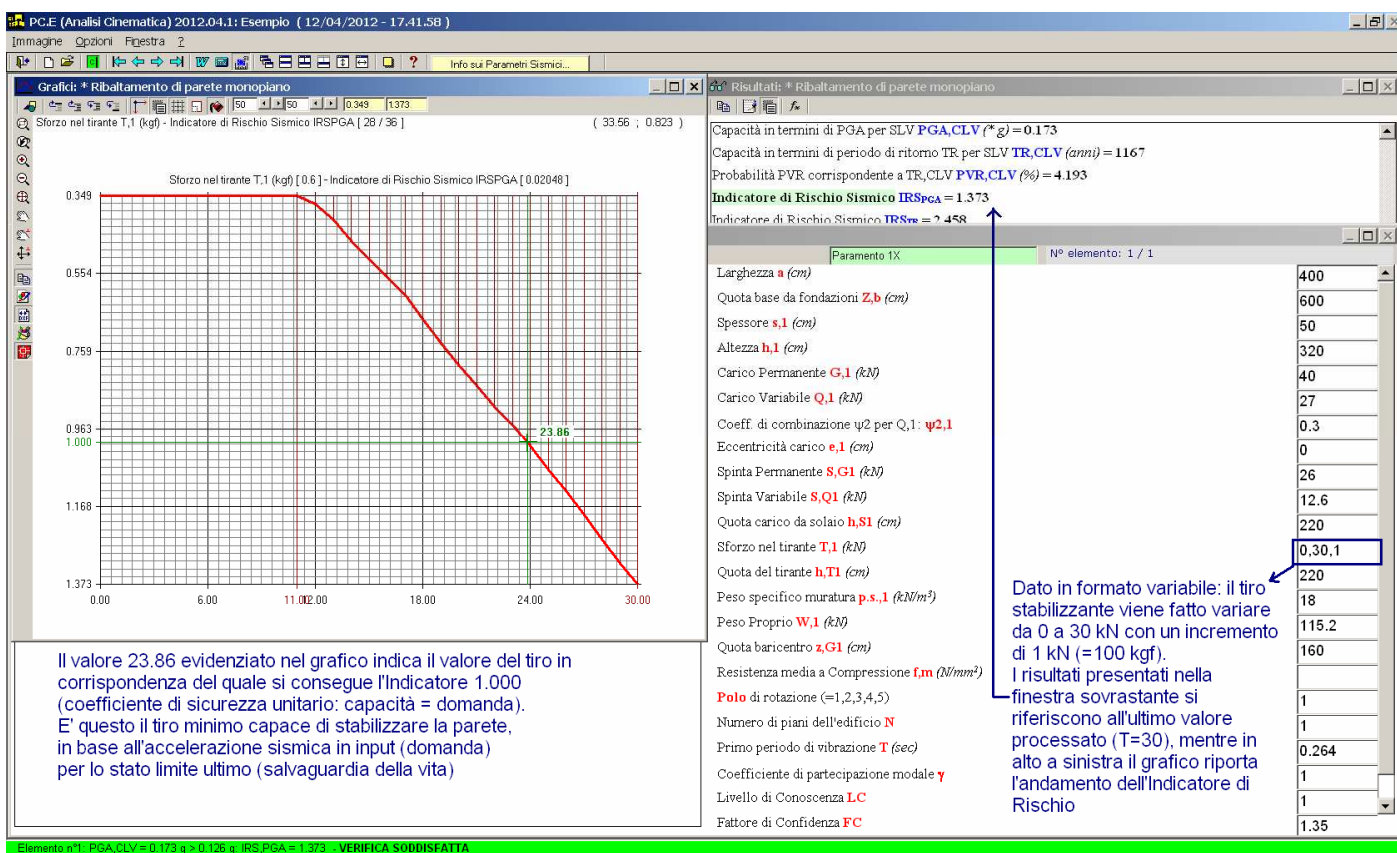


Fig. B.3.25. Dati in formato variabile:
ricerca del tiro stabilizzante che garantisce verifica soddisfatta

Più in dettaglio: tutti i dati hanno formato fisso, eccetto lo sforzo nel tirante T,1, espresso come: 0,30,1: ciò significa che esso assume i valori compresi nell'intervallo da 0 a 30 kN, con passo 1 kN. In altre parole, tutti i risultati vengono valutati per ognuno dei passi così determinati; ciò consente la costruzione per punti di diagrammi dei risultati. Ad esempio, il risultato **IRS,PGA** (rapporto PGA,CLV / PGA,DLV = indicatore di rischio sismico in termini di PGA, o: coefficiente di sicurezza, che affinché la verifica sia soddisfatta deve essere ≥ 1.000), così valutato, produce il diagramma visualizzato in figura, in alto a sinistra (diagramma visualizzabile, insieme agli altri grafici dato/risultati, nella finestra Grafici richiamabile direttamente dalla finestra Grafica).

L'espressione variabile di un dato è quindi una funzionalità molto importante di ESP: essa consente l'elaborazione dei Grafici Dato / Risultati, dove ciascun risultato è diagrammato in funzione del dato definito come variabile.

La sintassi esatta del formato variabile di un dato è la seguente:


Valore iniziale,Valore finale,Passo

dove i tre valori numerici sono separati tra loro da virgole senza spazi. Ovviamente, il passo deve essere non superiore alla differenza fra Valore finale e Valore iniziale.

Quando un dato viene specificato nel formato variabile, i risultati mostrati nella finestra Risultati si riferiscono all'ultimo valore calcolato (cioè a: Valore finale).

Nel gruppo di dati, un solo dato può essere considerato in formato variabile: pertanto, devono essere evitate specifiche in formato variabile di più dati contemporaneamente.

Nella definizione del dato in formato variabile, specificando un passo più piccolo (nel caso di fig. B.3.25, per esempio: 0,30,0.5 invece di 0,30,1) si ottengono grafici più precisi, poiché i punti di costruzione ovviamente si raffittiscono; questo può produrre tuttavia un rallentamento nell'elaborazione dei risultati.

Una barra di avanzamento a riempimento progressivo indica l'elaborazione in corso; qualora si desideri interrompere il processo, è possibile utilizzare il comando 'Stop'  della barra degli strumenti. Qualora il processo venga interrotto, i risultati testuali si riferiranno all'ultimo valore processato, mentre i grafici dato-risultati (se visualizzati) si interromperanno in corrispondenza dell'ultimo valore processato.

Per inserire i dati nei campi di testo in input, si utilizzino i consueti comandi di Windows. Il clic su un campo ne produce l'editazione (il testo viene evidenziato); con il tasto **TAB** è possibile scorrere da un dato al successivo, e con **Shift+TAB** (premuti contemporaneamente) da un dato al precedente. Se il numero dei dati eccede la possibilità di visualizzarli nella finestra Dati, ESP predispone automaticamente una barra di scorrimento per la gestione dei campi in input.

Nella fig. B.3.25 si osservi che al dato 'Resistenza a compressione' corrisponde un campo in input vuoto: ciò equivale a specificare 0 come valore numerico; può essere utile velocizzare l'input evitando appunto l'inserimento di valori nulli o di valori non significativi ai fini del particolare esempio da esaminare. Poiché il tasto TAB consente lo spostamento da un campo all'altro, è possibile 'saltare' i valori in input ignorati premendo più volte il tasto TAB. Per scorrere i dati all'indietro, utilizzare, come già detto, Shift + TAB.


B.3.3. BARRA DEGLI STRUMENTI


La barra degli strumenti della finestra Dati, posta subito sotto al titolo della finestra stessa, contiene pulsanti grafici che permettono l'esecuzione rapida di vari comandi.





Fig. B.3.26. Barra degli Strumenti della finestra Dati


I pulsanti della barra degli strumenti della finestra Dati sono i seguenti:

 **Apri Elenco (Apri Elemento).** Consente la visualizzazione dell'Elenco degli elementi predefiniti (o Elenco degli argomenti), cioè della struttura ad albero in cui è possibile rintracciare e selezionare l'elemento predefinito che interessa analizzare. Corrisponde al comando 'Apri Elenco' (F5) del menu Esegui della finestra Dati. La visualizzazione dell'elenco oscura il testo del Commento associato all'elemento predefinito corrente.


 **Chiudi Elenco.** Nasconde la visualizzazione dell'Elenco degli elementi predefiniti (o Elenco degli argomenti). Corrisponde al comando 'Chiudi Elenco' (F6) del menu Esegui della finestra Dati. La chiusura dell'elenco riporta in primo piano il testo del Commento associato all'elemento predefinito corrente.


 **Riduci / Ingrandisci Elenco.** Ingrandisce o riduce la visualizzazione dell'Elenco degli elementi predefiniti. Se ingrandito, l'elenco occupa l'intero spazio disponibile all'interno della finestra Dati; altrimenti, viene limitato alla metà sinistra. Con elenco ingrandito, se la finestra Dati viene ingrandita, l'Elenco degli argomenti occupa l'intera schermata (vd. fig. 6).


 **Salva Elemento corrente.** L'elemento corrente viene salvato nel Progetto corrente: **aggiunto**, se attualmente era un 'Elemento NON salvato' (come indicato dall'Etichetta dell'elemento, vedi oltre); **sovrascritto**, se si trattava già di un elemento facente parte del Progetto (e quindi, con la sovrascrittura, si modificano dati già precedentemente archiviati). Qualora il Progetto corrente sia Anonimo, questo comando richiede la specifica del nome del file del Progetto da salvare. Questo comando corrisponde a 'Salva Elemento' (Ctrl+S) del menu Esegui della finestra Dati.

 **Imposta come Nuovo Elemento.** L'elemento corrente viene reimpostato come Nuovo. Questo comando viene utilizzato quando in uno stesso Progetto si utilizza più volte lo stesso elemento predefinito, con differente gruppo di dati (per esempio, per analizzare la stessa trave con la stessa tipologia di carico, ma con valori diversi del carico o con sezioni diverse). Tenendo in linea un elemento già archiviato nel Progetto, la reimpostazione come nuovo azzeri i campi in input e modifica l'etichetta dell'elemento (ove ricompare: *Elemento NON salvato*). Difatti, se si modificassero i dati dell'elemento senza riqualificarlo come nuovo, si cambierebbero i dati precedenti che invece si

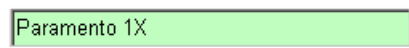
vogliono conservare; d'altra parte, facendo nuovamente clic sullo stesso elemento nell'Elenco degli elementi, non si ha alcun effetto in quanto l'elemento predefinito è già quello corrente. Questo comando corrisponde a 'Imposta come Nuovo Elemento' (Ctrl+I) del menu Esegui della finestra Dati.

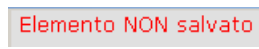


 **Elimina Elemento corrente.** L'elemento corrente viene rimosso dagli elementi predefiniti salvati nel Progetto corrente. Questo comando non ha effetto se l'elemento corrente è 'NON salvato', e neppure se è l'unico elemento salvato (Elemento 1/1): in tal caso, infatti, è impedita l'eliminazione dell'unico elemento che definisce il Progetto. Questo comando corrisponde a 'Elimina Elemento' (Ctrl+Y) del menu Esegui della finestra Dati.

 **Attiva / disattiva l'elaborazione dei grafici.** Se selezionato, inibisce l'elaborazione dei grafici. Normalmente, il pulsante si presenta attivato ('premuto', nella visualizzazione grafica). Può essere utile per modificare più campi in input prima di far rigenerare i grafici quando un dato sia già stato espresso in forma variabile; diversamente, ad ogni spostamento anche fra gli altri campi in input, i grafici vengono rigenerati tutte le volte (con tempi di elaborazione inutili).

 **Arresta l'elaborazione dei grafici.** Questo pulsante, attivo solo durante l'elaborazione dei grafici, consente l'arresto del calcolo. I grafici visualizzati successivamente mostreranno, in generale, solo la parte calcolata fino al momento dell'arresto (si otterranno ad esempio diagrammi dei momenti parziali).

Oltre ai pulsanti descritti, nella barra degli strumenti sono presenti due campi di testo:


 Paramento 1X **Commento.** E' un testo editabile che identifica sinteticamente l'elemento. Ad esempio, *Paramento 1X* indicherà un meccanismo di paramento generato da PC.E verso ESP.


 Elemento NON salvato **Etichetta dell'elemento.** La qualifica 'Elemento NON salvato' significa che l'elemento predefinito corrente, tratto ovviamente dall'elenco degli elementi disponibili, non è stato salvato come elemento facente parte del Progetto corrente. Se viene utilizzato il comando 'Salva Elemento corrente' ( nella barra degli strumenti della finestra Dati, o equivalentemente 'Salva Elemento' (Ctrl+S) nel menu Esegui), questo elemento viene aggiunto a quelli eventualmente già presenti nel Progetto corrente, e l'etichetta mostrerà il suo numero identificativo, ad esempio:  N° elemento: 4 / 4 (in questo caso, è stato salvato quando già erano presenti 3 elementi archiviati nel Progetto; pertanto, essa diventa il quarto su un totale di quattro).

B.3.4. Menu FILE


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



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



Nuovo progetto [Barra degli Strumenti generale: ] = Reinizializza il Progetto, impostandone uno nuovo denominato 'Anonimo'. Viene cancellato il contenuto delle finestre Grafica, Risultati, Dati, e nella finestra Dati viene visualizzato automaticamente l'Elenco degli elementi predefiniti disponibili.

Apri (CTRL + F12) [Barra degli Strumenti generale: ] = Apre un Progetto esistente, localizzato nella directory determinata dalla selezione effettuata su uno dei due gruppi di progetti possibili: progetti personali dell'Utente (Aedes2012\Pce\Esp\Progetti) o progetti di esempio per l'apprendimento (in dotazione di ESP; posti in Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi). La selezione viene direttamente effettuata nella finestra di dialogo per l'apertura del progetto.


Salva progetto con nome... = Richiede il nome del Progetto prima di archiviarlo. Consente di salvare il Progetto corrente con un altro nome, creando quindi un altro archivio. Effettuato il salvataggio con il nome specificato, questo è il nome che viene assunto come corrente.

Nel menu File è presente solo questo comando di salvataggio. Il tradizionale comando 'Salva' infatti viene implicitamente attivato quando viene salvato l'elemento predefinito corrente, attraverso l'apposito comando del menu Esegui (o equivalentemente il pulsante grafico  della barra degli Strumenti della finestra Dati).

 **Importante!** **Modalità di Salvataggio:** In ESP, l'Utente deve salvare l'elemento predefinito corrente (eventualmente modificato) nel Progetto corrente utilizzando volontariamente il comando 'Salva Elemento' del menu Esegui della finestra Dati (o equivalentemente il pulsante grafico  della barra degli Strumenti della finestra Dati). Solo questo comando memorizzerà i valori in input correnti, rendendoli nuovamente disponibili in tempi successivi. Diversamente, sia lo scorrimento tra i vari elementi dello stesso Progetto

(attraverso i pulsanti   della barra degli strumenti generale), sia il cambiamento di Progetto corrente (attraverso i comandi del menu File: Nuovo progetto o Apri) avverranno senza archiviare di fatto i valori in input in quel momento. ESP, quindi, non proporrà all'Utente il salvataggio durante la fase di Uscita dal programma, o nel corso dello scorrimento degli elementi di un Progetto, o in caso di cambiamento del Progetto corrente. ■


Imposta come progetto di Avvio = Imposta il Progetto corrente come Progetto di Avvio: ciò significa che nella successiva sessione di lavoro, il Progetto corrente verrà automaticamente caricato all'atto del lancio del programma. Il comando esegue la creazione del file Command.txt in Aedes2012\Pce\Esp\Files, contenente una riga con il nome del file del Progetto di Avvio. Se Command.txt è assente, oppure se il Progetto ivi indicato non viene rilevato nella cartella di ubicazione dei progetti, ESP si avvia con il progetto 'Anonimo'.

Dopo aver impostato un particolare Progetto come Progetto di Avvio, è possibile rimuovere tale impostazione e tornare al progetto 'Anonimo': a tale scopo, è sufficiente impostare un Nuovo Progetto (Barra degli Strumenti generale: ) in modo da porre in linea il progetto 'Anonimo' e salvare questo come Progetto di Avvio riutilizzando appunto questo stesso comando di menu: 'Imposta come Progetto di Avvio'.


Relazione di Calcolo = Apre il programma che nel sistema Windows è automaticamente associato ai files RTF (frequentemente: Microsoft Word), inizializzando la Relazione di Calcolo o aprendo una relazione già generata. Quando la relazione viene inizializzata, il documento presenterà l'intestazione 'Relazione di calcolo' seguita dalle informazioni operative sul software ESP; quando viene rilevato almeno un file RTF nella cartella:


Aedes2012\Pce\Esp\Output\NomeProgetto


dove NomeProgetto è il nome di file del Progetto corrente, tale file RTF viene caricato automaticamente come relazione di calcolo. Ovviamente, utilizzando i comandi del word-processor (ad esempio, Microsoft Word) è possibile cambiare il file RTF visualizzato.



★ Importante! **Modalità di creazione della Relazione di Calcolo:** In ESP la Relazione di Calcolo viene creata liberamente dall'Utente, attraverso i comandi 'Copia' (barre degli strumenti: ) delle finestre Grafiche (grafica predefinita e grafica vettoriale), Grafici e Risultati. Tale comando, infatti, pone in memoria il contenuto della finestra (immagine per la grafica, testo formattato per i Risultati) che con il comando 'Incolla' proprio del word-processor (per Microsoft Word: menu Modifica, comando Incolla) può essere incollato nella posizione desiderata all'interno del documento in linea. Diviene quindi estremamente semplice creare una relazione di calcolo personalizzata, utilizzando i contenuti delle finestre di ESP. Si osservi che, copiando il contenuto della finestra Risultati e incollandolo in Word, è possibile che i campi degli Indicatori di Rischio evidenziati in colore chiaro (rosso o verde) siano riportati in colore scuro (ovviamente, sempre il colore corrispondente rosso o verde); in ogni caso, il risultato più sfavorevole è evidenziato dal testo in rosso del risultato (in ambiente ESP sia dal testo in rosso del risultato, sia dal fondo rosso scuro). ■

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

Esci (CTRL + Q) = Questo comando pone termine alla sessione di lavoro con ESP, ed è equivalente all'utilizzo del pulsante grafico  posto nell'angolo in alto a sinistra della barra degli strumenti generale.

L'uscita attraverso il comando di menu richiede sempre la conferma; l'uscita attraverso il pulsante grafico  è invece immediata.

★ Importante! **Modalità di Salvataggio:** In ESP, l'Utente deve salvare l'elemento predefinito corrente (eventualmente modificato) nel Progetto corrente utilizzando volontariamente il comando 'Salva Elemento' del menu Esegui della finestra Dati (o equivalentemente il pulsante grafico  della barra degli Strumenti della finestra Dati). Solo questo comando memorizzerà i valori in input correnti, rendendoli nuovamente disponibili in tempi successivi. Diversamente, sia lo scorrimento tra i vari elementi dello stesso Progetto


(attraverso i pulsanti   della barra degli strumenti generale), sia il cambiamento di Progetto corrente (attraverso i comandi del menu File: Nuovo progetto o Apri) avverranno senza archiviare di fatto i valori in input in quel momento. ESP, quindi, non proporrà all'Utente il salvataggio durante la fase di Uscita dal programma, o nel corso dello scorrimento degli elementi di un Progetto, o in caso di cambiamento del Progetto corrente. ■


B.3.5. Menu ESEGUI



Il menu Esegui della finestra Dati consente, fra le varie funzionalità, la gestione degli elementi interni ad un Progetto.


Apri Elenco... (F5) [Barra degli Strumenti della finestra Dati: ] = Consente la visualizzazione dell'Elenco degli


elementi predefiniti (o Elenco degli argomenti), cioè della struttura ad albero in cui è possibile rintracciare e selezionare l'elemento predefinito che interessa analizzare. La visualizzazione dell'elenco oscura il testo del Commento associato all'elemento predefinito corrente.


Chiudi Elenco... (F6) [Barra degli Strumenti della finestra Dati: ] = Nasconde la visualizzazione dell'Elenco degli elementi predefiniti (o Elenco degli argomenti). La chiusura dell'elenco riporta in primo piano il testo del Commento associato all'elemento predefinito corrente.


Salva Elemento (CTRL + S) [Barra degli Strumenti della finestra Dati: ] = Salva l'elemento corrente nel Progetto corrente. L'elemento viene: **aggiunto**, se attualmente era un '*Elemento NON salvato*' (come indicato dall'Etichetta dell'elemento); **sovrascritto**, se si trattava già di un elemento facente parte del Progetto (e quindi, con la sovrascrittura, si modificano dati già precedentemente archiviati). Qualora il Progetto corrente sia Anonimo, questo comando richiede la specifica del nome del file del Progetto da salvare.


★ Importante! **Modalità di Salvataggio:** In ESP, l'Utente deve salvare l'elemento predefinito corrente (eventualmente modificato) nel Progetto corrente utilizzando volontariamente il comando '**Salva Elemento**' del menu **Esegui della finestra Dati** (o equivalentemente il pulsante grafico  della barra degli Strumenti della finestra Dati). Solo questo comando memorizzerà i valori in input correnti, rendendoli nuovamente disponibili in tempi successivi. Diversamente, sia lo scorrimento tra i vari elementi dello stesso Progetto (attraverso i pulsanti  della barra degli strumenti generale), sia il cambiamento di Progetto corrente (attraverso i comandi del menu File: Nuovo progetto o Apri) avverranno senza archiviare di fatto i valori in input in quel momento. ESP, quindi, non proporrà all'Utente il salvataggio durante la fase di Uscita dal programma, o nel corso dello scorrimento degli elementi di un Progetto, o in caso di cambiamento del Progetto corrente. ■


Imposta come Nuovo Elemento (CTRL + I) [Barra degli Strumenti della finestra Dati: ] = L'elemento corrente viene reimpostato come Nuovo. Questo comando viene utilizzato quando in uno stesso Progetto si utilizza più volte lo stesso elemento predefinito, con differente gruppo di dati (per esempio, per analizzare la stessa trave con la stessa tipologia di carico, ma con valori diversi del carico o con sezioni diverse). Tenendo in linea un elemento già archiviato nel Progetto, la reimpostazione come nuovo azzerà i campi in input e modifica l'etichetta dell'elemento (ove ricompare: *Elemento NON salvato*). Difatti, se si modificassero i dati dell'elemento senza riqualificarlo come nuovo, si cambierebbero i dati precedenti che invece si vogliono conservare; d'altra parte, facendo nuovamente clic sullo stesso elemento nell'Elenco degli elementi, non si ha alcun effetto in quanto l'elemento predefinito è già quello corrente.

Elimina Elemento (CTRL + Y) [Barra degli Strumenti della finestra Dati: ] = L'elemento corrente viene rimosso dagli elementi predefiniti salvati nel Progetto corrente. Questo comando non ha effetto se l'elemento corrente è '*NON salvato*', e neppure se è l'unico elemento salvato (Elemento 1/1): in tal caso, infatti, è impedita l'eliminazione dell'unico elemento che definisce il Progetto.

Calcolatrice... [Barra degli Strumenti generale: ] = Apre la calcolatrice di Windows, un'utilità importante soprattutto nei software dedicati al calcolo. Per impostare la calcolatrice di Windows nella modalità 'Scientifica' (spesso usata, in campo ingegneristico, al posto della 'Standard') utilizzare il menu Visualizza della Calcolatrice stessa.

Cambia Sistema di Unità di misura [Barra degli Strumenti generale: ] = Imposta il sistema di unità di misura che verrà utilizzato nel Progetto; il Sistema Internazionale è alternativo al Sistema Tecnico. ESP consente l'attivazione o disattivazione del Sistema Internazionale, cioè il cambiamento del sistema di unità di misura, solo all'atto della creazione di un Nuovo progetto. *Non è possibile cambiare le unità di misura dopo la creazione del Progetto.*

Visualizza Commento al Progetto [Barra degli Strumenti generale: ] = Attiva / disattiva la visualizzazione di un commento associato al progetto, sovrapponendosi alla finestra dei dati.

Polo di rotazione... = Apre una finestra di dialogo dove viene mostrata la simbologia che è possibile utilizzare per il polo di rotazione, cioè la posizione della cerniera di ribaltamento. Il dato numerico espresso nei Dati dell'elemento fa riferimento alla simbologia riportata in figura seguente (per preimpostazione, si adotta il valore 1, corrispondente a resistenza a compressione infinita). Il valore corrispondente ai correnti dati in input è indicato, nella finestra, dal simbolo . Tutti i valori diversi da 1 (da 2 a 5) corrispondono ad un arretramento della cerniera di ribaltamento dovuto ad una zona di compressione finita dove la muratura è sottoposta a schiacciamento. La finestra indica semplicemente il valore corrente del polo di rotazione: per cambiarlo si deve modificare il corrispondente dato in input. Non in tutti i meccanismi è presente l'opzione di arretramento della cerniera, cioè la possibilità di considerare una resistenza a compressione finita (p.es. nel meccanismo di cantonale la cerniera è necessariamente posta sulla linea di spigolo esterna).

Posizione della cerniera di ribaltamento (Polo di rotazione) della parete

Identificazione della posizione del Polo di rotazione

Resistenza a Compressione infinita

Il comportamento del corpo rigido prescinde dalla resistenza a compressione, che può considerarsi infinita (modello alla Heyman)

1
Spigolo esterno

Prescindendo dalla resistenza a compressione, il livello di conoscenza è necessariamente LC1 (§C8A.4.2.2) e quindi $F_c=1.35$

Con questa posizione del Polo, nei Dati in input, la resistenza a compressione della muratura viene ignorata (è quindi possibile non specificarne alcun valore)

Resistenza a Compressione finita

Si distinguono le seguenti ipotesi: distribuzione di pressione uniforme o lineare (triangolare), e posizione della cerniera (polo di rotazione) nel limite della zona reagente o nel baricentro delle tensioni (in corrispondenza della risultante)

2
Distribuzione uniforme, polo di rotazione nel baricentro delle tensioni

4
Distribuzione lineare, polo di rotazione nel baricentro delle tensioni

3
Distribuzione uniforme, polo di rotazione nel limite della zona reagente

5
Distribuzione lineare, polo di rotazione nel limite della zona reagente

Nei casi di Resistenza a Compressione finita, la posizione della cerniera rispetto allo spigolo esterno non viene comunque mai arretrata oltre la metà dello spessore della parete alla base

Resistenza di calcolo:

$$f_d = \frac{f_m}{F_c \gamma_M}$$

$$\gamma_M = 2$$

Posizione della cerniera:

$$x_c = k \frac{N}{f_d \cdot a}$$

X,C = posizione della cerniera rispetto allo spigolo esterno; N = carico verticale alla base della parete; a = larghezza di base della parete; s = spessore della parete nella sezione di base. Il coefficiente k assume un valore compreso fra 0 e 2 in funzione del polo di rotazione scelto, corrispondente alla tipologia sopra identificata

OK

Fig. B.3.27. Polo di rotazione (posizione della cerniera di ribaltamento)

I seguenti comandi di menu corrispondono ad opzioni, e possono essere o meno selezionati. Il clic sul comando lo seleziona o deseleziona, alternativamente.

Calcolo automatico di: Peso proprio = Se selezionato, il peso proprio dei vari elementi è calcolato automaticamente in base ai dati geometrici e ai pesi specifici inseriti. Se non attivo si utilizzano nel calcolo i valori dei pesi propri inseribili direttamente dall'utente nella finestra dati.

> **Periodo** ($=0.050 \cdot H^{0.75}$, §7.3.3.2) = Se selezionato, il periodo della costruzione, cui appartiene l'elemento considerato, è calcolato automaticamente in base alla formulazione proposta in NTC08.

> **Gamma (coeff.part.modale)** ($=3N/(2N+1)$, o, se possibile: $h \cdot S(\pi h)/S(\pi h^2)$ §C8A.4.2.3) = Se selezionato, il coefficiente di partecipazione modale è calcolato automaticamente in base alla formulazione proposta in NTC08. Se non attivo si utilizza nel calcolo il valore inserito dall'utente nei dati (per dettagli sulla formulazione del coeff. di part. modale, cfr. Teoria, p.A.3.2).

> **Fattore di Confidenza $FC=f(LC)$** = Se selezionato, il fattore di confidenza viene reimpostato in base al livello di conoscenza. Per LC1: $FC=1.35$, per LC=2: $FC=1.20$, per LC=3: $FC=1.00$. Nel caso che si operi con ipotesi di resistenza a compressione infinita (Polo di rotazione = 1, cfr. fig. B.3.27), oppure qualora non sia stata specificata in input la resistenza a compressione, FC viene posto pari a 1.35, in accordo con §C8A.4.2.2.

B.3.6. Menu OPZIONI

Il menu Opzioni della finestra Dati consente lo spostamento fra elementi predefiniti del Progetto corrente.

Attraverso i comandi del menu Opzioni (oppure i pulsanti della barra degli strumenti generale:), è possibile visualizzare gli altri elementi predefiniti presenti nel Progetto corrente.

Pausa di elaborazione = Comando che consente la specifica dell'intervallo di tempo previsto per la pausa al termine di ogni elaborazione. Una pausa maggiore può essere utile nel caso di dato variabile, con generazione dei grafici dato-risultati. Infatti, ad ogni passo dell'elaborazione il meccanismo viene analizzato per il valore corrente del dato. La finestra Risultati e la finestra Grafici (se aperta) mostrano i risultati progressivi: rallentando l'elaborazione, è così possibile tenere sotto controllo l'evoluzione dei singoli risultati.

B.4. FINESTRA RISULTATI

La finestra Risultati consente la visualizzazione dei Risultati dell'elemento predefinito correntemente attivo, calcolati in base ai dati riportati nella finestra Dati, e alle formule matematiche che opzionalmente possono essere visualizzate insieme ai risultati stessi, come in fig. B.4.1.

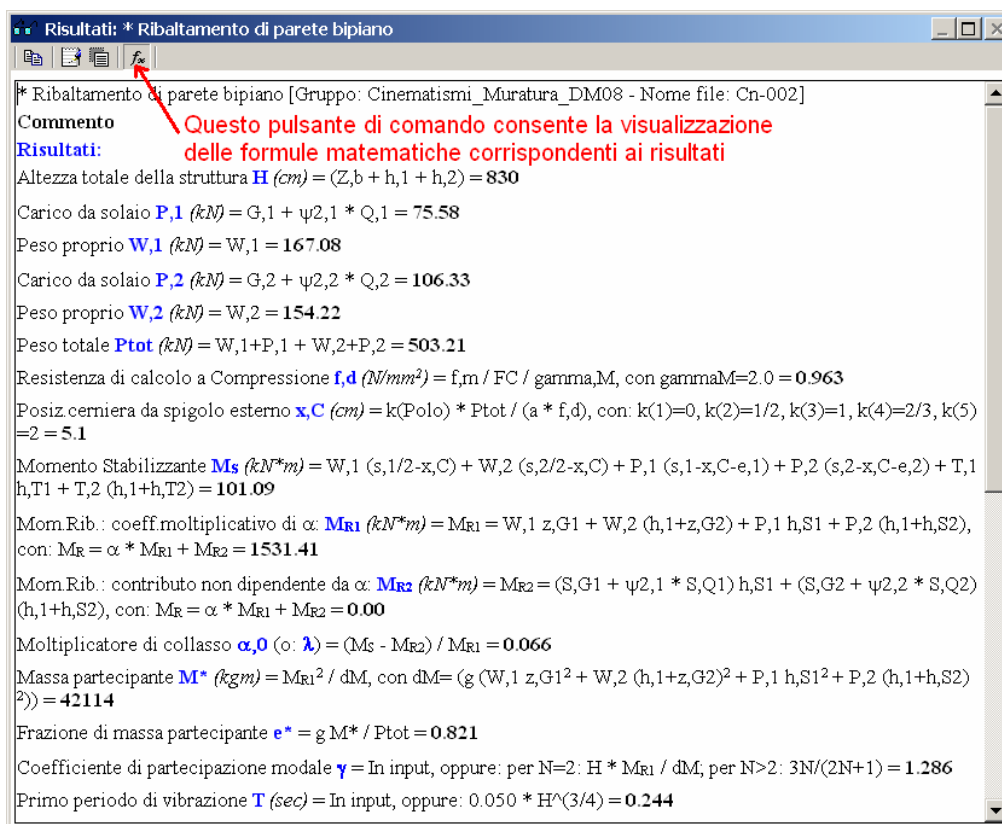



Fig. B.4.1. Finestra Risultati

Nella finestra Risultati è possibile visualizzare direttamente i risultati più significativi, oppure tutti i risultati; è inoltre possibile visualizzare anche i dati e, come già osservato, le formule matematiche. Il comando 'Copia' pone in memoria il contenuto della finestra, al fine di un successivo 'incollaggio' nella Relazione di Calcolo.

★ Importante! **Modalità di creazione della Relazione di Calcolo:** In ESP la Relazione di Calcolo viene creata liberamente dall'Utente, attraverso i comandi 'Copia' (barre degli strumenti: ) delle finestre Grafiche (grafica predefinita e grafica vettoriale), Grafici e Risultati. Tale comando, infatti, pone in memoria il contenuto della finestra (immagine per la grafica, testo formattato per i Risultati) che con il comando 'Incolla' proprio del word-processor (per Microsoft Word: menu Modifica, comando Incolla) può essere incollato nella posizione desiderata all'interno del documento in linea. Diviene quindi estremamente semplice creare una relazione di calcolo personalizzata, utilizzando i contenuti delle finestre di ESP. Si osservi che, copiando il contenuto della finestra Risultati e incollandolo in Word, è possibile che i campi degli Indicatori di Rischio evidenziati in colore chiaro (rosso o verde) siano riportati in colore scuro (ovviamente, sempre il colore corrispondente rosso o verde); in ogni caso, il risultato più sfavorevole è evidenziato dal testo in rosso del risultato (in ambiente ESP sia dal testo in rosso del risultato, sia dal fondo rosso scuro). ■


B.4.1. BARRA DEGLI STRUMENTI



La barra degli strumenti della finestra Risultati, posta subito sotto al titolo della finestra stessa, contiene pulsanti grafici che permettono l'esecuzione rapida di vari comandi.




Fig. B.4.2. Barra degli Strumenti della finestra Risultati

I pulsanti della barra degli strumenti della finestra Risultati sono i seguenti:

 **Copia negli Appunti.** Copia il contenuto della finestra Relazione, così come correntemente visualizzato, negli Appunti di Windows, consentendone l'incollaggio in altre finestre quali la Relazione di calcolo. Corrisponde al comando 'Copia negli Appunti' (Ctrl+C) del menu Esegui della finestra Risultati.


 **Importante!** **Modalità di creazione della Relazione di Calcolo:** In ESP la Relazione di Calcolo viene creata liberamente dall'Utente, attraverso i comandi 'Copia' (barre degli strumenti: ) delle finestre Grafiche (grafica predefinita e grafica vettoriale), Grafici e Risultati. Tale comando, infatti, pone in memoria il contenuto della finestra (immagine per la grafica, testo formattato per i Risultati) che con il comando 'Incolla' proprio del word-processor (per Microsoft Word: menu Modifica, comando Incolla) può essere incollato nella posizione desiderata all'interno del documento in linea. Diviene quindi estremamente semplice creare una relazione di calcolo personalizzata, utilizzando i contenuti delle finestre di ESP. Si osservi che, copiando il contenuto della finestra Risultati e incollandolo in Word, è possibile che i campi degli Indicatori di Rischio evidenziati in colore chiaro (rosso o verde) siano riportati in colore scuro (ovviamente, sempre il colore corrispondente rosso o verde); in ogni caso, il risultato più sfavorevole è evidenziato dal testo in rosso del risultato (in ambiente ESP sia dal testo in rosso del risultato, sia dal fondo rosso scuro). ■

 **Mostra anche i Dati.** Visualizza i dati, con i valori numerici attualmente presenti nella finestra Dati, elencati prima dei risultati. Corrisponde al comando 'Mostra anche i Dati' del menu Opzioni della finestra Risultati. Questo comando viene utilizzato quando si vogliono inserire Dati e Risultati nella relazione: infatti, mostrando anche i dati ed utilizzando il comando 'Copia', si pongono in memoria sia i dati sia i risultati, per il successivo incollaggio nella relazione. Se la visualizzazione dei dati nella finestra Relazione è attiva, questo pulsante grafico si presenta 'premuto'.


 **Nascondi Risultati secondari.** I risultati sono organizzati in Principali e Secondari.

Si definiscono Principali i risultati che si desidera siano obbligatoriamente visualizzati.

Si definiscono Secondari i risultati la cui visualizzazione si considera opzionale, ad esempio perché si riferiscono a parametri di calcolo ad uso 'intermedio'.

Con l'uso di questo pulsante grafico  è quindi possibile visualizzare o meno i risultati secondari. Se la visualizzazione dei risultati secondari è impedita, questo pulsante grafico si presenta 'premuto'. Questo comando corrisponde all'omonimo del menu Opzioni della finestra Risultati.


Dal punto di vista dei files che definiscono gli elementi strutturali predefiniti, i risultati secondari si distinguono con un carattere speciale (la chiocciola: @) posto in corrispondenza della prima riga relativa al risultato stesso.

 **Visualizza Formule.** Visualizza, in corrispondenza dei risultati, le formule matematiche che li definiscono. Questo comando corrisponde all'omonimo del menu Opzioni della finestra Risultati.

B.5. FINESTRE GRAFICHE

Le finestre grafiche di ESP sono distinte in due tipologie (fig. B.5.1).

Grafica predefinita: per ogni meccanismo, viene mostrata un'immagine descrittiva del meccanismo stesso e contenente la simbologia relativa. Normalmente, la finestra Grafica predefinita è posta nella parte superiore sinistra della schermata. Questa finestra non può essere chiusa, in quanto ritenuta indispensabile ai fini del corretto utilizzo del software: la sua funzione consiste infatti nell'illustrazione del significato di dati e risultati del problema esaminato; per alcuni meccanismi sono riportati inoltre dettagli sulla formulazione dei risultati.

Grafica vettoriale: questa finestra contiene la visualizzazione effettiva del meccanismo corrente, descritto nelle reali dimensioni specificate in input (diversamente, quindi, dall'immagine predefinita che è invece costruita su un assetto standard del meccanismo). Questa finestra, denominata in ESP: "Grafica Struttura" (caratterizzata dall'icona: ) , opzionale, è normalmente posta nella parte superiore destra della schermata e può essere aperta dall'apposito comando della barra degli strumenti superiore. La grafica vettoriale è disponibile solo per alcuni meccanismi di ESP, e più precisamente i ribaltamenti monopiano, di pareti e di paramenti. Per gli altri meccanismi, un'etichetta segnala la non disponibilità della rappresentazione grafica.

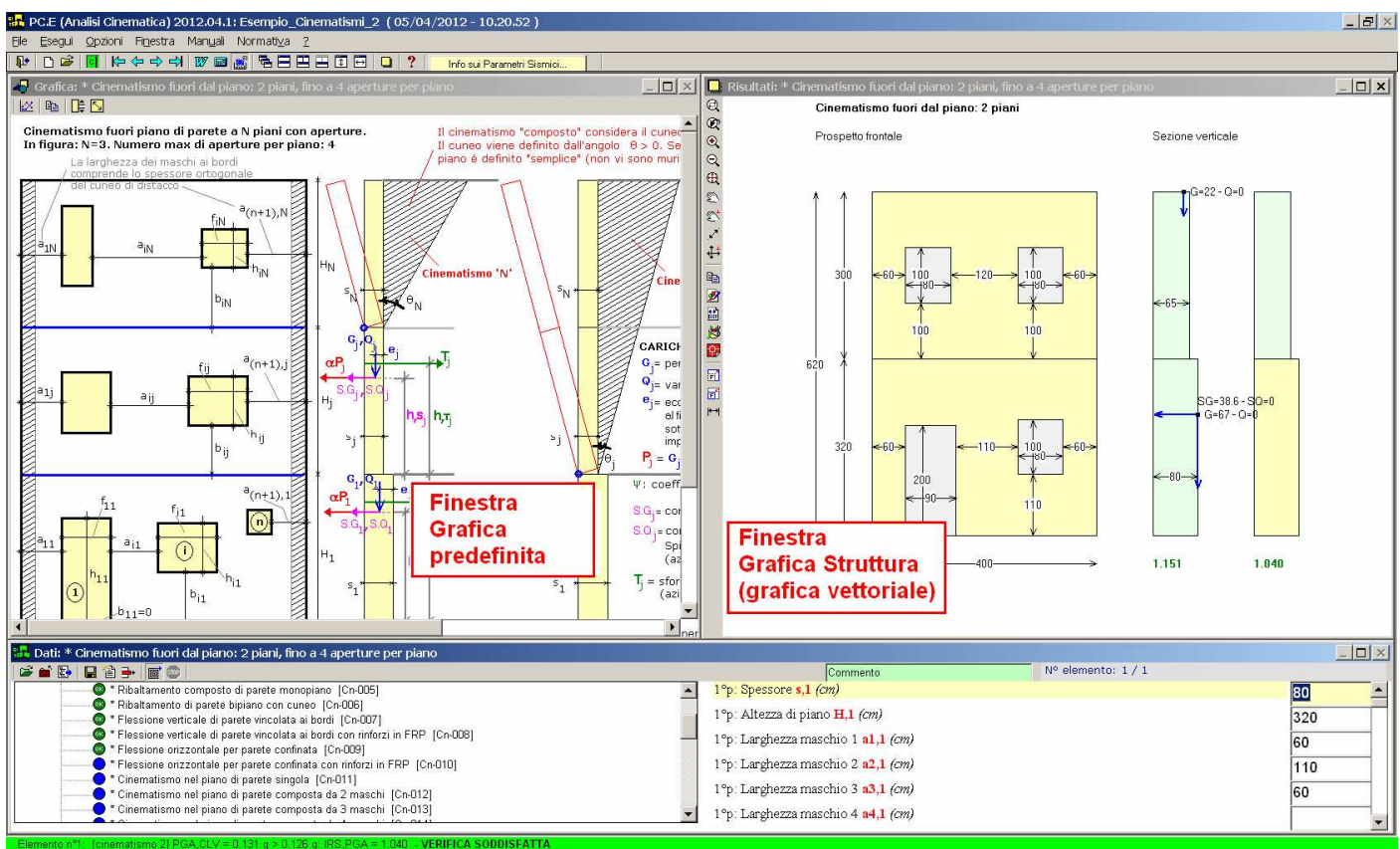




Fig. B.5.1. Finestre Grafiche

Nota bene E' disponibile in ESP un'altra finestra grafica, dedicata alla visualizzazione dei grafici dati-risultati in caso di specifica di un dato in input in formato variabile. Le caratteristiche operative e le funzionalità della finestra "Grafici Dati-Risultati" sono illustrate nel p. B.6. ■

Analogamente ad altre finestre, la finestre Grafiche possono essere spostate e/o ridimensionate.

Nella Grafica predefinita, se le dimensioni correnti non consentono la completa visualizzazione dell'immagine corrente (corrispondente al file bmp o jpg o gif definito per l'attuale elemento strutturale predefinito), la finestra mostra automaticamente barre di scorrimento che comunque permettono di visualizzare ogni parte dell'immagine; sono inoltre disponibili comandi appositi per il ridimensionamento automatico.

Nella Grafica vettoriale, consueti comandi di Zoom e Pan consentono la visualizzazione di ogni parte dell'immagine.

 **Importante!** **Modalità di creazione della Relazione di Calcolo:** In ESP la Relazione di Calcolo viene creata liberamente dall'Utente, attraverso i comandi 'Copia' (barre degli strumenti: ) delle finestre Grafiche (grafica predefinita e grafica vettoriale), Grafici e Risultati. Tale comando, infatti, pone in memoria il contenuto della finestra (immagine per la grafica, testo formattato per i Risultati) che con il comando 'Incolla' proprio del word-processor (per Microsoft Word: menu Modifica, comando Incolla) può essere incollato nella posizione desiderata all'interno del documento in linea. Diviene quindi estremamente semplice creare una relazione di calcolo personalizzata, utilizzando i contenuti delle finestre di ESP. Si osservi che, copiando il contenuto della finestra Risultati e incollandolo in Word, è possibile che i campi degli Indicatori di Rischio evidenziati in colore chiaro (rosso o verde) siano riportati in colore scuro (ovviamente, sempre il colore corrispondente rosso o verde); in ogni caso, il risultato più sfavorevole è evidenziato dal testo in rosso del risultato (in ambiente ESP sia dal testo in rosso del risultato, sia dal fondo rosso scuro). ■









B.5.1. BARRE DEGLI STRUMENTI


Le barre degli strumenti della finestre Grafiche contengono pulsanti che permettono l'esecuzione rapida di vari comandi. La fig. B.5.2 illustra a sinistra la barra della finestra Grafica predefinita, a destra quella della finestra Grafica Struttura (vettoriale).





Fig. B.5.2. Barre degli Strumenti delle finestre Grafiche

Per la finestra Grafica predefinita:

 **Finestra Grafici Dati-Risultati.** Apre la finestra Grafici (vd. p. B.6), su cui sposta il fuoco. Corrisponde al comando omonimo del menu Finestra della finestra Grafica. Normalmente, la finestra Grafici si apre sovrapponendosi alla finestra Grafica predefinita, nella posizione in alto a sinistra nella schermata, posizione che può essere cambiata agendo sui comandi dedicati della barra degli strumenti generale superiore:      . Ad esempio, spostando la finestra Grafici a destra (con clic sul pulsante ) , essa va a sovrapporsi alla finestra Relazione lasciando scoperta e quindi visibile la finestra Grafica.


 **Copia negli Appunti.** Copia il contenuto della finestra Grafica (l'immagine mostrata) negli Appunti di Windows, consentendone l'incollaggio in altre finestre quali la Relazione di calcolo. Corrisponde al comando 'Copia negli Appunti' (Ctrl+C) del menu Esegui della finestra Grafica.


 **Immagine ridimensionata.** Qualsiasi sia la grandezza della finestra Grafica, ridimensiona l'immagine in modo che possa essere completamente visibile.


 **Immagine in dimensioni normali.** Qualsiasi sia la grandezza della finestra Grafica, riporta l'immagine alle dimensioni originarie.

Per la finestra Grafica Struttura (vettoriale):

I pulsanti della barra dedicati alla gestione della visualizzazione dell'immagine e alla misurazione delle distanze sono i seguenti (in ordine consecutivo): **zoom finestra, zoom precedente, ingrandisci, riduci, ottimizza, spostamento (pan), spostamento (pan) ortogonale, distanza fra punti qualsiasi, distanza ortogonale.**

 **Copia negli Appunti.** Copia il contenuto della finestra negli Appunti di Windows, consentendone l'incollaggio in altre finestre quali la Relazione di calcolo. Corrisponde al comando 'Copia negli Appunti' (Ctrl+C) del menu Immagine.

 **Salva su file BMP.** Crea un file grafico, di estensione BMP, nella sottodirectory: Aedes2012\Pce\Esp\Output\NomeProgetto che può essere aperto, visualizzato e modificato in un qualunque programma di disegno in grado di importare files nel formato bitmap (es. PaintBrush, Paint). Il disegno bitmap è un particolare tipo di immagine composta da una serie di punti e non da vettori; esso, pertanto, non può essere ridimensionato in scala. Il file BMP prodotto si riferisce al disegno correntemente visualizzato nella finestra, per il quale viene proposto un particolare nome di file che comunque l'utente può variare a piacere.



 **Salva su file DXF.** Crea un file grafico, di estensione DXF, nella sottodirectory:

Aedes2012\Pce\Esp\Output\NomeProgetto

che può essere aperto da un qualunque programma di CAD in grado di importare files nel formato DXF (es. AutoCAD, AutoCAD LT). Il disegno importato si presenta, all'interno del programma di CAD, in formato vettoriale, ovvero composto da entità geometriche (linee, cerchi, archi, testi, ecc.) che lo rendono ridimensionabile in scala. Con questo metodo vengono normalmente editati i disegni tecnici.



Il file DXF prodotto si riferisce al disegno correntemente visualizzato nella finestra, per il quale viene proposto un particolare nome di file che comunque l'utente può variare a piacere.


 **Elaborazione files BMP,**  **Elaborazione files DXF.** I comandi di elaborazione files esterni:

BMP (), DXF (), consentono il lancio immediato dell'applicazione associata dal sistema a queste tipologie di files, con la visualizzazione dell'ultimo files elaborato nella sessione di lavoro corrente.


Ad esempio, con riferimento alle bitmap, se nella sessione corrente non è stato ancora prodotto alcun files di immagine BMP, questo comando visualizza, se lo trova, il primo file BMP disponibile per il Progetto corrente.

Frequentemente, ai files DXF è associata l'applicazione AutoDesk AutoCAD ®; mentre ai files BMP risulta generalmente associato MS Paint (facente parte degli Accessori del sistema operativo Windows). Tali sono i significati delle icone utilizzate per i comandi di elaborazione dei files corrispondenti, ma ovviamente niente vieta che altre applicazioni siano associate a queste estensioni.

  **Amplifica / Riduci Carichi.** Cambia la scala di visualizzazione dei carichi, consentendo la miglior visualizzazione possibile del disegno.

 **Quotatura.** Attiva o meno la quotatura del disegno.

di tipo 'principale'. Questo pulsante grafico corrisponde all'omonimo comando del menu Opzioni della finestra Grafici.

 **Ordinate crescenti verso il basso.** Capovolge il verso di rappresentazione del grafico lungo le Y. Per i diagrammi strutturali, è in genere preferibile orientare la parte positiva in basso; per altri problemi ingegneristici potrebbe essere utile usare la convenzione opposta: questo comando consente la scelta dell'orientamento verticale. Se le ordinate crescono verso il basso (parte positiva sotto all'asse X), il pulsante grafico si presenta 'premuto'. Questo pulsante grafico corrisponde all'omonimo comando del menu Immagine.

 **Nascondi Risultati secondari.** I risultati sono organizzati in Principali e Secondari.


Si definiscono Principali i risultati che si desidera siano obbligatoriamente visualizzati.

Si definiscono Secondari i risultati la cui visualizzazione si considera opzionale, ad esempio perché si riferiscono a parametri di calcolo ad uso 'intermedio'.

Se la visualizzazione dei grafici dei risultati secondari è impedita, questo pulsante grafico si presenta 'premuto'.

Questo pulsante grafico corrisponde all'omonimo comando del menu Opzioni.

Dal punto di vista dei files che definiscono gli elementi strutturali predefiniti, i risultati secondari si distinguono con un carattere speciale (la chiocciola: @) posto in corrispondenza della prima riga relativa al risultato stesso.


 **Griglia.** Attiva / disattiva la visualizzazione della griglia, cioè delle righe verticali e orizzontali di riferimento nel grafico. Se la griglia è attiva, il pulsante grafico si presenta 'premuto'.

Il passo della griglia può essere impostato attraverso le caselle di testo **Suddivisione Ascisse Griglia** e **Suddivisione Ordinate Griglia** (vedi anche più avanti in questo paragrafo), che, definendo il numero totale di suddivisioni, determinano indirettamente il passo; in particolare, il passo di suddivisione dell'asse delle ascisse può differire dal passo di calcolo inserito in input per il dato variabile.


Quando la griglia è disattivata, vengono comunque visualizzate le linee di riferimento ogni 10 (in modo che nel grafico siano comunque presenti alcuni riferimenti).

Se presente entro il grafico, viene rappresentata anche la linea dello zero delle ordinate (utile per molti diagrammi, ad esempio per il diagramma del momento flettente), con uno spessore doppio, per distinguerla dalle linee della griglia.

Questo pulsante grafico corrisponde all'omonimo comando del menu Immagine.



 **Modifica Scala X.** Questo comando consente la modifica della scala di rappresentazione lungo X, e corrisponde all'omonimo comando del menu Immagine.

Nel grafico sono riportati i valori degli intervalli lungo X e lungo Y (cfr. fig. B.6.2).

 **Riempi.** Questo comando ha l'effetto di colorare l'area del diagramma con tante righe verticali quante sono le ascisse in corrispondenza delle quali è stato calcolato il risultato.

 50  50

Suddivisione Ascisse Griglia, Suddivisione Ordinate Griglia. In queste caselle di testo è possibile specificare il numero totale di suddivisioni della griglia, sia lungo X, sia lungo Y (confermare l'eventuale modifica con INVIO). Il numero di suddivisioni determina ovviamente il passo; il passo lungo X non corrisponde al passo in input per il dato variabile: quello è il passo di calcolo, questo è il passo di rappresentazione grafica.

 0.667  0.842

Ordinata Minima, Ordinata Massima. In queste caselle di testo è possibile modificare i valori massimo e minimo dell'asse Y delle ordinate per la rappresentazione del grafico.

B.6.2. BARRA DEGLI STRUMENTI LATERALE

La barra degli strumenti laterale della finestra Grafici, posta al lato sinistro della finestra stessa, contiene pulsanti grafici che permettono l'esecuzione rapida di vari comandi, in modo analogo alla finestra Grafica Struttura (cfr. p. B.5.1). Sono disponibili comandi dedicati alla gestione della visualizzazione dell'immagine e alla misurazione delle distanze (solo in modalità ortogonale, data la natura del disegno), nonché i comandi per copiare negli appunti e gestire files BMP o DXF.

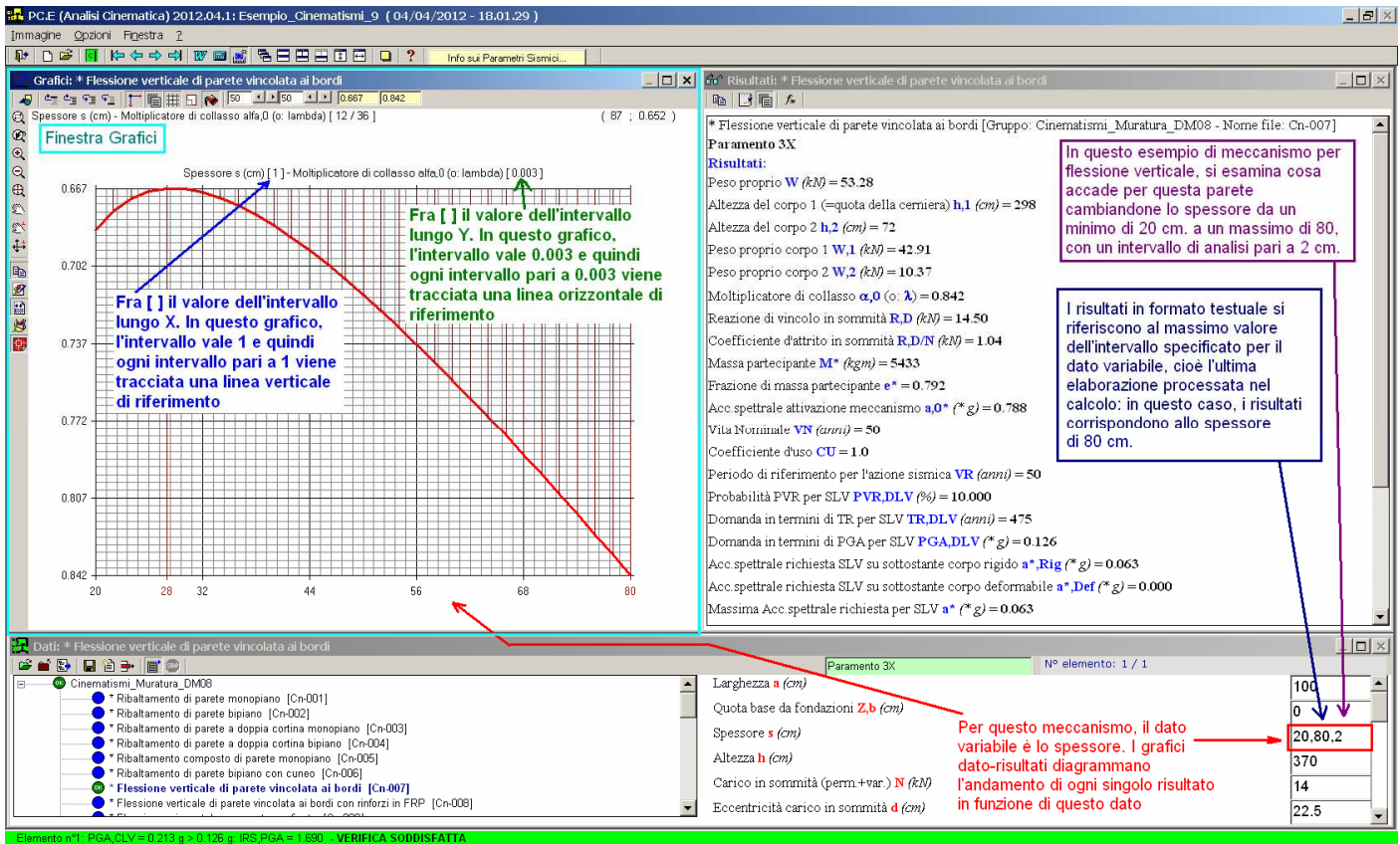


Fig. B.6.2. Esempio di diagramma dati-risultati nella finestra Grafici

B.6.3. Menu OPZIONI

Nascondi Risultati secondari [Barra degli Strumenti superiore della finestra Grafici:] = I risultati sono organizzati in Principali e Secondari.

Si definiscono Principali i risultati che si desidera siano obbligatoriamente visualizzati.

Si definiscono Secondari i risultati la cui visualizzazione si considera opzionale, ad esempio perché si riferiscono a parametri di calcolo ad uso 'intermedio'.

Se la visualizzazione dei grafici dei risultati secondari è impedita, il corrispondente pulsante grafico si presenta 'premuto' e accanto alla voce di menu appare un segno di spunta.

Primo Grafico, Grafico Precedente, Grafico Successivo, Ultimo Grafico [Barra degli Strumenti superiore della finestra Grafici: , , ,] = Cambia il grafico visualizzato, cioè il diagramma del risultato in funzione del dato variabile. La variazione avviene in sequenza con i grafici visualizzabili, ossia: con i grafici di tutti i risultati, oppure solo di quelli principali nel caso che sia attivata l'opzione 'Nascondi Risultati secondari'.

B.7. SUGGERIMENTI E COMPLEMENTI

Per apprendere l'utilizzo di ESP: la migliore modalità di apprendimento all'uso del programma avviene leggendo e ripercorrendo con attenzione gli esempi descritti nel capitolo 'Esempi Applicativi'.

La seguente sezione (Come fare per...) intende dare una serie di risposte alle più frequenti domande inoltrate dagli Utenti. La AEDES Software, con il proprio Servizio di Supporto per gli Utenti - svolto nell'ambito del Servizio di Assistenza - aggiorna periodicamente la pagina FAQ (=domande e risposte più frequenti) nel proprio sito Internet **www.aedes.it**.

B.7.1. COME FARE PER...

B.7.1.1. SALVARE UNA SCHERMATA

Qualunque schermata di Windows, relativa a qualsiasi programma utilizzato, può essere salvata come immagine bitmap per poi essere riutilizzata, ad esempio, per relazioni (ad es. in Word) o modifiche delle figure (ad es. in Paint).

Per salvare in una bitmap la schermata, si utilizzano i comandi del sistema operativo Windows:


ALT+STAMP pone in memoria solo la finestra attiva (quella correntemente in evidenza);

STAMP pone in memoria tutta la schermata di Windows.

Subito dopo è possibile incollare l'immagine ad esempio in Word, o in Paint, utilizzando i comandi:

CTRL+V o **SHIFT+INS**


B.7.1.2. CREARE UNA RELAZIONE DI CALCOLO


Per creare una relazione di calcolo dagli elementi predefiniti analizzati con ESP, è sufficiente fare clic sul pulsante grafico  della barra degli strumenti principali: si apre un documento di Microsoft Word (o del word-processor cui nel sistema Windows sono associati i files RTF) con l'intestazione:

Relazione di calcolo

seguita dai riferimenti teorici relativi al software ESP. In coda, l'Utente incollerà testi e immagini di ESP per formare l'effettiva relazione di calcolo del proprio Progetto.

Il contenuto delle finestre di ESP può essere 'copiato' nel documento della relazione di calcolo attraverso i comandi Copia e Incolla.

Il comando Copia (pulsante grafico  delle barre degli strumenti delle finestre Grafica predefinita, Grafica Struttura, Grafici, Risultati) pone in memoria il contenuto della finestra (sia esso grafico, che di testo); il comando Incolla (in Microsoft Word, presente nel menu Modifica) lo incolla nella relazione di calcolo.

Per fare in modo che l'elenco dei risultati sia preceduto dai dati con i valori in input, nella finestra Risultati - prima di eseguire l'operazione di Copia e Incolla ai fini della relazione di calcolo - occorre aver attivato il pulsante grafico  (comando: Mostra anche i Dati).

Relativamente alle immagini delle finestre Grafica Struttura e Grafici, in alternativa le immagini dei diagrammi possono essere salvate su bitmap, generando files di archivio grafico BMP nel percorso:

Aedes2012\Pce\Esp\Output\NomeProgetto, e quindi, magari in un secondo tempo, richiamate da Word per l'inserimento nella relazione.

Per quanto riguarda il contenuto della finestra Risultati, copiandolo e incollandolo in Word, è possibile che i campi degli Indicatori di Rischio evidenziati in colore chiaro (rosso o verde) siano riportati in colore scuro (ovviamente, sempre il colore corrispondente rosso o verde); in ogni caso, il risultato più sfavorevole è evidenziato dal testo in rosso del risultato (in ambiente ESP sia dal testo in rosso del risultato, sia dal fondo rosso scuro).

B.7.1.3. GENERARE I GRAFICI DATO-RISULTATI

I dati in input possono essere inseriti nel formato fisso (un valore numerico ben preciso) o nel formato variabile (espresso come: valore iniziale, valore finale, passo) (vd. p. B.3.2.)

Scelto un preciso dato cui attribuire il formato variabile, specificando nel suo campo in input, ad esempio:

100,600,10

ESP genererà il grafico di ognuno dei risultati corrispondente alla variazione del dato da 100 a 600, con passo 10.

Nonostante i controlli interni al software per la gestione degli errori, è ovviamente fondamentale il rispetto della sintassi per non ottenere risultati imprevisti e non corretti.

I grafici dove avviene una **discontinuità** possono nella sezione di discontinuità non essere 'perfetti': occorre usare un passo piccolo per meglio approssimare il "salto" poiché il programma non può attribuire allo stesso dato (= cioè allo stesso valore dell'ascissa) due ordinate diverse, come invece sarebbe necessario nella sezione di "salto".

Per i **punti angolosi** invece non ci sono problemi: l'espressione cambia, ma il grafico resta continuo. Poiché il passo di suddivisione discretizza il numero di punti dove il grafico è calcolato, la presenza di un massimo o di un punto angoloso può non essere intercettata con esattezza se al passo i-esimo l'ascissa non passa esattamente da lì: per questo conviene usare come passo sottomultipli, scelta senz'altro praticabile nel caso di dimensioni favorevoli.

B.7.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA'

B.7.2.1. FINESTRE SOVRAPPOSTE

Spostando le finestre di ESP sul video, con operazioni tipiche di Windows, è possibile creare schermate caotiche. In tal caso, si consiglia di utilizzare il comando 'Disponi' del menu Finestra, che ottimizza la disposizione delle finestre di ESP, secondo le modalità di default più convenienti per la gestione del programma.

Se non sono state scelte altre impostazioni da parte dell'Utente, in alto vengono affiancate le due finestre Grafica predefinita (a sinistra) e Risultati (a destra); in basso, è la finestra Dati. In pratica, si ripristina la disposizione di finestre presentata all'avvio da ESP.

In ogni momento, quindi, anche dopo aver spostato e/o ridimensionato alcune finestre, è possibile richiamare la disposizione ottimale.

B.7.2.2. IMPOSSIBILE INSTALLARE ESP IN ALTRE DIRECTORY

ESP richiede la directory obbligatoria: Aedes2012\Pce\Esp.

Installazioni diverse produrranno incompatibilità di utilizzo e impossibilità di archiviazione dei files.

B.7.2.3. IMPOSSIBILE APRIRE PIÙ ISTANZE DI ESP

ESP non prevede tale possibilità. Quindi, per esaminare più progetti non si può contemporaneamente aprire più di un ESP. Occorre cambiare il progetto all'interno del programma, richiamando via via il progetto desiderato.

C. ESEMPI APPLICATIVI e PROCEDURE DI VALIDAZIONE

C.1. INTRODUZIONE

La consultazione degli esempi applicativi forniti in dotazione a ESP costituisce un ottimo metodo per l'apprendimento delle caratteristiche e delle funzionalità del programma.

Gli **Esempi di Apprendimento** vengono automaticamente installati nella cartella:

Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi

Il percorso Aedes2012\Pce\Esp\Progetti è invece destinato ad accogliere progressivamente i progetti personali degli Utenti; in tale percorso possono essere preinstallati altri files.

Si consiglia di leggere attentamente il contenuto di questa parte della documentazione, in quanto la conoscenza appropriata degli esempi applicativi riportati consentirà l'uso ottimale del software.

Gli esempi di apprendimento, qui di seguito riportati, sono calibrati su casi di riferimento, riportati nella bibliografia indicata o manualmente sviluppati: nel presente contesto, il loro studio assume quindi anche la funzione di **test di validazione del software**, conformemente alle prescrizioni di Normativa (§10).

Per la verifica organica di un edificio con analisi cinematica, occorrerà individuare tutte le possibili pareti sedi di meccanismi di collasso, ed analizzarle una dopo l'altra. In generale, non sarà necessario estendere eccessivamente il numero di casi esaminati; sarà sufficiente identificare i cinematismi tipici dell'edificio in oggetto, e limitare le verifiche alle zone più significative.

Per lo studio dei meccanismi di paramenti murari appartenenti ad edifici modellati con PC.E, che consente la generazione automatica dei cinematismi di ribaltamento, si rinvia al p. B.1.1.

C.2. Esempio 1: RIBALTAMENTO DI PARETE BIPIANO. TEST DI VALIDAZIONE per l'applicazione del D.M.14.1.2008

Riferimento bibliografico

L'esempio è tratto da: "Esempio di calcolo su rafforzamento locale di edifici in muratura con tiranti", a cura di G. Bettiol, M. Munari, F. da Porto, L. Milano, C. Modena (Allegato alle Linee Guida per la Riparazione ed il Rafforzamento di Elementi Strutturali, Tamponature e Partizioni, pubblicazione di: Reluis - Protezione Civile Nazionale) pubblicato in: http://www.reluis.it/doc/emergenza_terremoto_abruzzo/Esempio_calcolo_tirante.pdf e reperibile in ESP dal menu Normativa: *Reluis, Esempio di verifica a ribaltamento*.

Files installati da PC.E-ESP

in PC.E: \Aedes2012\Pce\Progetti\Esempio_Cinematismi_1.pce

in ESP: \Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi\Esempio_Cinematismi_1.esp

Sintesi dell'esempio

Viene eseguita l'analisi di una parete bipiano, riferita ai piani 2 e 3 di un edificio composto da 3 livelli (piano 1 di calcolo = piano terra dell'edificio). Il progetto di ESP si compone di 4 elementi:

1. La parete bipiano, allo stato attuale. Il cinematismo alla base (quota di base del piano 2) non risulta verificato. Sono assenti i tiranti T1 (in testa al piano 2) e T2 (in testa al piano 3).
2. La parete monopiano superiore, per considerare la cerniera alla quota di base del piano 3. Anche questo cinematismo non risulta verificato.
3. Dimensionamento del tirante T2 in sommità all'edificio.
4. Riverifica del cinematismo bipiano considerando l'azione stabilizzante T2, controllando l'eventuale necessità del tirante T1.

L'esempio viene descritto passo-passo per essere ripercorso in fase di apprendimento dell'utilizzo del software.

Descrizione


Per la consultazione dell'esempio originale, si apra la fonte bibliografica: menu Normativa, Reluis: Esempio di verifica a ribaltamento.

I parametri sismici ivi riportati sono i seguenti:

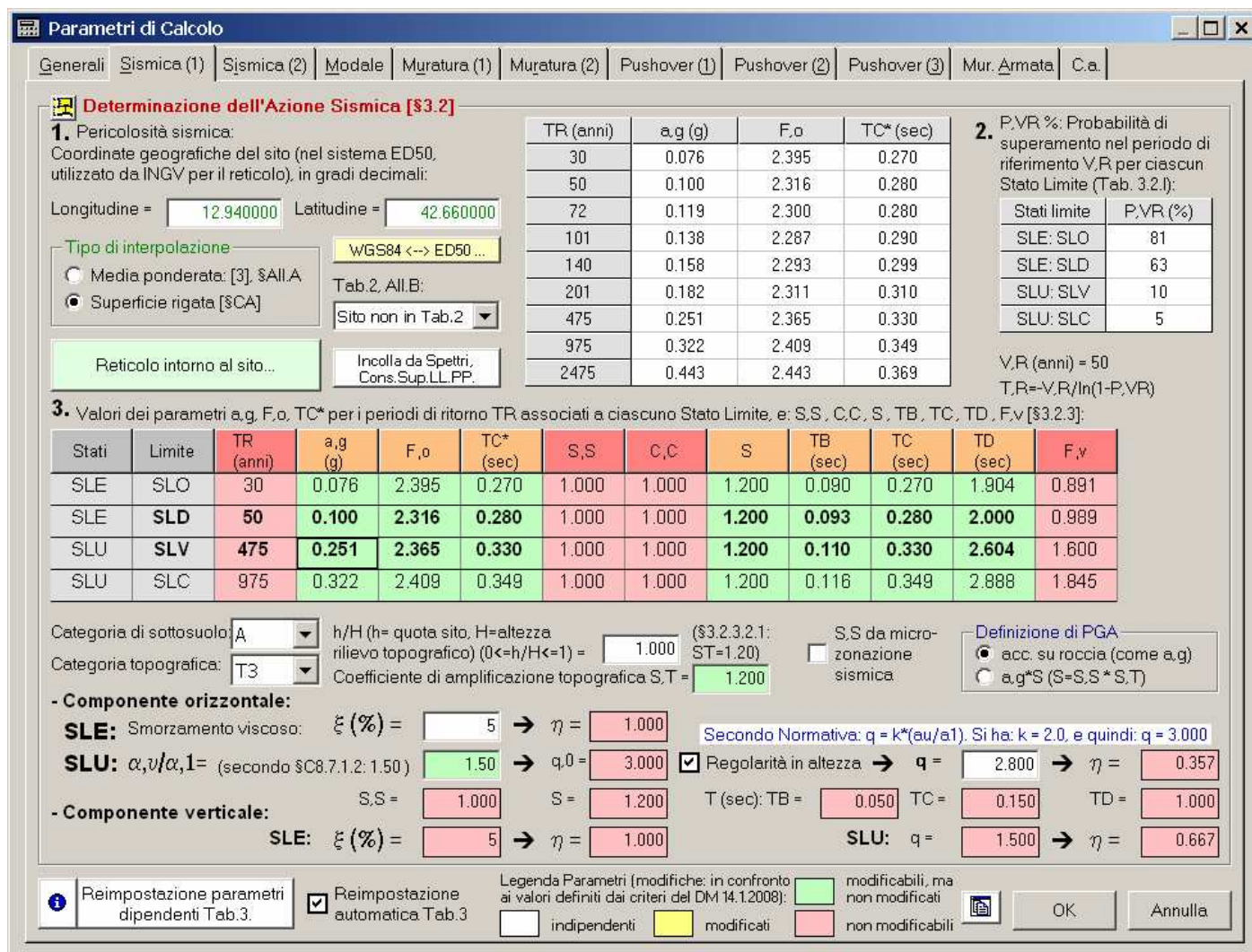
STATO LIMITE DI RIFERIMENTO	SLV	
Accelerazione orizzontale massima al sito	a_g	0,251g
Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	F_o	2,365
Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	T_C^*	0,334 s
Vita nominale	V_N	50
Classe d'uso (valore del coefficiente d'uso)	c_u	1
Periodo di riferimento dell'azione sismica	V_R	50
Probabilità di superamento	P_{VR}	0,10
Tempo di ritorno dell'azione sismica	T_R	475
Categoria di sottosuolo	A	
Coefficienti di amplificazione stratigrafica	S_S	1,0
	C_C	1,0
Coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1,2
Coefficiente per categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche	S	1,2
Periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro	T_C	0,334 s
Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante	T_B	0,111 s
Periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro	T_D	2,602 s

Fig. C.2.1. Parametri di pericolosità sismica

Non è stato possibile identificare il luogo esatto di ubicazione dell'edificio; tuttavia, si è individuato un riferimento molto simile, e più esattamente: Long. 12.94, Lat. 42.66.

In PC.E, si imposti un nuovo progetto; si accerti l'impostazione del Sistema Internazionale (indicato nella barra degli strumenti superiore: ) e si definiscano i parametri indicati in figura seguente.

E' sufficiente: inserire longitudine, latitudine, categoria topografica T3, h/H=1.000; quindi, fare clic sul pulsante di comando 'Reimpostazione automatica parametri dipendenti'. Tutti gli altri parametri richiesti dall'esempio di ESP, ad es. PVR per SLV, o: Vita Nominale e Classe d'Uso [cfr. Parametri di Calcolo, scheda Generali] coincidono con i valori preimpostati da PC.E.



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 = 12.940000 Latitudine = 42.660000

Tipo di interpolazione:
☐ Media ponderata: [3]. §All.A
☒ Superficie rigata [§CA]

WGS84 <--> ED50 ...

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

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

TR (anni)	a.g (g)	F.o	TC* (sec)
30	0.076	2.395	0.270
50	0.100	2.316	0.280
72	0.119	2.300	0.280
101	0.138	2.287	0.290
140	0.158	2.293	0.299
201	0.182	2.311	0.310
475	0.251	2.365	0.330
975	0.322	2.409	0.349
2475	0.443	2.443	0.369

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	0.076	2.395	0.270	1.000	1.000	1.200	0.090	0.270	1.904	0.891
SLE	SLD	50	0.100	2.316	0.280	1.000	1.000	1.200	0.093	0.280	2.000	0.989
SLU	SLV	475	0.251	2.365	0.330	1.000	1.000	1.200	0.110	0.330	2.604	1.600
SLU	SLC	975	0.322	2.409	0.349	1.000	1.000	1.200	0.116	0.349	2.888	1.845

Categoria di sottosuolo: A h/H (h= quota sito, H=altezza rilievo topografico) (0<=h/H<=1) = 1.000 (§3.2.3.2.1: ST=1.20) S.S da micro-zonazione sismica: ☐

Categoria topografica: T3 Coefficiente di amplificazione topografica S.T = 1.200

- Componente orizzontale:

SLE: Smorzamento viscoso: ξ (%) = 5 $\rightarrow \eta = 1.000$ Secondo Normativa: $q = k^*(a_u/a_1)$. Si ha: $k = 2.0$, e quindi: $q = 3.000$

SLU: $\alpha_v/\alpha_1 =$ (secondo §C8.7.1.2: 1.50) 1.50 $\rightarrow q_0 = 3.000$ ☒ Regolarità in altezza $\rightarrow q = 2.800 \rightarrow \eta = 0.357$

- Componente verticale:

S.S = 1.000 S = 1.200 T (sec): TB = 0.050 TC = 0.150 TD = 1.000

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

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 ☐ modificabili, ma non modificati

OK Annulla


Fig. C.2.2. Corrispondenti Parametri di Calcolo in PC.E

Le differenze sono esigue (cfr. tabella 3. allo stato limite SLV): ag (=PGA,DLV) ed Fo hanno lo stesso valore; TC* vale 0.330 sec anziché 0.334. Ne risultano differenze minime su: TB (0.110 anziché 0.111), TC (0.330 anziché 0.334), TD (2.604 anziché 2.602), irrilevanti ai fini dell'azione sismica definita dallo Spettro di Risposta.

Definiti quindi questi parametri, si salvi con nome il progetto di PC.E, p.es.: *Esempio_1*

(si eviti il nome del file preinstallato: *Esempio_Cinematismi_1*, in modo da poter sempre riaprire, per consultazioni, il file originale).

Creando quindi un file di ESP dal nome *Esempio_1*, i parametri sismici verranno reperiti dal corrispondente file di PC.E. Si osservi che non è necessario definire alcun modello in PC.E, ma semplicemente archiviare, per il file inizialmente Anonimo, i dati dei parametri sismici.

Per lanciare ESP: finestra Dati Progetto, menu Esegui, Analisi Cinematica (o direttamente: clic sull'icona  della barra degli strumenti orizzontale superiore di PC.E). Rispondere Sì alle richieste di PC.E.

ESP si aprirà automaticamente con il file *Esempio_1* preimpostato per la verifica a ribaltamento di una parete monopiano: questa diventa per preimpostazione il meccanismo n°1 e successivamente verrà rimosso; si dovrà subito cambiare il meccanismo, in quanto ciò che interessa è il ribaltamento di una parete bipiano.

Menu Esegui, Apri Elenco (F5), selezionare: Ribaltamento di parete bipiano.

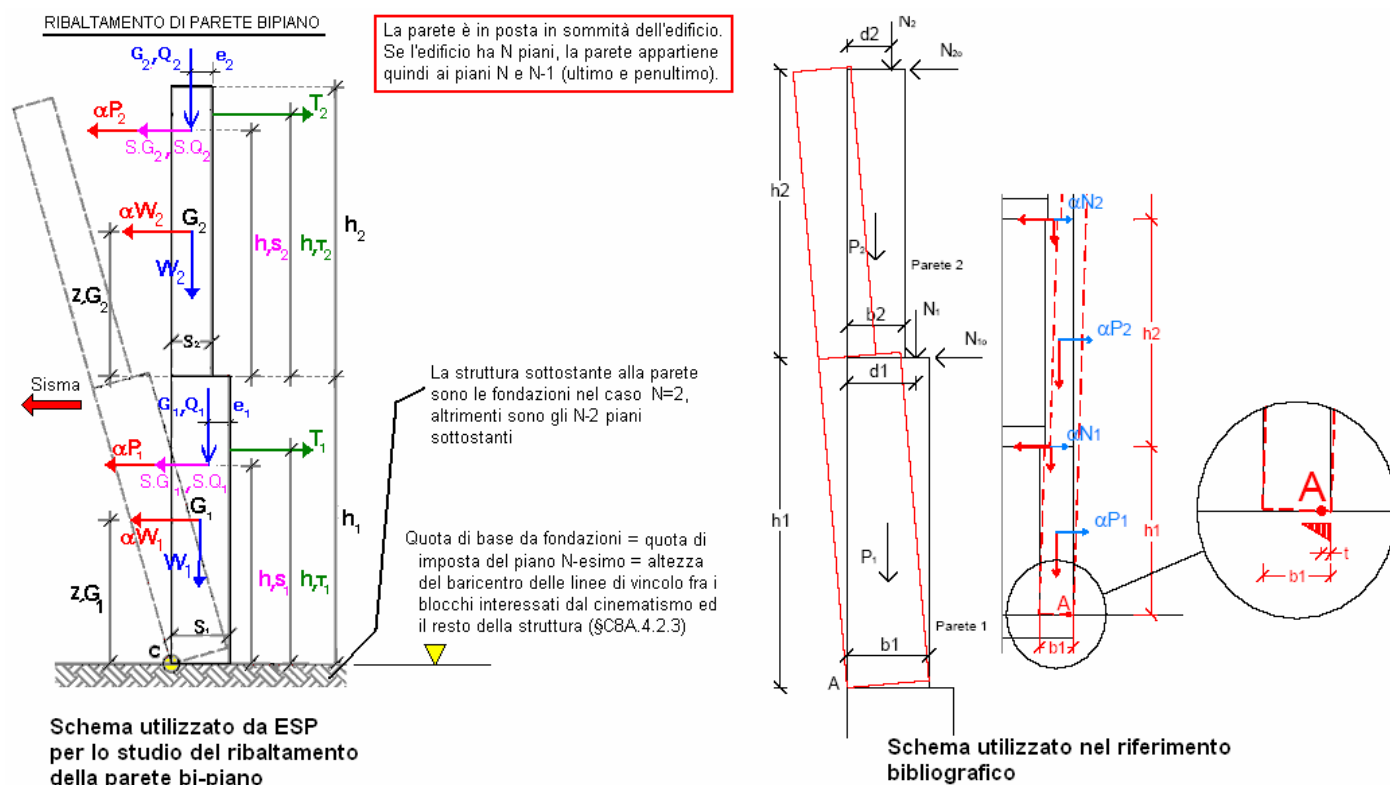


Fig. C.2.3. Schemi di calcolo

I dati da inserire in ESP, corrispondenti ai dati su geometria, carichi e materiali forniti nell'esempio (cfr. il riferimento bibliografico), sono i seguenti:

Larghezza **a** (cm) = **680**

Quota base 1 da fondazioni **Z,b** (cm) = **330** : questo valore, se diverso da zero, indica che la parete bi-piano si imposta su strutture sottostanti e non direttamente sul terreno

Spessore **s,1** (cm) = **45**

Altezza **h,1** (cm) = **260**

Carico Permanente **G,1** (kN) = **75.58**

Carico Variabile **Q,1** (kN) = **0** : tutti i carichi indicati nel documento di riferimento, aventi risultanti N1 e N2 (vd. fig. C.2.4) sono in ESP conglobati nel 'Carico Permanente'; pertanto 0 è il valore del carico variabile, e ψ_2 è posto convenzionalmente pari a 1. Nei propri casi, gli Utenti di ESP potranno differenziare i singoli contributi.

DATI DELLE PARETI					
N =	3	$b_1 =$	0,45 m	$b_2 =$	0,45 m
Z =	3,3 m	$h_1 =$	2,6 m	$h_2 =$	2,4 m
$h_{tot} =$	8,3 m	$N_1 =$	75,58 kN	$N_2 =$	106,33 kN
$h_{bar} =$	3,0 m	$d_1 =$	0,30 m	$d_2 =$	0,30 m
$l =$	6,8 m	$P_1 =$	167,08 kN	$P_2 =$	154,22 kN

Fig. C.2.4. Dati delle pareti

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q,1: **$\psi_{2,1} = 1$**

Eccentricità carico **e,1** (cm) = **15** : in ESP l'eccentricità è la distanza valutata rispetto alla facciata interna, ed è la convenzione opposta rispetto al documento di riferimento ($e_1=15$ corrisponde, per lo spessore 45, a: $d_1=30$)

I dati sulle spinte SG,1 e SQ,1, essendo nulli, possono essere 'saltati' semplicemente premendo il tasto TAB che conferma sposta il fuoco sul dato successivo.

Quota carico da solaio **h,S1** (cm) = **260** : hS_1 (e analogamente hS_2) è l'altezza del carico del solaio, dove è anche applicata l'eventuale spinta (assente in questo esempio)

Sforzo nel tirante **T,1** (kN) = **0** : nello Stato Attuale della parete, i tiranti sono assenti. La loro eventuale quota, specificata nel campo successivo, è qui posta pari alla sommità della parete

Quota del tirante **h,T1** (cm) = **260**

Peso specifico muratura **p.s.,1** (kN/m³) = **21**

Peso Proprio **W,1** (kN) = **167.076** : valore automaticamente proposto da ESP

Quota baricentro da base 1 **z,G1** (cm) = **130** : valore automaticamente proposto da ESP

Resistenza media a Compressione **f,m** (N/mm²) = **2.60**

Il documento di riferimento indica infatti: $f_m = 260 \text{ N/cm}^2 = 2.60 \text{ N/mm}^2$. La corrispondente resistenza a compressione di calcolo (che sarà indicata nell'ambito dei Risultati) è pari a:

$$f_d = f_m / F_C / \gamma_M (\gamma_M = 2.0) = 2.60 / 1.35 / 2.0 = 0.963 \text{ N/mm}^2$$

Polo di rotazione (=1,2,3,4,5) = **4** : corrisponde alla convenzione utilizzata da ESP per lo schema triangolare della tensione e rotazione attorno al baricentro (fig. C.2.5; cfr. anche fig. B.3.27):

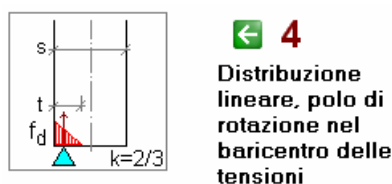


Fig. C.2.5. Ipotesi adottata per il polo di rotazione

Spessore **s,2** (cm) = **45**

Altezza **h,2** (cm) = **240**

Carico Permanente **G,2** (kN) = **106.33**

Carico Variabile **Q,2** (kN) = **0**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q,2: **$\psi_{2,2}$** = **1**

Eccentricità carico **e,2** (cm) = **15**

Quota carico da solaio **h,S2** (cm) = **240**

Sforzo nel tirante **T,2** (kN) = **0**

Quota del tirante **h,T2** (cm) = **240**

Peso specifico muratura **p.s.,2** (kN/m³) = **21**

Peso Proprio **W,2** (kN) = **154.224** : valore automaticamente proposto da ESP

Quota baricentro da base 2 **z,G2** (cm) = **120** : valore automaticamente proposto da ESP (per le opzioni scelte sui valori proposti automaticamente da ESP: vd. fig. C.2.6. Le opzioni sono selezionabili nel menu Esegui della finestra Dati).

Numero di piani dell'edificio (≥ 2) **N** = **3**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = **0.244** : valore automaticamente proposto da ESP

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1.286** : valore automaticamente proposto da ESP

Livello di Conoscenza **LC** = **1**

Fattore di Confidenza **FC** = **1.35**

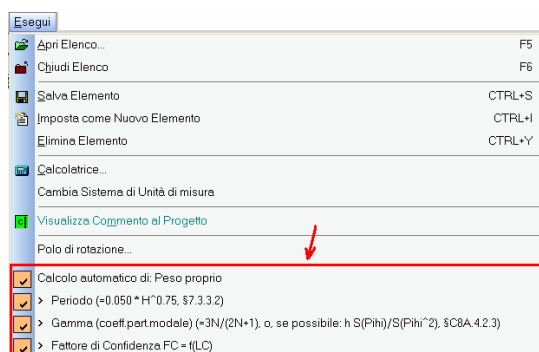


Fig. C.2.6. Opzioni per parametri valutati automaticamente da ESP

Durante la modifica progressiva dei dati, i risultati si aggiornano automaticamente. I risultati della verifica condotta nell'esempio di riferimento sono riportati in fig. C.2.7.

Verifica dello SLV con analisi "lineare"

Ricordando che:

$T_1 = C_1 \cdot H^{\frac{3}{4}} = 0.05 \cdot 8.3^{0.75} = 0.24 \text{ s}$	è il primo periodo di vibrazione dell'intera struttura nella direzione considerata (eq.7.3.5 D.M. 14.01.08),
$q = 2$	fattore di struttura,
$Z = 3.3 \text{ m}$	altezza, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi,
$H = 8.3 \text{ m}$	altezza della struttura rispetto alla fondazione,
$N = 3$	è il numero di piani dell'edificio,
$\psi(Z) = Z/H$	(in assenza di valutazioni più accurate), è il primo modo di vibrare nella direzione considerata,
$\gamma = 3N / (2N+1)$	(in assenza di valutazioni più accurate), è il corrispondente coefficiente di partecipazione modale;

affinché il cinematiso risulti verificato è necessario controllare che l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo verifichi entrambe le disuguaglianze (eq. C8A.4.9 e C8A.4.10 della Circ. n.617 2/2/09):

$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{TK})S}{q} = \frac{2.46 \cdot 1.2}{2.0} \frac{m}{s^2} = 1.474 \frac{m}{s^2} \quad (\text{per elemento isolato o porzione sostanzialmente appoggiata a terra e per porzioni in quota}),$$

= 0.150 g

$$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma}{q} = \frac{S_e(0.24) \cdot \frac{3.3}{8.3} \cdot \frac{9}{7}}{2.0} \frac{m}{s^2} = 1.782 \frac{m}{s^2} \quad (\text{per porzione della costruzione posta ad una certa quota}).$$

= 0.182 g

In tal caso, le disuguaglianze ($a_0^* = 0.584 \frac{m}{s^2} \geq 1.474 \frac{m}{s^2}$; $a_0^* = 0.584 \frac{m}{s^2} \geq 1.782 \frac{m}{s^2}$) sono entrambe non verificate. **= 0.060 g**

La porzione di edificio considerata **non è verificata** in relazione al cinematiso implementato: la capacità del sistema analizzato è circa il 33% della domanda richiesta dalla normativa.

Fig. C.2.7. Verifica con analisi cinematica lineare nel documento di riferimento

In fig. C.2.7 si sono evidenziati i valori delle accelerazioni espressi in termini di g, per rendere immediato il confronto con ESP. I risultati di ESP, in forma estesa (contenente anche i risultati secondari e con le formule di calcolo) sono i seguenti:

Altezza totale della struttura **H (cm) = (Z, b + h, 1 + h, 2) = 830**

Carico da solaio **P,1 (kN) = G,1 + $\psi_{2,1}$ * Q,1 = 75.58**

Peso proprio **W,1 (kN) = W,1 = 167.08**

Carico da solaio **P,2 (kN) = G,2 + $\psi_{2,2}$ * Q,2 = 106.33**

Peso proprio **W,2 (kN) = W,2 = 154.22**

Peso totale **Ptot (kN) = W,1+P,1 + W,2+P,2 = 503.21**

Resistenza di calcolo a Compressione **f,d (N/mm²) = f,m / FC / gamma,M, con gamma,M=2.0 = 0.963**

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C (cm) = k(Polo) * Ptot / (a * f,d), con: k(1)=0, k(2)=1/2, k(3)=1, k(4)=2/3, k(5)=2 = 5.1**

Momento Stabilizzante M_S ($kN*m$) = $W,1$ ($s,1/2-x,C$) + $W,2$ ($s,2/2-x,C$) + $P,1$ ($s,1-x,C-e,1$) + $P,2$ ($s,2-x,C-e,2$) + $T,1$ $h,T1$ + $T,2$ ($h,1+h,T2$) = **101.09**

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : M_{R1} ($kN*m$) = $M_{R1} = W,1$ $z,G1$ + $W,2$ ($h,1+z,G2$) + $P,1$ $h,S1$ + $P,2$ ($h,1+h,S2$), con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 1531.41$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : M_{R2} ($kN*m$) = $M_{R2} = (S,G1 + \psi_{2,1} * S,Q1) h,S1 + (S,G2 + \psi_{2,2} * S,Q2) (h,1+h,S2)$, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 0.00$

Moltiplicatore di collasso $\alpha,0$ (o: λ) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 0.066$

Massa partecipante M^* (kgm) = M_{R1}^2 / dM , con $dM = (g (W,1 z,G1^2 + W,2 (h,1+z,G2)^2 + P,1 h,S1^2 + P,2 (h,1+h,S2)^2)) = 42114$

Frazione di massa partecipante e^* = $g M^* / P_{tot} = 0.821$

Coefficiente di partecipazione modale γ = In input, oppure: per $N=2$: $H * M_{R1} / dM$; per $N>2$: $3N/(2N+1) = 1.286$

Primo periodo di vibrazione T (sec) = In input, oppure: $0.050 * H^{(3/4)} = 0.244$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0^*$ ($* g$) = $\alpha,0 g / (e^* FC) = 0.060 \leftarrow$

Vita Nominale VN ($anni$) = da dati sui Parametri Sismici = **50**

Coefficiente d'uso CU = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica VR ($anni$) = $VN * CU = 50$

Probabilità PVR per SLV PVR,DLV (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV TR,DLV ($anni$) = $-V,R / (1 - \ln(1 - PVR)) = 475$

Domanda in termini di PGA per SLV PGA,DLV ($* g$) = $f(TR)$ secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.251**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido a^*,Rig ($* g$) = $a,g S / q$, con $q=2.0 = 0.151 \leftarrow$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile a^*,Def ($* g$) = $Se(T) (Z_b / H) \gamma / q$, con $q=2.0 = 0.182 \leftarrow$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV a^* ($* g$) = $\max(a^*,Rig ; a^*,Def) = 0.182$

Capacità in termini di PGA per SLV PGA,CLV ($* g$) = PGA,CLV t.c. $a,0^* = a^* = 0.083$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV TR,CLV ($anni$) = TR,CLV corrispondente a $PGA,CLV = 34$

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV PVR,CLV (%) = PVR,CLV corrispondente a $TR,CLV = 76.678$

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{PGA} = PGA,CLV / PGA,DLV = 0.331 \leftarrow 33\%$

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{TR} = TR,CLV / TR,DLV = 0.072$

Indicatore di Rischio Sismico $(IRS_{TR})^{0.41} = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = 0.341$

Capacità in termini di Vita Nominale $VN,C = - (TR,CLV / CU) * \ln(1 - PVR,DLV) = 4$

I risultati evidenziati con le frecce rosse indicano la coincidenza con la fonte bibliografica. Da ciò risulta la validazione della procedura informatica di ESP.

Il fatto che la verifica non sia soddisfatta, cioè che l'Indicatore di Rischio (=coefficiente di sicurezza) in termini di PGA sia pari a 0.331, implica la necessità dell'esecuzione di un intervento di adeguamento, che verrà predisposto inserendo i tiranti sopra le pareti, ai livelli indicati dalle forze T_1 e T_2 in fig. C.2.3.

Si procede anzitutto salvando il file del progetto:

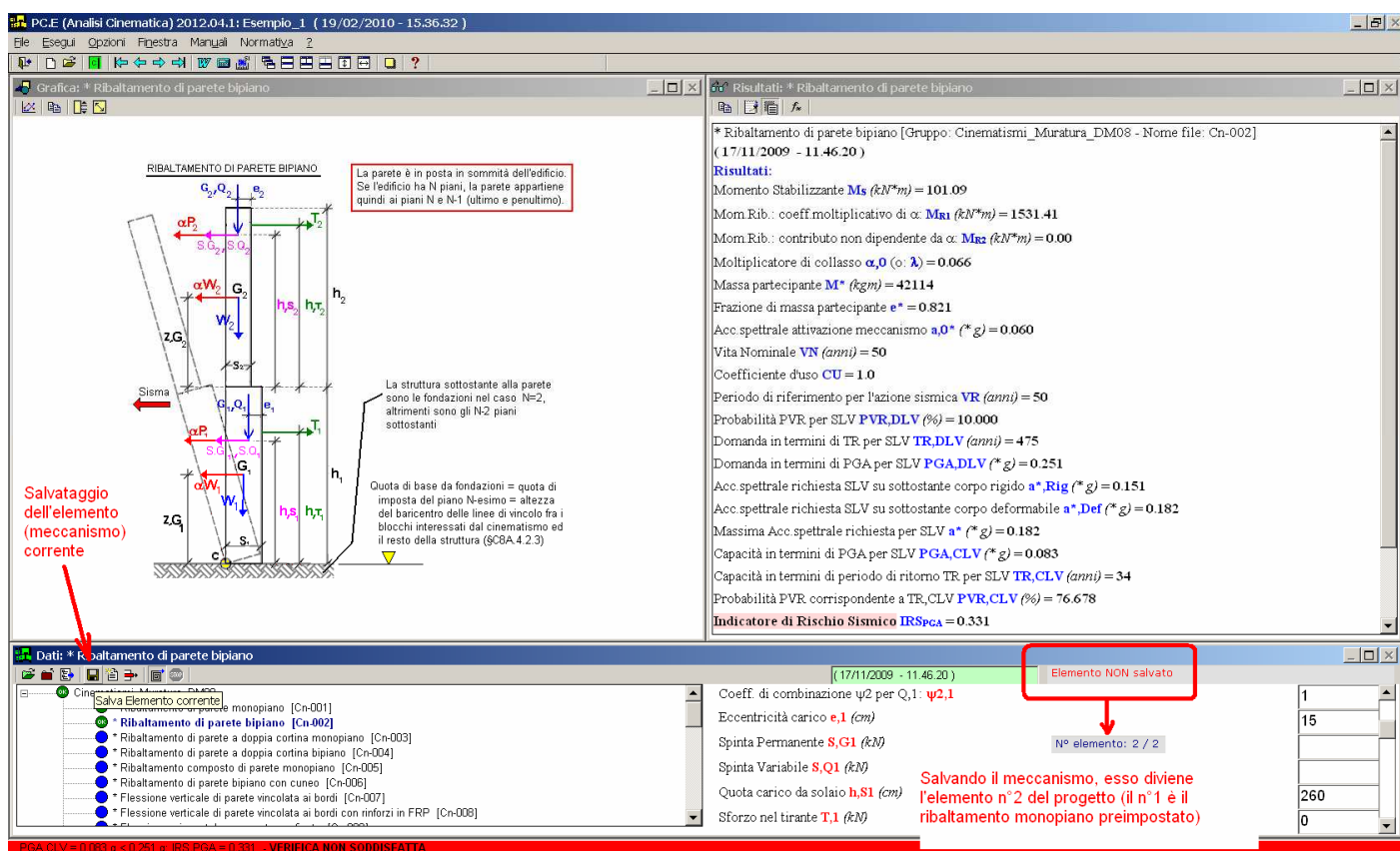




Fig. C.2.8. Salvataggio in ESP

Come mostrato in fig. C.2.8, con il salvataggio il meccanismo diviene l'elemento n°2 del progetto: il n°1 è il ribaltamento monopiano preimpostato. Usando la freccia di spostamento sul meccanismo precedente: , barra strumenti superiore, si torna al meccanismo n°1 e lo si elimina:  (barra strumenti finestra Dati); così facendo, il progetto è ora composto dal solo meccanismo fin qui realmente esaminato per l'edificio oggetto di studio, e cioè il ribaltamento bipiano (nella finestra verrà ora indicato: N° elemento: 1 / 1).

Per impostare il calcolo di consolidamento, nel documento di riferimento [8] si procede con i seguenti passi:

I. Si esamina il cinemismo monopiano della parete superiore, con rotazione rispetto al piede della parete stessa cioè alla sommità della parete inferiore, scrivendo l'equazione di equilibrio: Momento Stabilizzante (dovuto a carichi verticali e tirante T_2) = Momento Instabilizzante (contenente il moltiplicatore di collasso α_0). In questa equazione, T_2 risulta espresso in funzione di α_0 ; nell'equazione non compare T_1 , tiro a quota inferiore.

II. Si calcola il valore del moltiplicatore di collasso che corrisponde, per il cinemismo bipiano, alla domanda sismica: dal calcolo è risultato che l'accelerazione di attivazione del meccanismo è data da:

Acc.spettrale attivazione meccanismo a_{0^*} (*g) = $\alpha_0 g / (e^* FC) = 0.060$

valore risultato insufficiente, in quanto la domanda è 0.182 g.

E' possibile esprimere α_0 in funzione dell'accelerazione spettrale richiesta:

$$\alpha_0 = a_{0^*} \cdot e^* \cdot FC = 0.182 \cdot 0.821 \cdot 1.35 = 0.20$$

Utilizzando tale valore del moltiplicatore di collasso, l'equazione di cui al punto I. relativa al cinemismo della sola parete superiore fornisce il valore di T_2 .

III. Riconsiderando ora il cinemismo bi-piano rispetto al piede della parete inferiore, l'uguaglianza del momento stabilizzante al momento ribaltante fornisce un'equazione con T_1 , T_2 e α_0 di cui l'unica incognita è T_1 : risultano calcolate, in definitiva, entrambe le azioni dei tiranti T_1 e T_2 .

Nel documento di riferimento [8] sono stati così determinati i due tiri: $T_1 = 54.98$ kN, $T_2 = 11.21$ kN.

AEDES propone una procedura alternativa, partendo dall'osservazione che il cinemismo monopiano della sola parete superiore è diverso da quello bi-piano: pertanto, non sembra appropriato utilizzare il valore di α_0 corrispondente a $PGA,CLV = PGA,DLV$ calcolato per il cinemismo bi-piano.

E' preferibile valutare a sé il cinemismo monopiano superiore, determinando il tiro T_2 necessario alla stabilità

della parete superiore stessa, cioè tale che sia $PGA,CLV=PGA,DLV$ per lo specifico cinematismo monopiano superiore; successivamente, noto T_2 , si torna al cinematismo bi-piano e si ricava T_1 in modo tale che sia $PGA,CLV=PGA,DLV$ per il bi-piano.

Tutto ciò si articola nei seguenti passi:

- si crea un nuovo elemento strutturale, cioè la parete superiore (Ribaltamento di parete monopiano), allo Stato Attuale (senza tirante);
- si crea un ulteriore elemento, identico al monopiano precedente, dove si determina il tiro T_2 che conduce a verifica soddisfatta;
- si crea infine ancora un altro elemento, identico al primo (bi-piano), dove si introduce il valore di T_2 e si calcola, se necessario, il valore di T_1 .

★ **Importante!** E' evidente che anche operando solo nel cinematismo bi-piano si potrebbe individuare una coppia T_1 - T_2 che soddisfa la verifica, ma quel valore di T_2 potrebbe non essere idoneo per il cinematismo superiore, cioè potrebbe non impedire la rotazione attorno al piede della parete superiore: solo la procedura che esamina separatamente i due cinematismi, monopiano superiore e bipiano completo, garantisce sicurezza nei confronti di entrambi.

ESP propone, per le pareti multipiano completamente definite dal terreno fino in sommità, fino a 5 piani in elevazione e fino a 4 aperture per piano, un unico elemento predefinito dove sono esaminati i singoli cinematismi che, scendendo dalla sommità verso il basso, si riferiscono alla rotazione attorno al piede dei vari piani.

Più in dettaglio, sono disponibili i seguenti 5 elementi:

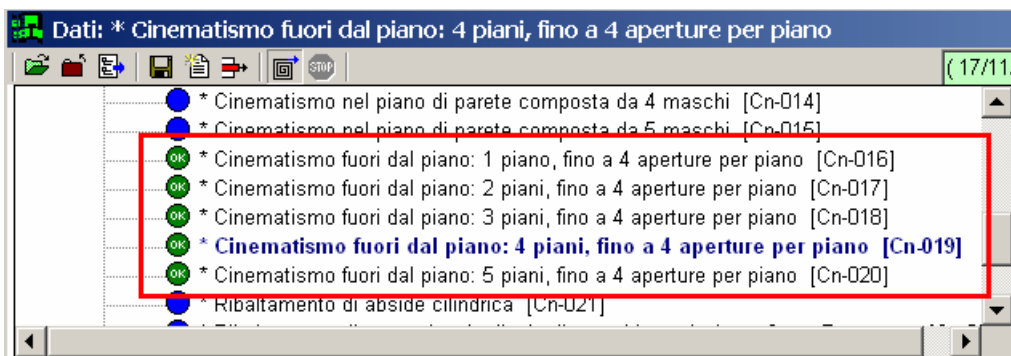



Fig. C.2.9. Pareti multipiano; per ognuna vengono esaminati automaticamente i cinematismi di tutti i piani

Utilizzando uno di questi elementi non è quindi necessario costruire elementi distinti per i cinematismi ai differenti piani. Ad esempio, per il caso in esame si sarebbe potuto utilizzare il 'Cinematismo fuori dal piano: 3 piani, fino a 4 aperture per piano'; tuttavia, nel riferimento bibliografico sono assenti i dati della parete 1, cioè del livello più in basso che si imposta sulle fondazioni, e quindi si è necessariamente dovuto operare col cinematismo bi-piano, che per preimpostazione esamina solo la cerniera al piede della parete inferiore, e col cinematismo monopiano relativo alla parete superiore. ■

Si crea quindi un nuovo elemento: è sufficiente fare clic sul pulsante  (Imposta come Nuovo Elemento) della barra strumenti della finestra Dati; ne risulta automaticamente preimpostato un nuovo elemento ancora come ribaltamento bi-piano, ma dall'elenco dei cinematismi si seleziona: 'Ribaltamento di parete monopiano'. Viene così aggiornato l'elemento corrente.

Si devono ora specificare i dati della parete superiore (parete del piano 3), qui di seguito riportati.

Si faccia attenzione alla definizione del tiro: nel meccanismo monopiano viene sempre indicato con T_1 ; nel caso in esame, tale T_1 coinciderà col T_2 del bipiano oggetto di studio (la parete monopiano esaminata è infatti la parete superiore).

Larghezza **a** (cm) = **680**

Quota base da fondazioni **Z,b** (cm) = **590** : per la parete superiore, la quota della base della parete dalle fondazioni è composta dalla somma delle altezze delle pareti del piano 1 (la parete che non è stata considerata nell'analisi) e del piano 2: $330 + 260 = 590$

Spessore **s,1** (cm) = **45**

Altezza **h,1** (cm) = **240**

Carico Permanente **G,1** (kN) = **106.33**

Carico Variabile **Q,1** (kN) = **0**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q,1: **$\psi_{2,1} = 1$**

Eccentricità carico **e,1** (cm) = 15
 Quota carico da solaio **h,S1** (cm) = 240
 Sforzo nel tirante **T,1** (kN) = 0
 Quota del tirante **h,T1** (cm) = 240
 Peso specifico muratura **p.s.,1** (kN/m³) = 21
 Peso Proprio **W,1** (kN) = 154.224
 Quota baricentro **z,G1** (cm) = 120
 Resistenza media a Compressione **f,m** (N/mm²) = 2.60
Polo di rotazione (=1,2,3,4,5) = 4
 Numero di piani dell'edificio **N** = 3
 Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = 0.244
 Coefficiente di partecipazione modale **γ** = 1.286
 Livello di Conoscenza **LC** = 1
 Fattore di Confidenza **FC** = 1.35

Ne derivano i seguenti risultati:

Altezza totale della struttura **H** (cm) = (Z,b + h,1) = 830
 Carico da solaio **P,1** (kN) = G,1 + ψ_{2,1} * Q,1 = 106.33
 Peso proprio **W,1** (kN) = W,1 = 154.22
 Peso totale **Ptot** (kN) = W,1 + P,1 = 260.55
 Resistenza di calcolo a Compressione **f,d** (N/mm²) = f,m / FC / gamma_M, con gamma_M=2.0 = 0.963
 Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C** (cm) = k(Polo) * Ptot / (a * f,d), con: k(1)=0, k(2)=1/2, k(3)=1, k(4)=2/3, k(5)=2 = 2.7
 Momento Stabilizzante **M_S** (kN*m) = W,1 (s,1/2 - x,C) + P,1 (s,1 - x,C - e) + T,1 h,T1 = 59.69
 Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α: **M_{R1}** (kN*m) = M_{R1} = (W,1 z,G1 + P,1 h,S1), con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = 440.26
 Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **M_{R2}** (kN*m) = M_{R2} = (S,G1 + ψ_{2,1} * S,Q1) h,S1, con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = 0.00
 Moltiplicatore di collasso **α,0** (o: **λ**) = (M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 0.136
 Massa partecipante **M*** (kgm) = M_{R1}² / (g (W,1 z,G1² + P,1 h,S1²)) = 23684
 Frazione di massa partecipante **e*** = g M* / Ptot = 0.891
 Coefficiente di partecipazione modale **γ** = In input, oppure: 3N/(2N+1) = 1.286
 Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = In input, oppure: 0.050 * H^(3/4) = 0.244
 Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*** (*g) = α,0 g / (e* FC) = 0.113 ←
 Vita Nominale **VN** (anni) = da dati sui Parametri Sismici = 50
 Coefficiente d'uso **CU** = da dati sui Parametri Sismici = 1.0
 Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = VN * CU = 50
 Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = da dati sui Parametri Sismici = 10.000
 Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = - V,R / (1 - ln(1 - PVR)) = 475
 Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (*g) = f(TR) secondo dati su Pericolosità Sismica = 0.251
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,Rig** (*g) = a,g S / q, con q=2.0 = 0.151 ←
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,Def** (*g) = Se(T) (Zb / H) γ / q, con q=2.0 = 0.326 ←
 Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*** (*g) = max (a*,Rig ; a*,Def) = 0.326
 Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV** (*g) = PGA,CLV t.c. a,0* = a* = 0.087
 Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV** (anni) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = 40
 Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV **PVR,CLV** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = 71.745
Indicatore di Rischio Sismico IRS_{PGA} = PGA,CLV / PGA,DLV = 0.347 ← 34.7%
 Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR}** = TR,CLV / TR,DLV = 0.083

Indicatore di Rischio Sismico $(IRS_{TR})^{0.41} = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = 0.361$

Capacità in termini di Vita Nominale $VN,C = - (TR,CLV / CU) * \ln(1 - PVR,DLV) = 4$

Tiro nel tirante per $\eta = 1.000$: $T^* (kN) = T$ tale che: $\eta=1.000 = 46.99$

Momento Stabilizzante in assenza di tirante $M_{SM} (kN*m) = W,1 (s,1/2 - x,C) + P,1 (s,1 - x,C - e,1) = 59.69$

Fattore q' t.c. $T = \alpha q' - q''$: $q' (kN) = M_{R1} / h, T1$, essendo: $T = (\alpha M_{R1} + M_{R2} - M_{SM}) / h, T1 = 183.44$


Fattore q'' t.c. $T = \alpha q' - q''$: $q'' (kN) = (M_{SM} - M_{R2}) / h, T1 = 24.87$

Moltiplicatore con tirante scarico $\alpha' = q'' / q' = 0.136$

Anche il cinematismo superiore presenta un risultato sfavorevole: la capacità in termini di accelerazione è infatti pari solo al 34.7% della domanda.

E' interessante osservare che i risultati già propongono il valore di T_1 in grado di garantire un coefficiente di sicurezza unitario, cioè una capacità uguale alla domanda. Esso risulta pari a 46.99 (≈ 47) kN.

Tale valore sarà determinato con una procedura alternativa, finalizzata a mostrare le potenzialità dell'espressione variabile dei dati e dell'elaborazione dei grafici dato-risultati.

Si salvi ora la parete monopiano (**comando 'Salva Elemento' del menu Esegui della finestra Dati**, o equivalentemente: pulsante grafico  della barra degli Strumenti della finestra Dati), che diviene così l'elemento 2/2 del progetto *Esempio_1*.

Per definire il consolidamento della parete, si imposti l'elemento corrente come nuovo elemento: esso sarà quindi il 3° elemento del Progetto, ed in esso si determinerà l'azione stabilizzante necessaria per impedire il meccanismo di collasso.

Per trovare il valore del tiro stabilizzante T_2 che rende soddisfatta la verifica del cinematismo superiore (indipendentemente dal suo valore già noto, pari a 47 kN), è possibile utilizzare il formato variabile del dato corrispondente, e quindi, esaminando il grafico dell'indicatore di rischio in funzione di T_2 , identificare il punto che segna il raggiungimento della verifica soddisfatta.

Si esprime anzitutto il tiro con: 0,50,1 il che significa processare i risultati con un tiro che va da nullo a 50 kN, per incrementi di 1 kN.



Fig. C.2.10. Ricerca del tiro stabilizzante

Il calcolo richiede alcuni istanti; una barra a riempimento progressivo indica il tempo di esecuzione. Terminata


l'analisi, si apra la finestra Grafici (comando  della finestra Grafica). Scorrendo i diagrammi che esprimono ogni risultato in funzione del dato variabile (il tiro), si giunge al grafico che esprime l'Indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA in funzione del tiro (fig. C.2.11).



Fig. C.2.11. Grafico Tiro - Indicatore di Rischio Sismico

Il grafico mostra che occorre un tiro di 47 kN per ottenere indicatore (cioè coefficiente di sicurezza) unitario (si osservi che tale valore, ottenuto come interpolazione lineare fra i punti precedente e successivo dei passi dell'analisi, può essere leggermente diverso scegliendo un passo differente, in quanto per alcuni risultati i legami con la variabile scelta non sono lineari).

Si è ottenuta una conferma del valore già noto dall'analisi del ribaltamento della parete monopiano superiore. Noto questo valore, è possibile modificare il dato variabile del tiro e specificare direttamente $T_1=47$ kN (chiudendo anche la finestra Grafici, che non serve più): i risultati sono i seguenti:

Altezza totale della struttura **H** (cm) = (Z,b + h,1) = **830**

Carico da solaio **P,1** (kN) = G,1 + $\psi_{2,1}$ * Q,1 = **106.33**

Peso proprio **W,1** (kN) = W,1 = **154.22**

Peso totale **Ptot** (kN) = W,1 + P,1 = **260.55**

Resistenza di calcolo a Compressione **f,d** (N/mm²) = f,m / FC / gamma,M, con gammaM=2.0 = **0.963**

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C** (cm) = k(Polo) * Ptot / (a * f,d), con: k(1)=0, k(2)=1/2, k(3)=1, k(4)=2/3, k(5)=2 = **2.7**

Momento Stabilizzante **M_S** (kN*m) = W,1 (s,1/2 - x,C) + P,1 (s,1 - x,C - e) + T,1 h,T1 = **172.49**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : **M_{R1}** (kN*m) = M_{R1} = (W,1 z,G1 + P,1 h,S1), con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = **440.26**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2}** (kN*m) = M_{R2} = (S,G1 + $\psi_{2,1}$ * S,Q1) h,S1, con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha,0$** (o: **λ**) = (M_S - M_{R2}) / M_{R1} = **0.392**

Massa partecipante **M*** (kgm) = M_{R1}² / (g (W,1 z,G1² + P,1 h,S1²)) = **23684**

Frazione di massa partecipante **e*** = g M* / Ptot = **0.891**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = In input, oppure: 3N/(2N+1) = **1.286**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = In input, oppure: 0.050 * H^(3/4) = **0.244**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*** (* g) = $\alpha,0$ g / (e* FC) = **0.326**

Vita Nominale **VN** (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**

Coefficiente d'uso **CU** = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = $VN * CU = 50$

Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = $-V, R / (1 - \ln(1 - PVR)) = 475$

Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (*g) = f(TR) secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.251**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,Rig** (*g) = $a, g S / q$, con $q=2.0 = 0.151$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,Def** (*g) = $Se(T) (Zb / H) \gamma / q$, con $q=2.0 = 0.326$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*** (*g) = $\max(a^*, Rig; a^*, Def) = 0.326$

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV** (*g) = PGA, CLV t.c. $a, 0^* = a^* = 0.251$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV** (anni) = TR, CLV corrispondente a $PGA, CLV = 475$

Probabilità PVR corrispondente a TR, CLV **PVR,CLV** (%) = PVR, CLV corrispondente a $TR, CLV = 10.000$

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA}** = $PGA, CLV / PGA, DLV = 1.000 \leftarrow$

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR}** = $TR, CLV / TR, DLV = 1.000$


Indicatore di Rischio Sismico (**IRS_{TR}**)^{0.41} = $(TR, CLV / TR, DLV)^{0.41} = 1.000$

Capacità in termini di Vita Nominale **VN, C** = $-(TR, CLV / CU) * \ln(1 - PVR, DLV) = 50$

Si può constatare come gli indicatori di rischio siano pari a 1.000 e quindi il tiro pari a 47 kN è la minima azione stabilizzante in grado di impedire il ribaltamento della parete in sommità attorno alla sua base.

Si salvi tale elemento.

Torniamo ad indicare il tiro di 47 kN in sommità con il simbolo T_2 , con riferimento alla reale parete bipiano oggetto di studio. Rimane quindi da definire il tiro T_1 che stabilizza le due pareti nei confronti del cinematismo alla base della parete inferiore.

A tal fine, si torni all'elemento 1 del gruppo, la parete bi-piano (lo scorrimento tra i vari elementi dello stesso Progetto avviene attraverso i pulsanti  della barra degli strumenti generale). Si imposti ora un nuovo elemento, che sarà il 4° del Progetto.

Mantenendo tutti gli altri dati, si specifichi per T_2 il valore di 47 kN: prima di studiare, con procedura analoga al tiro superiore, il comportamento della struttura in dipendenza da un tiro T_1 variabile, si può constatare che i risultati sono già favorevoli:

Momento Stabilizzante **M_S** (kN*m) = **336.09**

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **M_{R1}** (kN*m) = **1531.41**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2}** (kN*m) = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha, 0$** (o: **λ**) = **0.219**

Massa partecipante **M*** (kgm) = **42114**

Frazione di massa partecipante **e*** = **0.821**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*** (*g) = **0.198**

Vita Nominale **VN** (anni) = **50**

Coefficiente d'uso **CU** = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = **50**

Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = **475**

Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (*g) = **0.251**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,Rig** (*g) = **0.151**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,Def** (*g) = **0.182**

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*** (*g) = **0.182**

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV** (*g) = **0.271**

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV** (anni) = **595**

Probabilità PVR corrispondente a TR, CLV **PVR,CLV** (%) = **8.058**

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{PGA} = 1.080$ ←

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{TR} = 1.253$

Indicatore di Rischio Sismico $(IRS_{TR})^{0.41} = 1.097$

Capacità in termini di Vita Nominale $VN,C = 63$

e quindi l'applicazione del tiro T_2 in sommità stabilizza la parete nei confronti sia del cinematismo superiore monopiano, sia del cinematismo bipiano. Ovviamente, se il Progettista ritiene opportuno applicare un'azione stabilizzante più 'diffusa' nell'edificio, potrà predisporre un tirante anche al livello intermedio; dal punto di vista analitico, la sicurezza nei confronti del cinematismo bipiano aumenterà ulteriormente.

Salvando il quarto elemento, si ottiene infine il file del Progetto.

Se si preferisce consultare direttamente il corrispondente file installato dal software, si può aprire dagli Esempi di Apprendimento il file:

`\Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi\Esempio_Cinematismi_1.esp`

e scorrere i 4 elementi già predisposti.

Per quanto riguarda le ulteriori considerazioni sui meccanismi di rottura relativi allo snervamento dei tiranti, al punzonamento della muratura nella zona di ancoraggio e alla resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio, si rinvia alla consultazione del testo [8], direttamente accessibile dal menu Normativa: Reluis, Esempio di verifica a ribaltamento, pagg. 14-15.

C.3. Esempio 2: RIBALTAMENTO DI PARETE BIPIANO

Riferimento bibliografico: [6], par.11.3.1, pag. 146.


Files installati da PC.E-ESP

in ESP: \Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi\Esempio_Cinematismi_2.esp

Sintesi dell'esempio

Si analizza una parete su 2 piani, considerando sia il cinematismo bipiano sia il monopiano superiore. L'esempio è finalizzato al calcolo del moltiplicatore di collasso; non essendo svolta una verifica di sicurezza conforme al D.M. 14.1.2008, i parametri sismici della costruzione si assumono pari ai valori preimpostati da PC.E. L'analisi viene svolta considerando l'elemento strutturale disponibile in ESP per le pareti a 2 piani con aperture.

Descrizione

Si definisca un nuovo progetto, inizialmente Anonimo; i calcoli sono eseguiti nel Sistema Internazionale, indicato nella barra degli strumenti superiore: . Si scelga ora come elemento predefinito:

Cinematismo fuori dal piano: 2 piani, fino a 4 aperture per piano

e quindi si salvi il progetto con il nome *Esempio_2*.

E' ora possibile inserire i dati. La configurazione della parete è illustrata in fig. C.3.1 e corrisponde ai dati reperiti nella fonte (fig. C.3.2). Per l'esattezza, in [6] non si specificano esattamente le dimensioni delle aperture e dei maschi, tuttavia è stato possibile ricostruire la geometria della parete in modo tale da ottenere parametri statici (area, baricentro) corrispondenti.

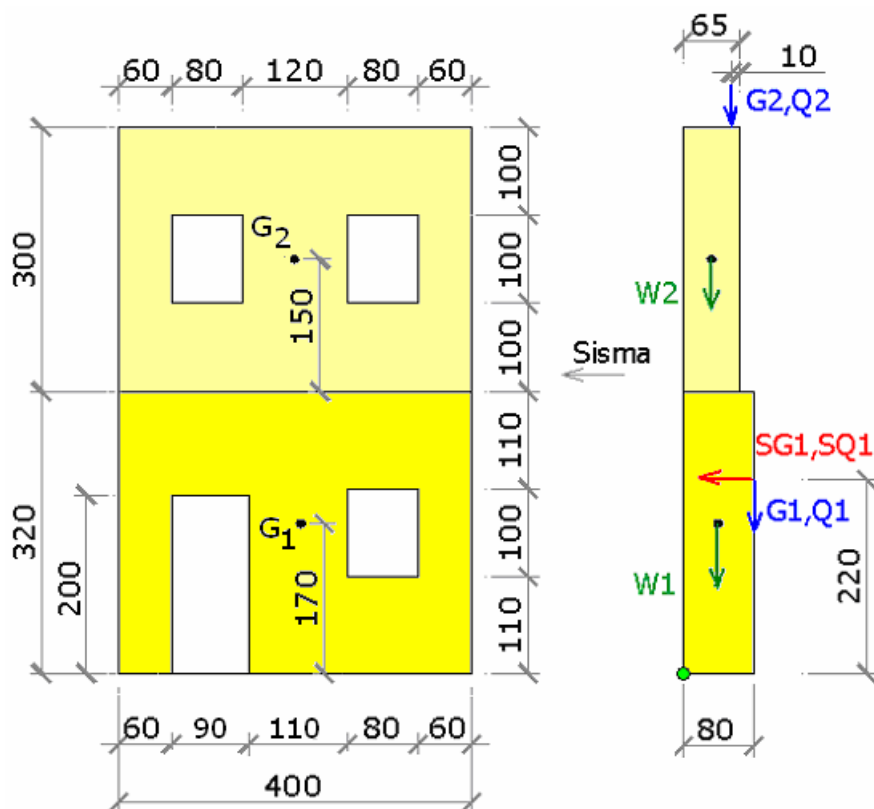


Fig. C.3.1. Parete a 2 piani con aperture

ELEVAZIONE		1	2
Geometria	Spessore della parete s_i [m]	0,80	0,65
	Altezza della parete (interpiano) h_i [m]	3,20	3,00
	Superficie della parete (al netto delle aperture) [m ²]	10,20	10,40
	Area di influenza del solaio o archi-volte [m ²]	8,00	8,00
	Braccio orizzontale del carico del solaio d_i [m]	-	0,55
	Braccio orizzontale dell'azione di archi-volte d_{Vi} [m]	0,76	-
	Quota punto applicazione spinta archi-volte h_{Vi} [m]	2,20	-
	Quota del baricentro della parete y_{Gi} [m]	1,70	4,70
Azioni	Peso specifico della muratura γ_i [kN/m ³]	22,0	22,0
	Peso proprio della parete W_i [kN]	179,5	148,7
	Carico trasmesso dal solaio P_{Si} [kN]	-	22,0
	Componente verticale spinta archi-volte F_{Vi} [kN]	67,0	-
	Componente orizzontale spinta archi-volte F_{Hi} [kN]	38,6	-
	Spinta statica della copertura P_H [kN]	-	-
	Azione del tirante T_i [kN]	-	-

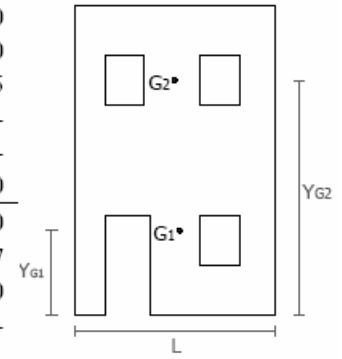
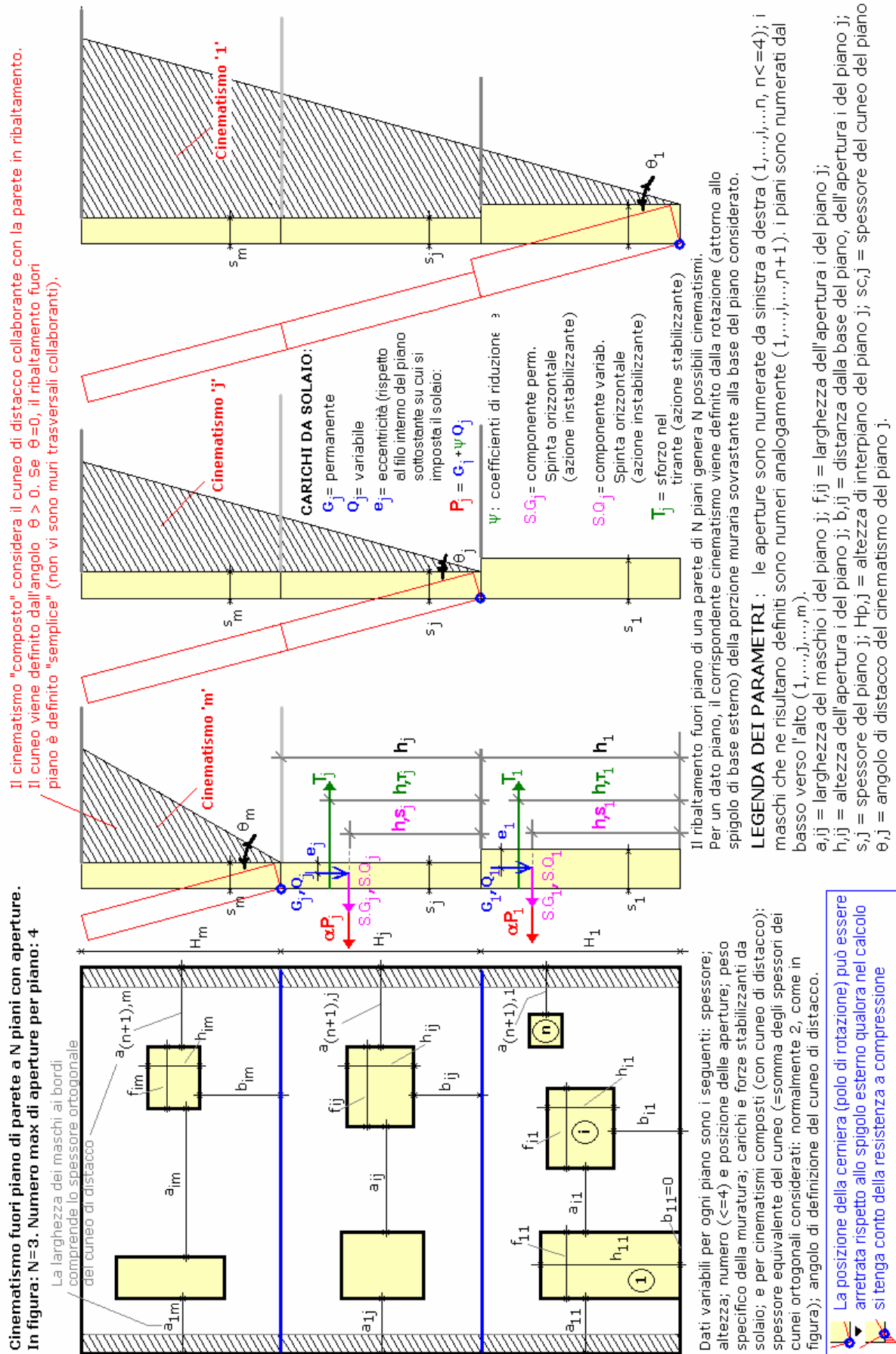


Fig. 11.5 – Parete ribaltante

Fig. C.3.2. Esempio di parete a 2 piani con aperture (tratto da [6])

Il cinematismo per ribaltamento fuori dal piano di una parete a N piani, con aperture, in ESP è organizzato secondo lo schema riportato in figura C.3.3.



I dati sono quindi i seguenti:

Dati:

1°p: Spessore **s,1** (cm) = 80

1°p: Altezza di piano **H,1** (cm) = 320

1°p: Larghezza maschio 1 **a1,1** (cm) = 60

1°p: Larghezza maschio 2 **a2,1** (cm) = 110

1°p: Larghezza maschio 3 **a3,1** (cm) = 60

1°p: Apertura 1: larghezza **f1,1** (cm) = 90

1°p: Apertura 1: altezza **h1,1** (cm) = 200

1°p: Apertura 1: distanza **b1,1** (cm) = 0

1°p: Apertura 2: larghezza **f2,1** (cm) = 80

1°p: Apertura 2: altezza **h2,1** (cm) = 100

1°p: Apertura 2: distanza **b2,1** (cm) = 110

1°p: Carico Permanente **G,1** (kN) = 67

1°p: Carico Variabile **Q,1** (kN) = 0

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q1: **$\psi_{2,1}$** = 1

1°p: Eccentricità carico **e,1** (cm) = 0

1°p: Spinta Permanente **SG,1** (kN) = 38.6

1°p: Spinta Variabile **SQ,1** (kN) = 0

1°p: Quota carico da solaio **hS,1** (cm) = 220

1°p: Peso specifico muratura **p.s.,1** (kN/m³) = 22

2°p: Spessore **s,2** (cm) = 65

2°p: Altezza di piano **H,2** (cm) = 300

2°p: Larghezza maschio 1 **a1,2** (cm) = 60

2°p: Larghezza maschio 2 **a2,2** (cm) = 120

2°p: Larghezza maschio 3 **a3,2** (cm) = 60

2°p: Apertura 1: larghezza **f1,2** (cm) = 80

2°p: Apertura 1: altezza **h1,2** (cm) = 100

2°p: Apertura 1: distanza **b1,2** (cm) = 100

2°p: Apertura 2: larghezza **f2,2** (cm) = 80

2°p: Apertura 2: altezza **h2,2** (cm) = 100

2°p: Apertura 2: distanza **b2,2** (cm) = 100

2°p: Carico Permanente **G,2** (kN) = 22

2°p: Carico Variabile **Q,2** (kN) = 0

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q2: **$\psi_{2,2}$** = 1

2°p: Eccentricità carico **e,2** (cm) = 10

2°p: Quota carico da solaio **hS,2** (cm) = 300

2°p: Peso specifico muratura **p.s.,2** (kN/m³) = 22

Polo di rotazione (=1,2,3,4,5) = 1

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = 0.196

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = 1.982

Livello di Conoscenza **LC** = 1

Fattore di Confidenza **FC** = 1.35

Per quanto riguarda i risultati, riportiamo anzitutto i risultati reperibili in [6] e di seguito quelli prodotti da ESP; in evidenza, i parametri che vengono confrontati.

RIBALTAMENTO SEMPLICE (CASO)		A	B
Momento stabilizzante	Peso proprio delle pareti [kN·m]	48,36	120,20
	Carico dei solai [kN·m]	12,10	12,10
	Azioni di archi o volte [kN·m]	-	53,60
	Azioni dei tiranti [kN·m]	-	-
Momento ribaltante	Inerzia delle pareti [kN·m]	223,20	1004,68
	Inerzia dei solai [kN·m]	66,00	136,40
	Inerzia di archi o volte [kN·m]	-	147,40
	Spinta statica di archi o volte [kN·m]	-	84,92
	Spinta statica della copertura [kN·m]	-	-
MULTIPLICATORE DI COLLASSO λ		0,209	0,078

Fig. C.3.4. Risultati dell'analisi (tratti da [6]).
In evidenza, i valori confrontati con i risultati di ESP

Altezza della parete **H** (cm) = $\Sigma H_i = 620$

Larghezza della parete **L** (cm) = $\Sigma a_i + f_j = 400$

Coefficiente di partecipazione modale $\gamma = \ln \text{input}$, o: $H * \Sigma(W_i h_i) / \Sigma(W_i h_i^2)$, h_i =altezza da fondazioni = **1.982**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = $\ln \text{input}$, oppure: $0.050 * H^{(3/4)} = 0.196$

Vita Nominale **VN** (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**

Coefficiente d'uso **CU** = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = $VN * CU = 50$

Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = $-V_R / (1 - \ln(1 - PVR)) = 475$

Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (*g) = $f(TR)$ secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.126**

Resistenza di calcolo a Compressione **f_d** (N/mm²) = $f_m / FC / \gamma_M$, con $\gamma_M = 2.0 = 0.000$

Carico di piano da solaio **P₁** (kN) = $G_1 + \psi_{2,1} * Q_1 = 67.00$

Peso proprio di piano **W₁** (kN) = $W_1 = 179.52$ ←

Peso del cuneo fino al piano **PC₁** (kN) = $PC_1 = 0.00$

Peso totale fino al piano **W_{tot,1}** (kN) = $W_{tot,1} = 417.24$

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x_{C1}** (cm) = $k(Polo) * W_{tot,1} / (L * f_d)$, con: $k(1)=0$, $k(2)=1/2$, $k(3)=1$, $k(4)=2/3$, $k(5)=2 = 0.0$

Momento Stabilizzante **M_{S,1}** (kN*m) = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = **185.84** ←

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **M_{R1,1}** (kN*m) = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 1289.02$ ←

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2,1}** (kN*m) = da: Spinte, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 84.92$ ←

Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{0,1}$** (o: **$\lambda_{,1}$**) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1} = 0.078$ ←

Massa partecipante **M^{*}₁** (kgm) = $(\Sigma(i=1,2) W_i z_i G_i + P_i h_i S_i^2) / (g (\Sigma(i=1,2) W_i z_i G_i^2 + P_i h_i S_i^2)) = 34039$

Peso totale **P_{tot,1}** (kN) = $\Sigma(i=1,2) W_i + P_i = 417.24$

Frazione di massa partecipante **e^{*}₁** = $g M_{,1}^* / P_{tot,1} = 0.800$

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a_{0*,1}** (*g) = $\alpha_{0,1} g / (e_{,1}^* FC) = 0.072$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a^{*}_{1Rig}** (*g) = $a_g S / q$, con $q=2.0 = 0.063$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a^{*}_{1Def}** (*g) = $Se(T) (Z_b / H) \gamma / q$, con $q=2.0$, $Z_b=0 = 0.000$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a^{*}₁** (*g) = $\max(a_{,1}^{*Rig}; a_{,1}^{*Def}) = 0.063$

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV₁** (*g) = PGA_{CLV} t.c. $a_{0*,1} = a_{,1}^* = 0.145$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV₁** (anni) = TR_{CLV} corrispondente a $PGA_{CLV} = 691$

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV,1 **PVR,CLV,1** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **6.982**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,1}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **1.151**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR,1}** = TR,CLV / TR,DLV = **1.454**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR,1})^{0.41}** = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = **1.166**

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,1** = - (TR,CLV / CU) * ln(1 - PVR,DLV) = **73**

Carico di piano da solaio **P,2** (kN) = G,2 + ψ_{2,2} * Q,2 = **22.00**

Peso proprio di piano **W,2** (kN) = W,2 = **148.72** ←

Peso del cuneo fino al piano **PC,2** (kN) = PC,2 = **0.00**

Peso totale fino al piano **W_{tot,2}** (kN) = W_{tot,2} = **170.72**

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C2** (cm) = k(Polo) * W_{tot,2} / (L * f,d), con: k(1)=0, k(2)=1/2, k(3)=1, k(4)=2/3, k(5)=2 = **0.0**

Momento Stabilizzante **M_{S,2}** (kN*m) = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = **60.43** ←

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α: **M_{R1,2}** (kN*m) = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = **289.08** ←

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **M_{R2,2}** (kN*m) = da: Spinte, con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **α,0,2** (o: **λ,2**) = (M_{S,2} - M_{R2,2}) / M_{R1,2} = **0.209** ←

Massa partecipante **M*,2** (kg s² / m) = (W,2 z, G₂ + P,2 h, S₂)² / (g (W,2 z, G₂² + P,2 h, S₂²)) = **15999**

Peso totale **P_{tot,2}** (kN) = W,2 + P,2 = **170.72**

Frazione di massa partecipante **e*,2** = g M*,2 / P_{tot,2} = **0.919**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,2** (* g) = α,0,2 g / (e*,2 FC) = **0.168**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,2Rig** (* g) = a, g S / q, con q=2.0 = **0.063**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,2Def** (* g) = Se(T) (Z_b / H) γ / q, con q=2.0, Z_b=H,1 = **0.163**

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*,2** (* g) = max (a*,2Rig ; a*,2Def) = **0.163**

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,2** (* g) = PGA,CLV t.c. a,0*,2 = a*,2 = **0.131**

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,2** (anni) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **523**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV,2 **PVR,CLV,2** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **9.120**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,2}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **1.040**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR,2}** = TR,CLV / TR,DLV = **1.101**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR,2})^{0.41}** = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = **1.040**

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,2** = - (TR,CLV / CU) * ln(1 - PVR,DLV) = **55**

I risultati del calcolo con ESP mostrano pieno accordo con quelli del testo di riferimento.

C.4. Esempio 3: FLESSIONE VERTICALE DI PARETE VINCOLATA AI BORDI

Riferimento bibliografico: [6], par.13.3.1, pag. 174.


Files installati da PC.E-ESP

in ESP: \Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi\Esempio_Cinematismi_3.esp

Sintesi dell'esempio

Si analizza una parete su 2 piani, considerando la possibilità che il meccanismo di flessione verticale possa interessare il piano inferiore o il piano superiore. L'esempio è finalizzato al calcolo del moltiplicatore di collasso; non essendo svolta una verifica di sicurezza conforme al D.M. 14.1.2008, i parametri sismici della costruzione si assumono pari ai valori preimpostati da PC.E.

Descrizione

Si definisca un nuovo progetto, inizialmente Anonimo; i calcoli sono eseguiti nel Sistema Internazionale, indicato nella barra degli strumenti superiore: . Si scelga ora come elemento predefinito:

Flessione verticale di parete vincolata ai bordi

e quindi si salvi il progetto con il nome *Esempio_3*.

E' ora possibile inserire i dati. I dati della parete sono illustrati in fig. C.4.1.

ELEVAZIONE		1	2
Geometria	Spessore della parete s_i [m]	0,50	0,35
	Altezza della parete (interpiano) h_i [m]	3,20	3,00
	Lunghezza della parete (larghezza maschio) L [m]	1,10	1,10
	Profondità di competenza del solaio o archi-volte [m]	2,00	2,00
	Braccio orizzontale dell'azione di archi-volte d_{Vi} [m]	0,03	-
	Braccio verticale dell'azione di archi-volte h_{Vi} [m]	1,00	-
	Braccio orizzontale del carico piani superiori d_i [m]	0,33	-
	Braccio orizzontale del carico del solaio a_i [m]	-	0,10
Azioni	Peso specifico della muratura γ [kN/m ³]	22,0	22,0
	Peso proprio del maschio murario W_i [kN]	38,7	25,4
	Carico trasmesso dal solaio P_{Si} [kN]	-	9,4
	Componente verticale spinta archi-volte F_{Vi} [kN]	18,5	-
	Componente orizzontale spinta archi-volte F_{Hi} [kN]	10,6	-
	Carico trasmesso dai piani superiori N_i [kN]	34,8	-

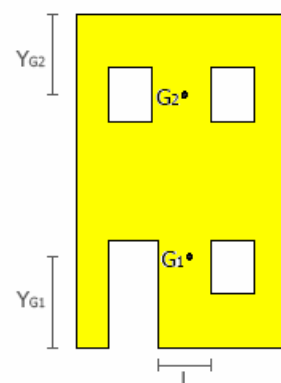
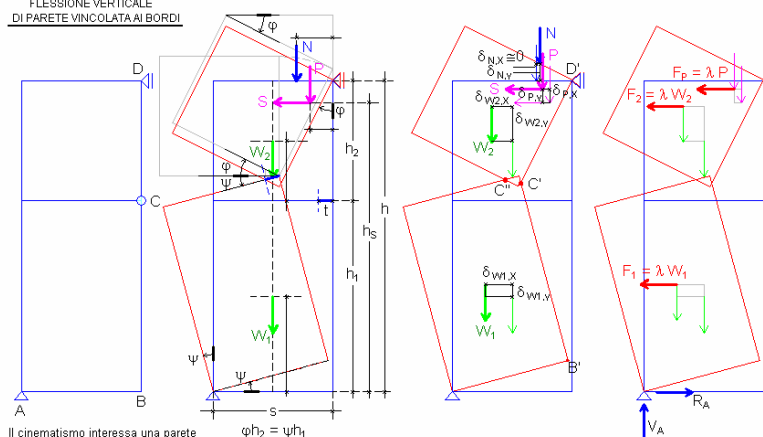


Fig. 13.6 – Parete di facciata

$L = 110 \text{ cm}$

Fig. C.4.1. Parete di riferimento per meccanismo di flessione verticale (da [6])

Il cinematismo per la flessione verticale di una parete vincolata ai bordi è organizzato in ESP secondo lo schema riportato in figura seguente:

FLESSIONE VERTICALE
DI PARETE VINCOLATA AI BORDI

Il cinematisimo interessa una parete trattenuta efficacemente in sommità (p.es. da un tirante), per la quale quale si studia il collasso per formazione di una cerniera ad un'altezza intermedia.

La posizione della cerniera corrisponde al minimo moltiplicatore di collasso.

In caso di presenza di un solaio intermedio sfalsato, la posizione della cerniera può essere imposta alla quota del solaio.

In input, fra l'altro: quota di base della parete (quota del vincolo A); numero di piani, e altezza totale dell'edificio a cui la parete appartiene.

R_D = reazione del vincolo in sommità

R_D/N = coefficiente d'attrito. Per la crisi locale di ancoraggio in sommità può essere necessario che tale valore sia inferiore ad un limite di riferimento (p.es. 0.40).

Carico in sommità:

verticale N , con eccentricità d ($d=s/2$ in caso di carico in asse)

Carico da solaio:

Componente verticale che genera azione sismica: $P = G + \psi_2 Q$

Componente orizzontale (spinta) di origine statica: $S_{tot} = S_G + \psi_2 S_Q$

Punto di applicazione: definito dalla quota h_s e dall'eccentricità e

Moltiplicatore di collasso $\alpha_o (= \lambda)$:

si individua la posizione della cerniera C utilizzando il parametro adimensionale ξ definito dalla seguente relazione:

$h_1 + h_2 = h$, $\xi = h/h_2$, $h_2 = h/\xi$, $h_1 = [(\xi - 1) / \xi] h$

L'espressione del moltiplicatore di collasso viene ricavata per i due

distinti casi in cui il carico da solaio sia sopra o sotto la cerniera.

Variano la posizione della cerniera, cioè considerando valori di h_1 compresi fra la base e la sommità, è così possibile definire la posizione cui corrisponde il moltiplicatore minimo

Si ha:

$$\lambda = \frac{\{ W [(\xi - 1) / \xi] (s / 2) + W / \xi * [(s / 2) (\xi + 1) - t \xi] + N [(s - d) + \xi (d - t)] + f_1 (P) - f (S) \}}{\{ W (h / 2) [(\xi - 1) / \xi] + f_2 (P) \}}$$

dove:

t = arretramento della cerniera = $k * (N + P + W / \xi) / [(f_m / F_c / \gamma_M) * a]$

($W_2 = W / \xi$; k dipende dallo schema del polo di rotazione)

per $h_s > h_1$: $f_1 (P) = P [(B - e) + \xi (e - t)]$; $f (S) = S (h - h_s) (\xi - 1)$; $f_2 (P) = P (h - h_s) (\xi - 1)$

per $h_s < h_1$: $f_1 (P) = P (B - e)$; $f (S) = S h_s$; $f_2 (P) = P h_s$

Nel caso in cui non vi sia carico da solaio ($P=0$; $N>0$ in sommità) e la cerniera non si consideri arretrata ($t=0$), le relazioni si semplificano, ed il valore di ξ è dato da:

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{s (W + N)}{N d}}$$

In ogni caso, le reazioni vincolari sono le seguenti:

$$R_D = \lambda \left(\frac{W}{2} + P \frac{h_s}{h} \right) - \frac{[N (s - d) + W s / 2 + P (s - e) - S_{tot} h_s]}{h}$$

$$R_A = \lambda (W + P) + S_{tot} - R_D, \quad V_A = W + N + P$$

Massa partecipante al cinematisimo:

$$M^* = \frac{(\sum P_i \delta_{x_i})^2}{g \sum (P_i \delta_{x_i})^2}, \text{ con } P_i = P, W_2, W_1$$

Fig. C.4.2. Cinematisimo per flessione verticale di parete vincolata ai bordi

Il Progetto si comporrà di due elementi: la parete inferiore, e la parete superiore. Tralasciando la descrizione delle modalità operative con ESP, già note dagli esempi precedenti, riportiamo dati e risultati per entrambe le pareti (si evidenziano con frecce i valori della posizione della cerniera di ribaltamento e del moltiplicatore di collasso).

PARETE INFERIORE:

Dati:

Larghezza **a** (cm) = **110**

Quota base da fondazioni **Z,b** (cm) = **0**

Spessore **s** (cm) = **50**

Altezza **h** (cm) = **320**

Carico in sommità (perm.+var.) **N** (kN) = **34.8**

Eccentricità carico in sommità **d** (cm) = **33**

Carico Permanente **G** (kN) = **18.5**

Carico Variabile **Q** (kN) = **0**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q: **$\psi_2 = 1$**

Eccentricità carico **e** (cm) = **3**

Spinta Permanente **SG** (kN) = **10.6**

Spinta Variabile **SQ** (kN) = **0**

Quota carico da solaio **h,S** (cm) = **220**

Peso specifico muratura **p.s.** (kN/m³) = **22**

Quota cerniera (0 = calcolo automatico) **h,c** (cm) = **0**

Polo di rotazione (=1,2,3,4,5) = **1**

Altezza totale dell'edificio **H,tot** (cm) = **620**

Numero di piani dell'edificio **N** = **2**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = **0.196**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1.2**

Livello di Conoscenza **LC** = **1**

Fattore di Confidenza **FC** = **1.35**

Risultati:

Peso proprio **W** (kN) = p.s. * (a*s*h) = **38.72**

Carico da solaio **P** (kN) = G + ψ_2 * Q = **18.50**

Spinta totale **Stot** (kN) = S,G + ψ_2 * S,Q = **10.60**

Peso totale **Ptot** (kN) = N + P + W = **92.02**

Resistenza di calcolo a Compressione **f,d** (N/mm²) = f,m / FC / gamma,M, con gammaM=2.0 = **0.000**

Quota adimensionale della cerniera $\xi = h / h_2 \Rightarrow h_1 = h * (\xi - 1) / \xi$; $h_2 = h / \xi = \mathbf{3.200}$

Arretramento della cerniera **t** (cm) = k(Polo) * (N + P + W / ξ) / (f,d * a), con: k(1)=0, k(2)=1/2, k(3)=1, k(4)=2/3, k(5)=2; t<=s/2 = **0.000**

Altezza del corpo 1 (=quota della cerniera) **h,1** (cm) = h * ($\xi - 1$) / $\xi = \mathbf{220} \leftarrow$

Altezza del corpo 2 **h,2** (cm) = h - h,1 = h / $\xi = \mathbf{100}$

Peso proprio corpo 1 **W,1** (kN) = p.s. * (a*s*h,1) = **26.62**

Peso proprio corpo 2 **W,2** (kN) = p.s. * (a*s*h,2) = **12.10**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha,0$** (o: **λ**) = vd.fig. = **0.569** \leftarrow

Reazione di vincolo in sommità **R,D** (kN) = vd.fig. = **17.95**

Coefficiente d'attrito in sommità **R,D/N** (kN) = R,D / N = **0.52**

Reazione di vincolo alla base **R,A** (kN) = vd.fig. = **25.21**

Massa partecipante **M*** (kgm) = vd.fig. = **5187**

Frazione di massa partecipante **e*** = g M* / (P+W) = **0.553**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = In input, oppure: 3N/(2N+1) = **1.200**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = In input, oppure: 0.050 * H,tot^(3/4) = **0.196**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*** (*g) = $\alpha,0$ g / (e* FC) = **0.763**

Vita Nominale **VN** (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**

Coefficiente d'uso **CU** = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = VN * CU = **50**

Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = - V,R / (1 - ln(1 - PVR)) = **475**

Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (*g) = f(TR) secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.126**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,Rig** (*g) = a,g S / q, con q=2.0 = **0.063**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,Def** (*g) = Se(T) (Z,b / H,tot) γ / q, con q=2.0 = **0.000**

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*** (*g) = max (a*,Rig ; a*,Def) = **0.063**

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV** (*g) = PGA,CLV t.c. a,0* = a* = **0.213**

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV** (anni) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **2475**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV **PVR,CLV** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **2.000**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **1.690**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR}** = TR,CLV / TR,DLV = **5.211**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR})^{0.41}** = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = **1.968**

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C** = - (TR,CLV / CU) * ln(1 - PVR,DLV) = **261**

PARETE SUPERIORE:**Dati:**

Larghezza **a** (cm) = **110**

Quota base da fondazioni **Z,b** (cm) = **320**

Spessore **s** (cm) = **35**

Altezza **h** (cm) = **300**

Carico in sommità (perm.+var.) **N** (kN) = **9.4**

Eccentricità carico in sommità **d** (cm) = **10**

Carico Permanente **G** (kN) = **0**

Carico Variabile **Q** (kN) = **0**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q: **ψ_2** = **1**

Eccentricità carico **e** (cm) = **10**

Spinta Permanente **SG** (kN) = **0**

Spinta Variabile **SQ** (kN) = **0**

Quota carico da solaio **h,S** (cm) = **300**

Peso specifico muratura **p.s.** (kN/m³) = **22**

Quota cerniera (0 = calcolo automatico) **h,c** (cm) = **0**

Polo di rotazione (=1,2,3,4,5) = **1**

Altezza totale dell'edificio **H,tot** (cm) = **620**

Numero di piani dell'edificio **N** = **2**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = **0.196**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1.2**

Livello di Conoscenza **LC** = **1**

Fattore di Confidenza **FC** = **1.35**

Risultati:

Peso proprio **W** (kN) = p.s. * (a*s*h) = **25.41**

Carico da solaio **P** (kN) = G + ψ_2 * Q = **0.00**

Spinta totale **Stot** (kN) = S,G + ψ_2 * S,Q = **0.00**

Peso totale **Ptot** (kN) = N + P + W = **34.81**

Resistenza di calcolo a Compressione **f,d** (N/mm²) = f,m / FC / gamma,M, con gamma,M=2.0 = **0.000**

Quota adimensionale della cerniera **ξ** = h / h,2 => h,1 = h * (ξ - 1) / ξ ; h,2 = h / ξ = **4.615**

Arretramento della cerniera **t** (cm) = k(Polo) * (N + P + W / ξ) / (f,d * a), con: k(1)=0, k(2)=1/2, k(3)=1, k(4)=2/3, k(5)=2; t<=s/2 = **0.000**

Altezza del corpo 1 (=quota della cerniera) **h,1** (cm) = h * (ξ - 1) / ξ = **235** ←

Altezza del corpo 2 **h,2** (cm) = h - h,1 = h / ξ = **65**

Peso proprio corpo 1 **W,1** (kN) = p.s. * (a*s*h,1) = **19.90**

Peso proprio corpo 2 **W,2** (kN) = p.s. * (a*s*h,2) = **5.51**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha,0$** (o: **λ**) = vd.fig. = **0.522** ←

Reazione di vincolo in sommità **R,D** (kN) = vd.fig. = **4.37**

Coefficiente d'attrito in sommità **R,D/N** (kN) = R,D / N = **0.46**

Reazione di vincolo alla base **R,A** (kN) = vd.fig. = **8.90**

Massa partecipante **M*** (kgm) = vd.fig. = **2591**

Frazione di massa partecipante **e*** = g M* / (P+W) = **0.730**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = In input, oppure: 3N/(2N+1) = **1.200**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = In input, oppure: 0.050 * H,tot^(3/4) = **0.196**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*** (* g) = $\alpha,0$ g / (e* FC) = **0.530**

Vita Nominale **VN** (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**

Coefficiente d'uso **CU** = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = VN * CU = **50**

Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = - V,R / (1 - ln(1 - PVR)) = **475**

Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (* g) = f(TR) secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.126**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,Rig** (* g) = a,g S / q, con q=2.0 = **0.063**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,Def** (* g) = Se(T) (Z,b / H,tot) γ / q, con q=2.0 = **0.099**

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*** (* g) = max (a*,Rig ; a*,Def) = **0.099**

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV** (* g) = PGA,CLV t.c. a,0* = a* = **0.213**

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV** (anni) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **2475**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV **PVR,CLV** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **2.000**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **1.690**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR}** = TR,CLV / TR,DLV = **5.211**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR})^{0.41}** = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = **1.968**

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C** = - (TR,CLV / CU) * ln(1 - PVR,DLV) = **261**

I risultati reperibili in [6] sono i seguenti:

FLESSIONE VERTICALE DI PARETE MONOLITICA		
A	Quota della cerniera cilindrica dalla base [m]	2,20
	Moltiplicatore di collasso minimo α_0	0,570
B	Quota della cerniera cilindrica dalla base [m]	2,34
	Moltiplicatore di collasso minimo α_0	0,522

Fig. C.4.3. Risultati dell'analisi (tratti da [6])

I risultati del calcolo con ESP mostrano pieno accordo con quelli del testo di riferimento.

C.5. Esempio 4: FLESSIONE ORIZZONTALE DI MURATURA CONFINATA

Riferimento bibliografico: [6], par.14.4.2, pag. 186.


Files installati da PC.E-ESP

in ESP: \Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi\Esempio_Cinematismi_4.esp

Sintesi dell'esempio

Si vuole valutare la sicurezza rispetto alla formazione di cerniera verticale nella fascia soprafinestra dell'edificio riportato in figura, sollecitato da una azione sismica ortogonale alla facciata. Si ipotizza che il confinamento delle pareti laterali sia tale da consentire l'instaurarsi di un arco orizzontale nello spessore resistente della parete di facciata (vedi fig. C.5.1).

Descrizione

Si definisca un nuovo progetto, inizialmente Anonimo; i calcoli sono eseguiti nel Sistema Internazionale, indicato nella barra degli strumenti superiore: . Si scelga ora come elemento predefinito:

Flessione orizzontale per parete confinata

e quindi si salvi il progetto con il nome *Esempio_4*.

E' ora possibile inserire i dati. I dati della parete sono illustrati nelle figg. C.5.1, C.5.2.

DATI INIZIALI		
Geometria	Spessore della parete s [m]	0,40
	Lunghezza della parete L [m]	4,00
	Lunghezza dell'orizzontamento gravante sulla parete l [m]	2,70
Azioni	Peso specifico della muratura γ [kN/m ³]	22,0
	Carico trasmesso dall'orizzontamento p_s [kN/m ²]	1,2
	Carico verticale sulla parete p [kN/m]	12,0
	Spinta statica trasmessa dalla copertura p_H [kN/m]	1,1
	Spinta statica concentrata F_H [kN]	-
	Tensione a rottura della muratura σ_r [N/cm ²]	120,0

Fig. C.5.1. Dati per meccanismo di flessione orizzontale di muratura confinata (da [6])

Il carico lineare trasmesso dall'orizzontale vale: $2.70 \cdot 1.20 = 3.24$ kN/m.

Per quanto riguarda la tensione a rottura della muratura: $120.0 \text{ N/cm}^2 = 1.2 \text{ N/mm}^2$, si tratta della resistenza a compressione orizzontale di progetto: $f_{hd} = 1.2 \text{ N/mm}^2$, ricavata da f_{hm} dividendo per γ_m e per F_c .

Per la muratura, la resistenza a compressione orizzontale può essere considerata pari a circa il 50% della resistenza a compressione verticale. Per quanto riguarda infine i valori di f_{hk} , f_{hm} di murature esistenti, se non noti possono essere assunti pari alla metà dei corrispondenti valori f_k , f_m .

Ai fini dei dati di ESP, da $f_{hd} = 1.2 \text{ N/mm}^2$ si risale a f_{hm} : $1.2 \cdot 2.0 \cdot 1.35 = 3.24 \text{ N/mm}^2$, ipoteticamente calcolata a partire da una resistenza a compressione media $f_m = 6.48 \text{ N/mm}^2$ ricavata ad esempio dalla Tab. C8A.2.1 della Circolare al D.M. 14.1.2008 (può corrispondere alla muratura a blocchi lapidei squadrati, con la quale è coerente peraltro il valore del peso proprio adottato: 22 kN/m^3).



Nota bene

Come si può valutare la resistenza a compressione della muratura in direzione orizzontale (nel piano della parete), necessaria per la verifica delle 'travi in muratura' (=fasce di piano: strisce, sottofinestra)? f_{hk} è il valore caratteristico della resistenza a compressione in direzione orizzontale nel piano del pannello murario; f_{hm} il corrispondente valore medio.

Per la muratura nuova il calcolo di f_{hk}/f_{hm} , in mancanza di valori di origine sperimentale, può essere eseguito in base all'EuroCodice 6 secondo le indicazioni riportate al punto 3.6.1.2. Una fonte consultabile per l'EC6 si trova in:

http://web.ist.utl.pt/guilherme.f.silva/EC/EC6%20-%20Design%20of%20masonry%20structures/prEN1996_1_1_October2001.pdf

Per la muratura esistente, una autorevole fonte di riferimento si trova in:

<http://www.dist.unina.it/doc/seminari/CNR/8.Sacco.pdf>

dove, nell'ambito della trattazione dell'applicazione delle fibre FRP, è anche indicato il valore di f_{hk} (là indicata con f_{hmk}) pari al 50% del valore di f_k (là indicata con f_{mk}).

In pratica, in generale, in assenza di specifiche più dettagliate, si può utilizzare per la resistenza a compressione orizzontale un valore pari alla metà della resistenza a compressione verticale. ■

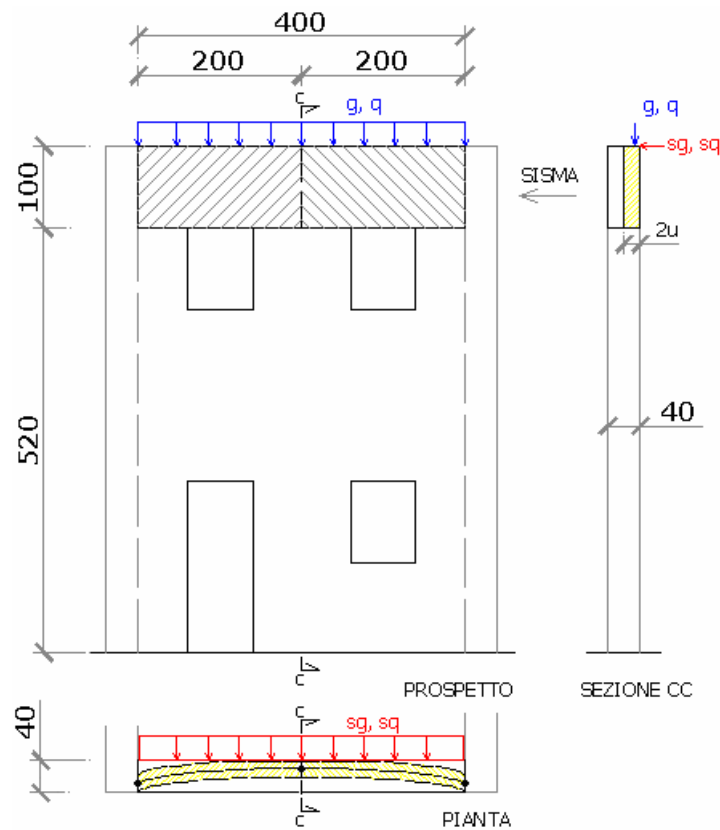
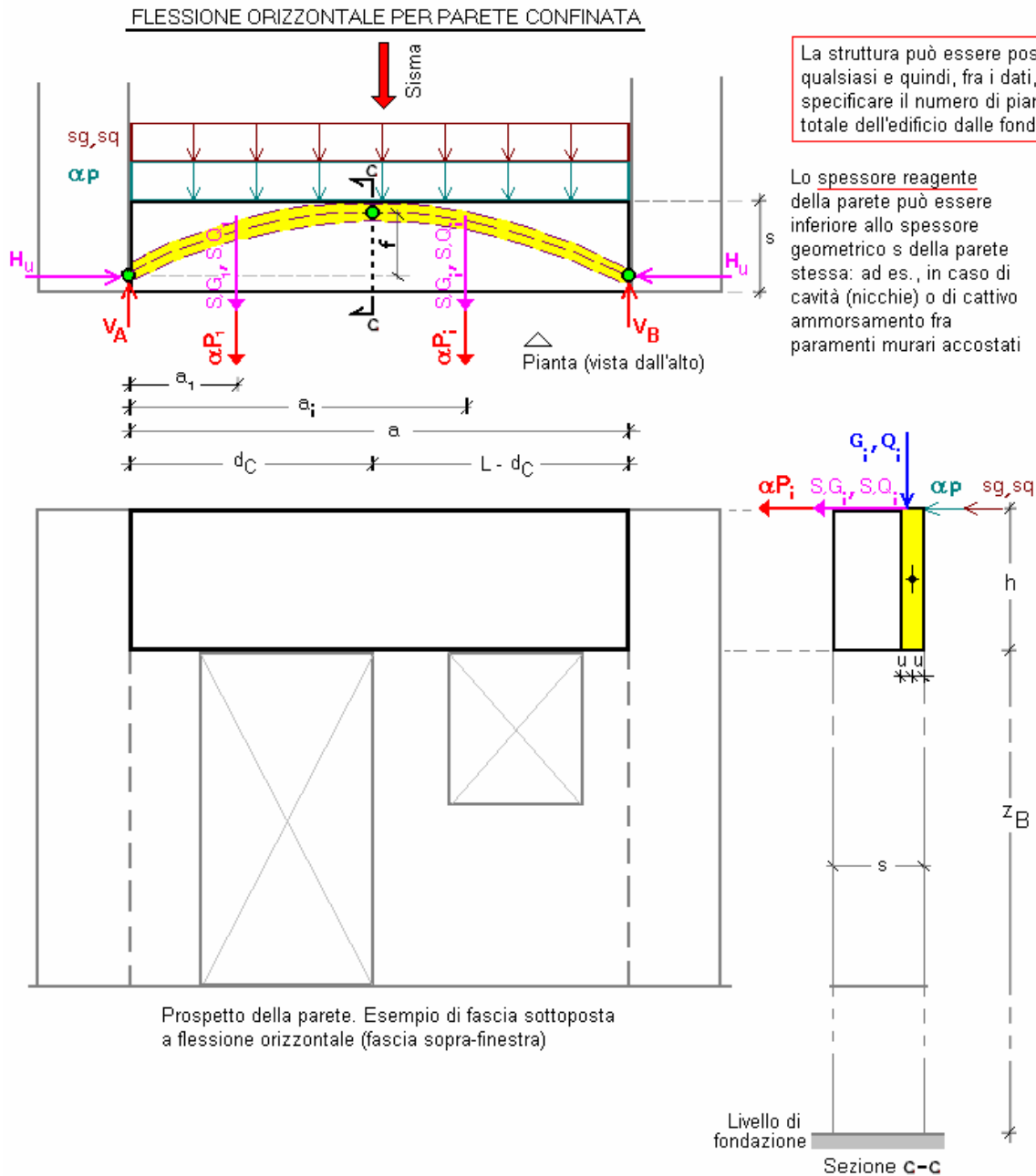


Fig. C.5.2. Esempio di flessione orizzontale di muratura confinata

Il cinematismo per la flessione orizzontale di una muratura confinata è organizzato in ESP secondo lo schema riportato in figura seguente:



Carichi concentrati applicati sopra la fascia muraria (n_{max} ; s): componenti verticali: $P = G + \psi_2 Q$; spinte: $S = SG + \psi_2 SQ$

Carichi distribuiti agenti sopra la fascia muraria: componenti verticali: $p = g + \psi_2 q$; spinte: $S_{tot} = sg + \psi_2 sq$

Carichi orizzontali sismici (α =moltiplicatore) concentrati: αP_i , distribuiti: αp , αw ($w = p \cdot spec. * s * h$)

La **posizione della cerniera** d_C può essere definita a priori, oppure determinata dalla ricerca del minimo moltiplicatore di collasso.

Moltiplicatore di collasso: $\lambda = (H_u \cdot f - C_1) / C_2$ dove:

f = freccia dell'arco compresso, per ipotesi pari a: $s - 2u$, essendo $2u$ =altezza sezione dell'arco compresso;

si pone: $u = s/k$, dove k è un parametro in input che assume valori ≥ 4 . Per $k=4$, il moltiplicatore assume il massimo valore, a parità di altri parametri.

$H_u = 2 \sigma_{ch} u h$

$$C_1 = \frac{(a-d_C)}{a} \left[\sum_{i=1}^n S_i a_i + \frac{S_{tot} a^2}{2} - \frac{a}{(a-d_C)} \sum_{i=m}^n S_i (a_i - d_C) - \frac{a}{2} S_{tot} (a-d_C) \right]$$

$$C_2 = \frac{(a-d_C)}{a} \left[\sum_{i=1}^n P_i a_i + \frac{(p+w)a^2}{2} - \frac{a}{(a-d_C)} \sum_{i=m}^n P_i (a_i - d_C) - \frac{a}{2} (p+w)(a-d_C) \right]$$

$$M^* = \frac{(\sum P_i d_i)^2}{g \sum (P_i d_i)^2}, \text{ con } P_i d_i \text{ dati da: } P_i a_i [i=1, m-1], P_i (a-a_i) \frac{d_C}{(a-d_C)} [i=m, n], p d_C \cdot d_C/2, p(a-d_C) \cdot d_C/2$$

Fig. C.5.3. Cinematismo per flessione orizzontale di muratura confinata

Per l'esempio in oggetto, si prende come spessore reagente della parete l'intero spessore della muratura; in caso di presenza di canne fumarie, cavità o paramenti murari a doppia cortina sarà necessario prendere in considerazione la situazione particolare, riducendo opportunamente lo spessore reagente.

Riportiamo di seguito: dati (come in input per ESP), elaborazione eseguita in via diretta, e risultati di ESP (si evidenzia con una freccia il valore del moltiplicatore di collasso).

Dati:

Larghezza **a** (cm) = 400

Quota base da fondazioni **Z,b** (cm) = 520

Spessore **s** (cm) = 40

Spessore della parte reagente **s,R** (cm) = 40

Altezza della fascia analizzata **h** (cm) = 100

Carico vert. distribuito Permanente **g** (kN/m) = 3.24

Carico vert. distribuito Variabile **q** (kN/m) = 0

Spinta distribuita Permanente **sg** (kN/m) = 1.1

Peso specifico muratura **p.s.** (kN/m³) = 22

Alt.sez.arco compresso: $2u \cdot u = s / k$ ($k \geq 4$). Fattore **k** = 4

Resistenza media a Compressione orizz. ($\approx 50\%$ f,m) **f,hm** (N/mm²) = 3.24

Altezza totale dell'edificio **H,tot** (cm) = 620

Numero di piani dell'edificio **N** = 2

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = 0.196

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = 1.2

Livello di Conoscenza **LC** = 1

Fattore di Confidenza **FC** = 1.35

Elaborazione di calcolo diretta:

Peso proprio della fascia:

$W = p.s. \cdot (a \cdot s_R \cdot h) = 22 \cdot 4 \cdot 0.4 \cdot 1 = 35.2$ kN, e per unità di lunghezza: $w = W/a = 35.2 / 4 = 8.80$ kN/m

Per il calcolo del moltiplicatore di collasso è necessaria la definizione dello spessore ($=2 \cdot u$) dell'arco orizzontale compresso che si forma nella muratura: nell'esempio tale spessore è posto pari al suo valore massimo, cioè a metà dello spessore reagente della fascia ($u=40/4=10$ cm).

La freccia dell'arco compresso risulta quindi essere: $f = s_R - 2u = 40 - 20 = 20$ cm

Lo sforzo normale max per l'arco compresso è: $H_u = 2 f_{hd} \cdot u \cdot h = 2 \cdot 1.2 \cdot 10 \cdot 100 = 240$ kN

Il carico verticale totale è: $p = 8.80 + 1.2 \cdot 2.70 = 12.04$ kN/m

Il carico orizzontale vale: $Stot = 1.1$ kN/m

Questa configurazione dei carichi è simmetrica, pertanto la cerniera verticale non potrà che formarsi in mezzzeria.

La distanza della cerniera dall'estremità è quindi: $d_C = 200$ cm

Il moltiplicatore di collasso è pari a: $\alpha_0 = (H_u \cdot f - c_1) / c_2$

dove:

$$c_1 = (a - d_C) / a \cdot (Stot \cdot a^2 / 2 - Stot \cdot (a - d_C) \cdot a / 2) = (4.00 - 2.00) / 4.00 \cdot (1.1 \cdot 4.00^2 / 2 - 1.1 \cdot (4.00 - 2.00) \cdot 4.00 / 2) = 2.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$c_2 = (a - d_C) / a \cdot (p \cdot a^2 / 2 - p \cdot (a - d_C) \cdot a / 2) = (4.00 - 2.00) / 4.00 \cdot (12.04 \cdot 4.00^2 / 2 - 12.04 \cdot (4.00 - 2.00) \cdot 4.00 / 2) = 24.08 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{da cui: } \alpha_0 = (H_u \cdot f - c_1) / c_2 = (240 \cdot 0.20 - 2.2) / 24.08 = 1.902 \leftarrow$$

Risultati di ESP:

Peso proprio fascia **W** (kN) = p.s. $\cdot (a \cdot s \cdot h) = 35.20$

Freccia dell'arco compresso **f** (cm) = $s_R - 2u = 20.0$

Resistenza di calcolo a Compr. orizz. **f,hd** (N/mm²) = $f_{hm} / FC / \gamma_M$, con $\gamma_M = 2.0 = 1.200$

Sforzo normale max per arco compresso **H,u** (kN) = $2 f_{hd} \cdot u \cdot h = 240.00$

Distanza cerniera da vincolo sx **d,C** (cm) = vd.fig. = 200.0

Moltiplicatore di collasso **α,0** (o: **λ**) = vd.fig. = 1.902 \leftarrow

Reazione orizz. vincolo sx **V,A** (kN) = vd.fig. = 14.52

Reazione orizz. vincolo dx **V,B** (kN) = vd.fig. = 14.52

Massa partecipante M^* (kgm) = vd.fig. = **4911**

Frazione di massa partecipante $e^* = g M^* / (\Sigma(G_i + \psi_2^* Q_i) + (g + \psi_2^* q) * a + W) = 1.000$

Coefficiente di partecipazione modale $\gamma =$ In input, oppure: $3N/(2N+1) = 1.200$

Primo periodo di vibrazione T (sec) = In input, oppure: $0.050 * H_{tot}^{(3/4)} = 0.196$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0^* (*g) = \alpha,0 g / (e^* FC) = 1.409$

Vita Nominale VN (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**

Coefficiente d'uso $CU =$ da dati sui Parametri Sismici = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica VR (anni) = $VN * CU = 50$

Probabilità PVR per SLV PVR,DLV (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV TR,DLV (anni) = $-V,R / (1 - \ln(1 - PVR)) = 475$

Domanda in termini di PGA per SLV PGA,DLV (*g) = f(TR) secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.126**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido a^*,Rig (*g) = $a,g S / q$, con $q=2.0 = 0.063$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile a^*,Def (*g) = $Se(T) (Z_b / H_{tot}) \gamma / q$, con $q=2.0 = 0.160$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV $a^* (*g) = \max(a^*,Rig ; a^*,Def) = 0.160$

Capacità in termini di PGA per SLV PGA,CLV (*g) = PGA,CLV t.c. $a,0^* = a^* = 0.213$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV TR,CLV (anni) = TR,CLV corrispondente a $PGA,CLV = 2475$

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV PVR,CLV (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **2.000**

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{PGA} = PGA,CLV / PGA,DLV = 1.690$

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{TR} = TR,CLV / TR,DLV = 5.211$

Indicatore di Rischio Sismico $(IRS_{TR})^{0.41} = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = 1.968$

Capacità in termini di Vita Nominale $VN,C = - (TR,CLV / CU) * \ln(1 - PVR,DLV) = 261$

I risultati reperibili in [6] sono i seguenti:

FLESSIONE ORIZZONTALE CONFINATA		
A	Spessore della sezione resistente [m]	0,40
	Moltiplicatore di collasso α_0	1,902
B	Spessore della sezione resistente [m]	0,20
	Moltiplicatore di collasso α_0	0,827

Fig. C.5.4. Risultati dell'analisi (tratti da [6])

I risultati del calcolo con ESP mostrano pieno accordo con quelli del testo di riferimento.

C.6. Esempio 5: CINEMATISMI DI COLLASSO FUORI DAL PIANO PER PARETI A N PIANI

Fonti: Ricerca svolta dal Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara, in convenzione con AEDES.

Files installati da PC.E-ESP

in PC.E: \Aedes2012\Pce\Progetti\Esempio_Cinematismi_5.pce, Esempio_Cinematismi_6.pce

in ESP: \Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi\Esempio_Cinematismi_5.esp, Esempio_Cinematismi_6.esp

Sintesi dell'esempio

Nel 2007 è stata svolta dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara una Ricerca finalizzata alla definizione di un algoritmo idoneo per lo studio del collasso fuori piano di pareti a N piani; i coefficienti di sicurezza sono stati definiti coerentemente alla Normativa in vigore all'atto della Ricerca (OPCM 3274/2003 e s.m.i.). In questo manuale i risultati sono stati aggiornati, a cura di AEDES, al D.M. 14.1.2008.

Descrizione

(Esempio *Esempio_Cinematismi_5*)

Il cinematismo è costituito dal ribaltamento fuori dal proprio piano di una parete con aperture, di N piani (ad esempio, la facciata di un edificio). Inizialmente, viene analizzata una geometria semplice; successivamente, il problema viene generalizzato rendendo variabili più parametri.

a) Impostazione originaria del cinematismo

In una prima impostazione, la parete presenta una finestra a ogni piano, disposta liberamente.

E' prevista la possibilità di inserire due cunei di distacco, formati dalle porzioni dei setti ortogonali alla parete eventualmente coinvolti nel cinematismo; la posizione di questi setti rispetto alla parete è libera. E' possibile infine considerare la presenza di catene, collocate alla quota di ciascun solaio. Lo schema generale della parete è il seguente:

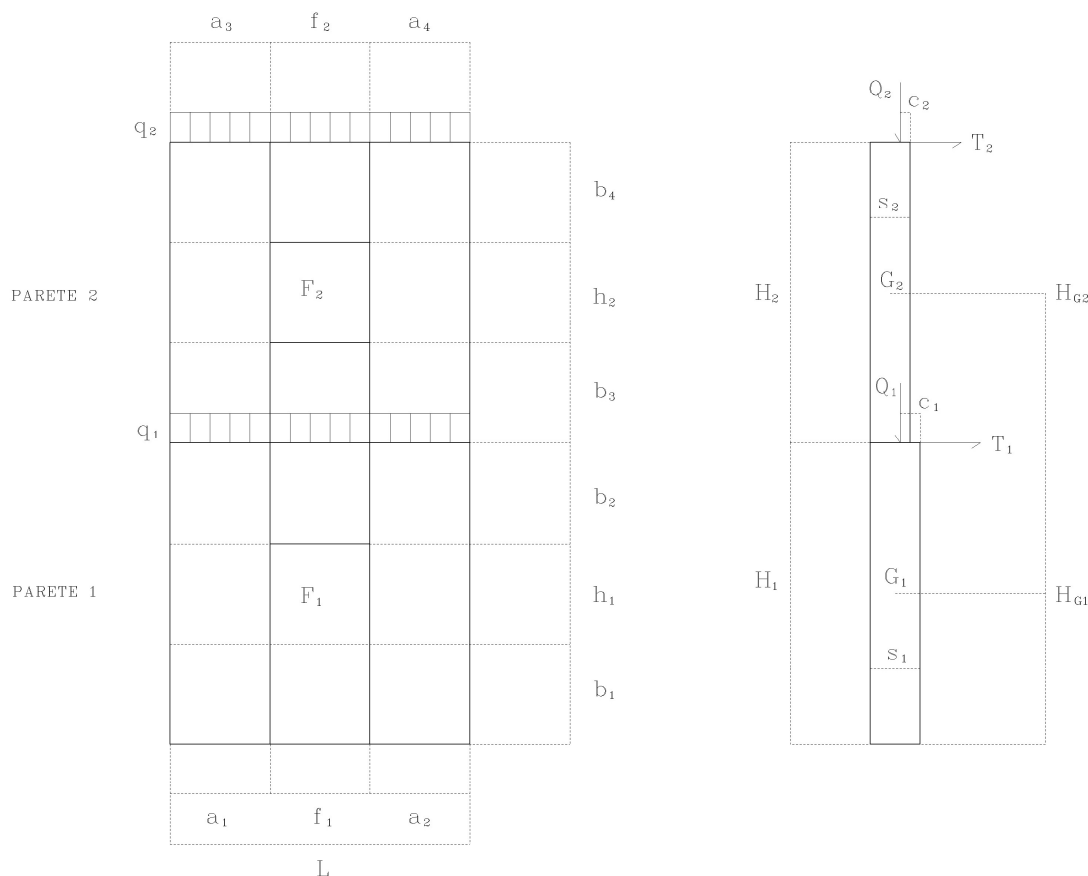


Fig. C.6.1. Schema della parete a N piani

Definito il numero dei piani N , la parete viene suddivisa nelle singole pareti interpiano (da 1 a N , con 1 parete del piano terra): ciascuna di esse viene considerata come una forza peso concentrata nel proprio baricentro.

L'insieme delle azioni è quindi fornito da:

- N pareti interpiano (masse murarie);
- N carichi di solaio; l'ultimo dei carichi di solaio è il peso della copertura; sia i carichi di solaio che di copertura si considerano comprensivi di peso proprio e accidentale;
- Cunei di distacco, la cui ampiezza dipende da uno stesso paramentro angolare θ ;
- Resistenza di progetto (p.es. resistenza allo snervamento) delle N catene di collegamento.

Vengono quindi valutati N cinematismi, ognuno costituito dal ribaltamento fuori piano nell'ipotesi che si formi una sola cerniera orizzontale per volta. La cerniera può formarsi in corrispondenza di un generico interpiano. Si calcolano N moltiplicatori di collasso. Ad ognuno di essi corrisponde una capacità in termini di accelerazione, e conseguentemente un Indicatore di Rischio Sismico (IRS, p.es. in termini di PGA): il valore minimo di IRS è assunto come rappresentativo della parete.

Osservazioni sull'impostazione del cinematismo

- E' necessario che tutte le pareti abbiano la stessa larghezza di base; è però possibile considerare differenti altezze di interpiano; inoltre, è possibile inserire delle porte invece che finestre (a esempio, porta d'ingresso al piano terreno o balconi ai piani superiori) ponendo uguale a zero l'altezza di sottofinestra.
 - A ogni piano, la quota della cerniera è posta dal programma coincidente con la linea di interpiano, ovvero con la quota di applicazione della massa di solaio.
 - E' possibile estendere l'applicazione a pareti con più finestre per piano, purché abbiano la stessa altezza e la stessa altezza di parapetto.
 - I cunei di distacco vengono valutati, uno per ciascuno degli N cinematismi, considerando la parete ortogonale piena, e misurando il cuneo a partire dalla base della parete di interpiano, sul suo filo interno, secondo lo schema in figura C.6.2.
- L'angolo θ , parametro da cui dipende l'ampiezza del cuneo, è fornito in input dall'Utente, secondo valori ritenuti possibili, in considerazione anche dell'assetto geometrico della parete laterale contenente il cuneo.

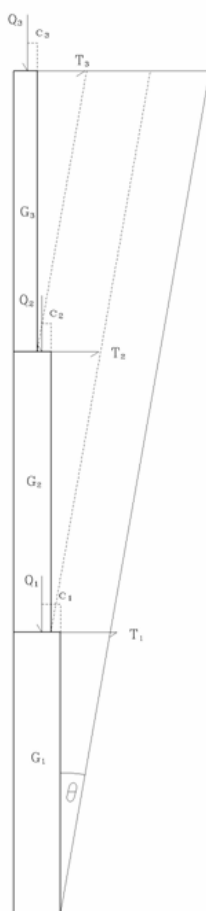


Fig. C.6.2. Cunei di distacco

La valutazione dei moltiplicatori di collasso viene svolta imponendo l'equilibrio limite tra le forze ribaltanti e quelle stabilizzanti; l'analisi prescinde dalla resistenza a compressione della muratura (ritenuta teoricamente infinita, per cui la cerniera di rotazione si forma esattamente in corrispondenza dello spigolo esterno).

b) Generalizzazione del cinematisimo

Il cinematisimo di cui al punto precedente viene generalizzato, rendendo variabili alcuni parametri significativi, con lo scopo di comprendere una più vasta casistica di pareti di edifici reali.

Per ogni piano, vengono resi variabili i seguenti parametri:

- posizione delle aperture: porte e finestre possono essere disposte in posizione qualsiasi; il metodo reso disponibile in ESP prevede un numero massimo di 4 aperture (pareti troppo estese dovrebbero infatti essere studiate in porzioni più piccole, e comunque generalmente il ribaltamento viene analizzato per pareti comprese fra due murature trasversali: è quindi improbabile che le aperture da considerare nella fascia di parete esaminata siano maggiori di un certo numero, p.es. 4);
- peso specifico della muratura: il tipo di materiale può variare fra un piano e l'altro (p.es. pietrame al piano inferiore e mattoni pieni al superiore);
- spessore dell'eventuale cuneo di distacco: lo spessore delle pareti ortogonali al piano della parete ribaltante potranno in generale variare ad esempio seguendo le medesime variazioni che la parete stessa presenta passando da un piano inferiore al sovrastante;
- angolo di distacco del cuneo: il cinematisimo individuato dal piano i-esimo può avere un angolo di distacco diverso rispetto ai cinematismi corrispondenti agli altri piani.

Il carico da solaio viene inoltre scisso nelle due componenti permanente e variabile; a quest'ultima deve essere attribuito il coefficiente di combinazione ψ_2 , conformemente al D.M. 14.1.2008.

Il tiro (azione stabilizzante) può agire anche ad una quota diversa dal solaio sovrastante la parete; è inoltre considerata l'eventuale spinta instabilizzante (suddivisa nelle componenti permanente e variabile) derivante ad esempio da un solaio a volta, agente ad una data quota (specificata in input) rispetto alla base della parete.

Nel seguito, vengono svolti due esempi. Il primo (parete a 2 piani) contiene lo sviluppo analitico del calcolo, ed il confronto con ESP costituisce un ulteriore test di validazione. Il secondo (parete a 4 piani) è un caso progettuale reale analizzato con ESP.

C.6.1. Esempio 5: PARETE A 2 PIANI (test di validazione)

(Esempio *Esempio_Cinematismi_5*)

Si considera anzitutto il caso di un edificio di due piani la cui geometria è riportata in fig. C.6.3 (i dati sono espressi in kg e cm).

Si ipotizza inoltre:

- $\theta = 30^\circ$
- spessore equivalente cuneo (=somma spessori dei muri ortogonali nei quali si forma il cuneo): 80 cm (es: due cunei da 40 cm);
- peso specifico muratura: 18 kN/m^3

Valutazione dei baricentri delle pareti e dei cunei

Area parete 1: $300 \cdot 340 - 120 \cdot 120 = 87600 \text{ cm}^2$

Area parete 2: $350 \cdot 340 - 120 \cdot 150 = 101000 \text{ cm}^2$

$$S_{x,1} = (100 + 120) \cdot \frac{300^2}{2} + 120 \cdot \frac{80^2}{2} + 100 \cdot 120 \cdot \left(80 + 120 + \frac{100}{2} \right) = 13284e03$$

$$S_{x,2} = (100 + 120) \cdot \frac{350^2}{2} + 120 \cdot \frac{100^2}{2} + 100 \cdot 120 \cdot \left(100 + 150 + \frac{100}{2} \right) = 17675e03$$

I baricentri delle pareti rispetto alla linea di interpiano misurano:

$$Y_{G1} = \frac{S_{x,1}}{A_1} = 151.64 \text{ cm} \quad Y_{G2} = \frac{S_{x,2}}{A_2} = 175 \text{ cm} \quad (\text{vedi fig. C.6.4})$$

$$\text{Area cuneo 1: } \frac{(300 + 350)^2}{2} \cdot \tan 30 + 10 \cdot 350 = 125465 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area cuneo 2: } \frac{350^2}{2} * \tan 30 = 35363 \text{ cm}^2$$

$$S_{x,1} = \frac{(300+350)^3}{3} * \tan 30 + 10 * 350 * \left(300 + \frac{350}{2}\right) = 54514106 \text{ cm}^3$$

$$S_{x,2} = \frac{350^3}{3} * \tan 30 = 8251297 \text{ cm}^3$$

I baricentri dei cunei rispetto alla linea di interpiano misurano:

$$Y_{C1} = \frac{S_{x,1}}{A_1} = 434.5 \text{ cm} \quad Y_{C2} = \frac{S_{x,2}}{A_2} = 233.33 \text{ cm} \quad (\text{vd. fig. C.6.4})$$

$$S_{y,1} = \frac{(300+350)^2}{2} * \tan 30 * \left(60 + \frac{300+350}{3} * \tan 30\right) + 10 * 350 * \left(50 + \frac{10}{2}\right) = 22767391 \text{ cm}^3$$

$$S_{y,2} = \frac{350^2}{2} * \tan 30 * \left(50 + \frac{350}{3} * \tan 30\right) = 4150079 \text{ cm}^3$$

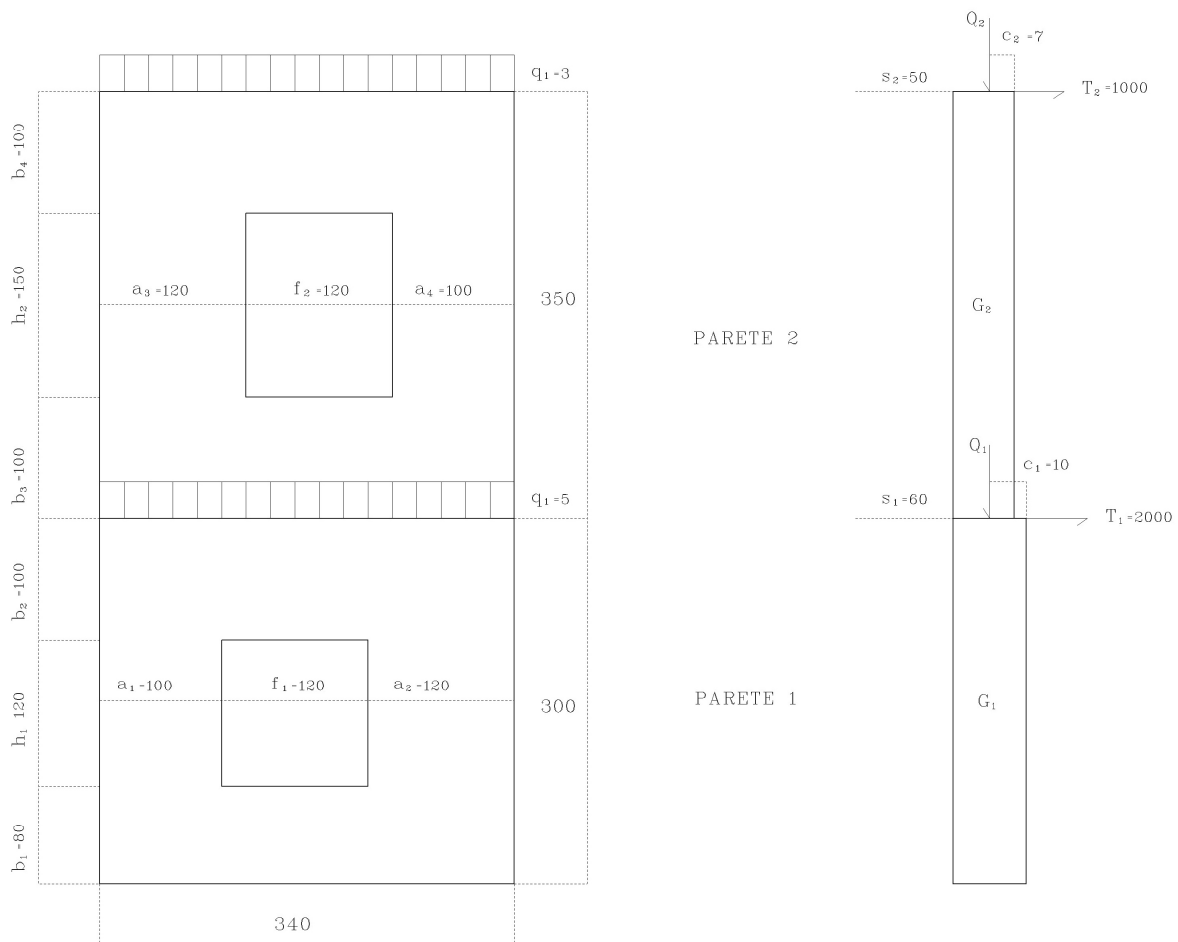


Fig. C.6.3. Esempio di parete a 2 piani

I baricentri dei cunei rispetto alla linea esterna del muro misurano:

$$X_{C1} = \frac{S_{y,1}}{A_1} = 181.46 \text{ cm} \quad X_{C2} = \frac{S_{y,2}}{A_2} = 117.36 \text{ cm} \quad (\text{vd. fig. C.6.4})$$

Valutazione delle forze agenti

A questi elementi sono associate le forze peso concentrate nei baricentri (vedi fig. C.6.4):

$$P_1 = A_1 * s_1 * \rho = 94.608 \text{ kN}; \quad P_2 = A_2 * s_2 * \rho = 90.90 \text{ kN}; \quad (\text{pesi delle pareti})$$

$$P_{C1} = 180.67 \text{ kN}; \quad P_{C2} = 50.92 \text{ kN}; \quad (\text{pesi cunei equivalenti})$$

Inoltre:

$$Q_1 = 5 * 3.40 = 17 \text{ kN}; \quad Q_2 = 3 * 3.40 = 10.20 \text{ kN}; \quad (\text{carichi solai})$$

Valutazione dei moltiplicatori di collasso

Nel caso in esame si valutano due cinematismi, rispettivamente intorno alla quota terreno e intorno alla linea del primo piano:

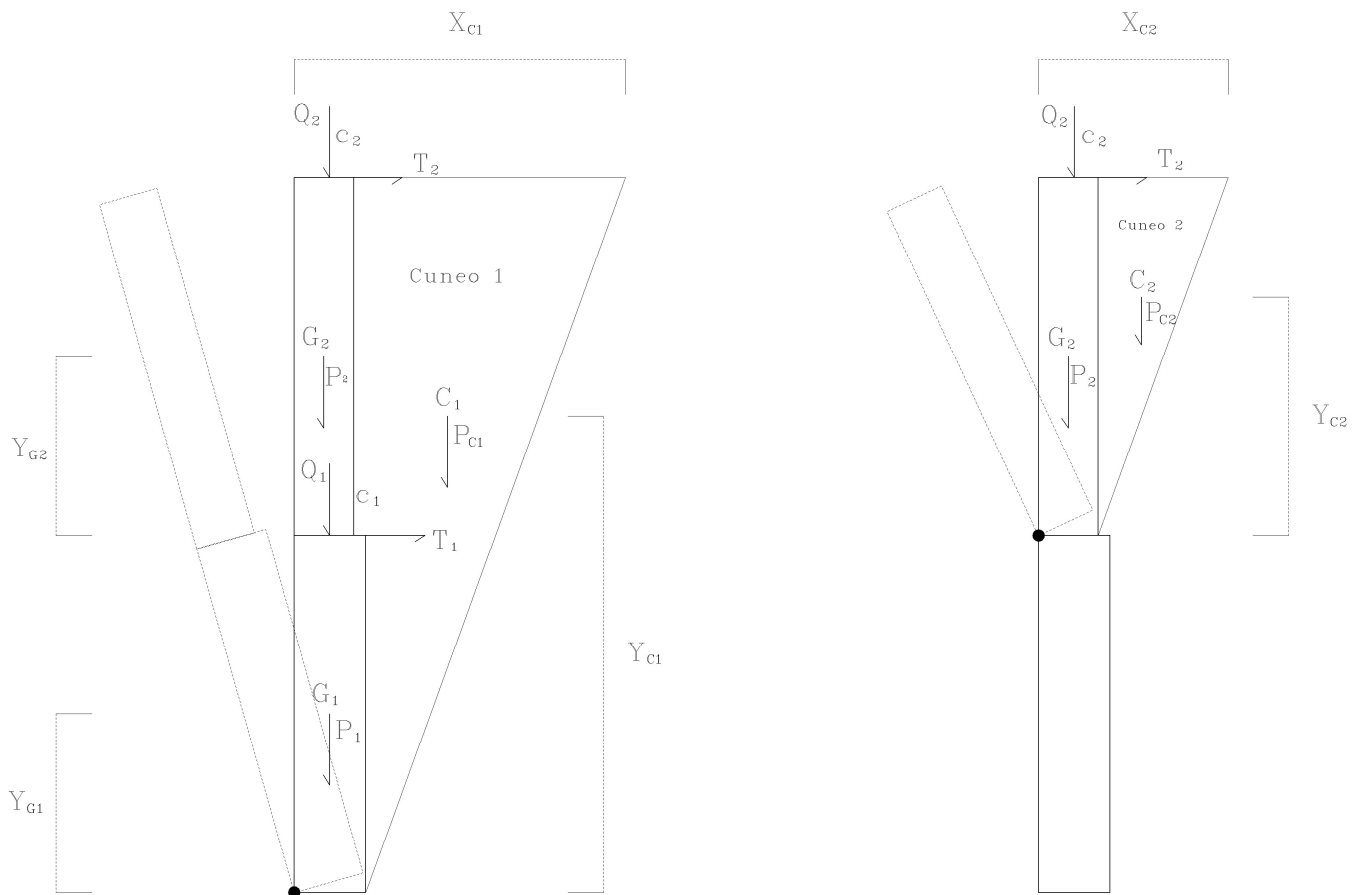


Fig. C.6.4.

Per il cinematismo 1 (cerniera al piano terra) è possibile scrivere (i calcoli originali sono stati eseguiti in kgf e cm):

$$\lambda = \frac{P_1 * \frac{s_1}{2} + P_2 * \frac{s_2}{2} + P_{C1} * X_{C1} + Q_1 * (s_1 - c_1) + Q_2 * (s_2 - c_2) + T_1 * H_1 + T_2 * (H_1 + H_2)}{P_1 * Y_{G1} + P_2 * (H_1 + Y_{G2}) + P_{C1} * Y_{C1} + Q_1 * H_1 + Q_2 * (H_1 + H_2)} =$$

$$= \frac{9461 * 30 + 9090 * 25 + 2 * 9033.5 * 181.5 + 1700 * 50 + 1020 * 43 + 2000 * 300 + 1000 * 650}{9461 * 151.6 + 9090 * (175 + 300) + 2 * 9033.5 * 434.5 + 1700 * 300 + 1020 * 650} =$$

$$= \frac{5168377.8}{14775149} = 0.3498$$

Per il cinematismo 2 si ha:

$$\lambda = \frac{P_2 * \frac{s_2}{2} + P_{C2} * X_{C2} + Q_2 * (s_2 - c_2) + T_2 * H_2}{P_2 * Y_{G2} + C_2 * Y_{C2} + Q_2 * H_2} =$$

$$= \frac{9090 * 25 + 2 * 2546 * 117.4 + 1020 * 43 + 1000 * 350}{9090 * 175 + 2 * 2546 * 233.3 + 1020 * 350} =$$

$$\frac{1218656}{3135713.6} = 0.3886$$

Analisi eseguita con ESP:

Dati:

1°p: Spessore **s,1** (cm) = **60**

1°p: Altezza di piano **H,1** (cm) = **300**

1°p: Larghezza maschio 1 **a1,1** (cm) = **100**

1°p: Larghezza maschio 2 **a2,1** (cm) = **120**

1°p: Apertura 1: larghezza **f1,1** (cm) = **120**

1°p: Apertura 1: altezza **h1,1** (cm) = **120**

1°p: Apertura 1: distanza **b1,1** (cm) = **80**

1°p: Carico Permanente **G,1** (kN) = **17**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q1: **$\psi_{2,1}$** = **1**

1°p: Eccentricità carico **e,1** (cm) = **10**

1°p: Quota carico da solaio **hS,1** (cm) = **300**

1°p: Sforzo nel tirante **T,1** (kN) = **20**

1°p: Quota del tirante **hT,1** (cm) = **300**

1°p: Peso specifico muratura **p.s.,1** (kN/m³) = **18**

1°p: Spessore equivalente cuneo **s,c,1** (cm) = **80**

1°p: Angolo di distacco del cuneo **$\theta,1$** (°) = **30**

2°p: Spessore **s,2** (cm) = **50**

2°p: Altezza di piano **H,2** (cm) = **350**

2°p: Larghezza maschio 1 **a1,2** (cm) = **120**

2°p: Larghezza maschio 2 **a2,2** (cm) = **100**

2°p: Apertura 1: larghezza **f1,2** (cm) = **120**

2°p: Apertura 1: altezza **h1,2** (cm) = **150**

2°p: Apertura 1: distanza **b1,2** (cm) = **100**

2°p: Carico Permanente **G,2** (kN) = **10.2**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q2: **$\psi_{2,2}$** = **1**

2°p: Eccentricità carico **e,2** (cm) = **7**

2°p: Quota carico da solaio **hS,2** (cm) = **350**

2°p: Sforzo nel tirante **T,2** (kN) = **10**

2°p: Quota del tirante **hT,2** (cm) = **350**

2°p: Peso specifico muratura **p.s.,2** (kN/m³) = **18**

2°p: Spessore equivalente cuneo **s,c,2** (cm) = **80**

2°p: Angolo di distacco del cuneo **$\theta,2$** (°) = **30**

Polo di rotazione (=1,2,3,4,5) = **1**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = **0.204**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1.664**

Livello di Conoscenza **LC** = **1**

Fattore di Confidenza **FC** = **1.35**

Risultati:

Altezza della parete **H** (cm) = $\Sigma H_i = 650$

Larghezza della parete **L** (cm) = $\Sigma a_i + f_j = 340$

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = In input, o: $H * \Sigma(W_i h_i) / \Sigma(W_i h_i^2)$, h_i =altezza da fondazioni = **1.664**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = In input, oppure: $0.050 * H^{(3/4)} = 0.204$

Vita Nominale **VN** (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**

Coefficiente d'uso **CU** = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = $VN * CU = 50$

Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = $-V_R / (1 - \ln(1 - PVR)) = 475$

Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (*g) = $f(TR)$ secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.207**

Resistenza di calcolo a Compressione **f,d** (N/mm²) = f_m / γ_c , con $\gamma_c = 2.0 = 0.000$

Carico di piano da solaio **P,1** (kN) = $G_1 + \psi_{2,1} * Q_1 = 17.00$

Peso proprio di piano **W,1** (kN) = $W_1 = 94.61$

Peso del cuneo fino al piano **PC,1** (kN) = $PC_1 = 180.67$

Peso totale fino al piano **Wtot,1** (kN) = $W_{tot,1} = 393.38$

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C1** (cm) = $k(Polo) * W_{tot,1} / (L * f_d)$, con: $k(1)=0$, $k(2)=1/2$, $k(3)=1$, $k(4)=2/3$, $k(5)=2 = 0.0$

Momento Stabilizzante **M_{s,1}** (kN*m) = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = **516.84**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : **M_{R1,1}** (kN*m) = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 1477.55$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2,1}** (kN*m) = da: Spinte, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 0.00$

Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{0,1}$** (o: **$\lambda_{,1}$**) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1} = 0.350$ **← (0.3498 per l'esempio svolto manualmente)**

Massa partecipante **M*,1** (kgm) = $(\Sigma_{i=1,2} W_i z_i G_i + P_i h_i S_i^2) / (g (\Sigma_{i=1,2} W_i z_i G_i^2 + P_i h_i S_i^2)) = 35544$

Peso totale **Ptot,1** (kN) = $\Sigma_{i=1,2} W_i + P_i = 393.38$

Frazione di massa partecipante **e*,1** = $g M^*,1 / P_{tot,1} = 0.886$

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (*g) = $\alpha_{0,1} g / (e^*,1 \gamma_c) = 0.292$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1Rig** (*g) = $a_g S / q$, con $q=2.0 = 0.104$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,1Def** (*g) = $S_e(T) (Z_b / H) \gamma / q$, con $q=2.0$, $Z_b=0 = 0.000$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*,1** (*g) = $\max(a^*,1Rig; a^*,1Def) = 0.104$

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,1** (*g) = PGA_{CLV} t.c. $a_{0*,1} = a^*,1 = 0.472$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,1** (anni) = TR_{CLV} corrispondente a $PGA_{CLV} = 2475$

Probabilità PVR corrispondente a $TR_{CLV,1}$ **PVR,CLV,1** (%) = PVR_{CLV} corrispondente a $TR_{CLV} = 2.000$

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,1}** = $PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 2.280$

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR,1}** = $TR_{CLV} / TR_{DLV} = 5.211$

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR,1})^{0.41}** = $(TR_{CLV} / TR_{DLV})^{0.41} = 1.968$

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,1** = $-(TR_{CLV} / CU) * \ln(1 - PVR_{DLV}) = 261$

Carico di piano da solaio **P,2** (kN) = $G_2 + \psi_{2,2} * Q_2 = 10.20$

Peso proprio di piano **W,2** (kN) = $W_2 = 90.90$

Peso del cuneo fino al piano **PC,2** (kN) = $PC_2 = 50.92$

Peso totale fino al piano **Wtot,2** (kN) = $W_{tot,2} = 152.02$

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C2** (cm) = $k(Polo) * W_{tot,2} / (L * f_d)$, con: $k(1)=0$, $k(2)=1/2$, $k(3)=1$, $k(4)=2/3$, $k(5)=2 = 0.0$

Momento Stabilizzante **M_{s,2}** (kN*m) = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = **121.87**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : **M_{R1,2}** (kN*m) = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 313.59$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2,2}** (kN*m) = da: Spinte, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 0.00$

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{0,2}$ (o: $\lambda_{,2}$) = $(M_{S,2} - M_{R2,2}) / M_{R1,2} = \mathbf{0.389}$ \leftarrow (0.3886 per l'esempio svolto manualmente)

Massa partecipante $M^*,2$ ($kg \ s^2 / m$) = $(W,2 \ z, G2 + P,2 \ h, S2)^2 / (g \ (W,2 \ z, G2^2 + P,2 \ h, S2^2)) = \mathbf{14735}$

Peso totale $P_{tot,2}$ (kN) = $W,2 + P,2 = \mathbf{152.02}$

Frazione di massa partecipante $e^*,2 = g \ M^*,2 / P_{tot,2} = \mathbf{0.950}$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a_{0,2}$ (*g) = $\alpha_{0,2} \ g / (e^*,2 \ FC) = \mathbf{0.303}$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido $a^*,2Rig$ (*g) = $a, g \ S / q$, con $q=2.0 = \mathbf{0.104}$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile $a^*,2Def$ (*g) = $Se(T) \ (Zb / H) \ \gamma / q$, con $q=2.0, Zb=H,1 = \mathbf{0.181}$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV $a^*,2$ (*g) = $\max(a^*,2Rig ; a^*,2Def) = \mathbf{0.181}$

Capacità in termini di PGA per SLV $PGA,CLV,2$ (*g) = PGA,CLV t.c. $a_{0,2} = a^*,2 = \mathbf{0.333}$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV $TR,CLV,2$ (anni) = TR,CLV corrispondente a $PGA,CLV = \mathbf{1244}$

Probabilità PVR corrispondente a $TR,CLV,2$ $PVR,CLV,2$ (%) = PVR,CLV corrispondente a $TR,CLV = \mathbf{3.941}$


Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{PGA,2} = PGA,CLV / PGA,DLV = \mathbf{1.609}$

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{TR,2} = TR,CLV / TR,DLV = \mathbf{2.618}$

Indicatore di Rischio Sismico $(IRS_{TR,2})^{0.41} = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = \mathbf{1.484}$

Capacità in termini di Vita Nominale $VN,C,2 = - (TR,CLV / CU) * \ln(1 - PVR,DLV) = \mathbf{131}$

I risultati del calcolo dei moltiplicatori di collasso svolto manualmente coincidono con quelli ottenuti da ESP (a meno di arrotondamenti non significativi).

L'elaborazione grafica vettoriale dei cinematismi della parete fornisce una modalità efficace e sintetica per la consultazione dei risultati: in fig. C.6.5 si riporta la schermata contenente l'immagine mostrata nella Grafica Struttura (aperta dal comando  della barra degli strumenti superiore):

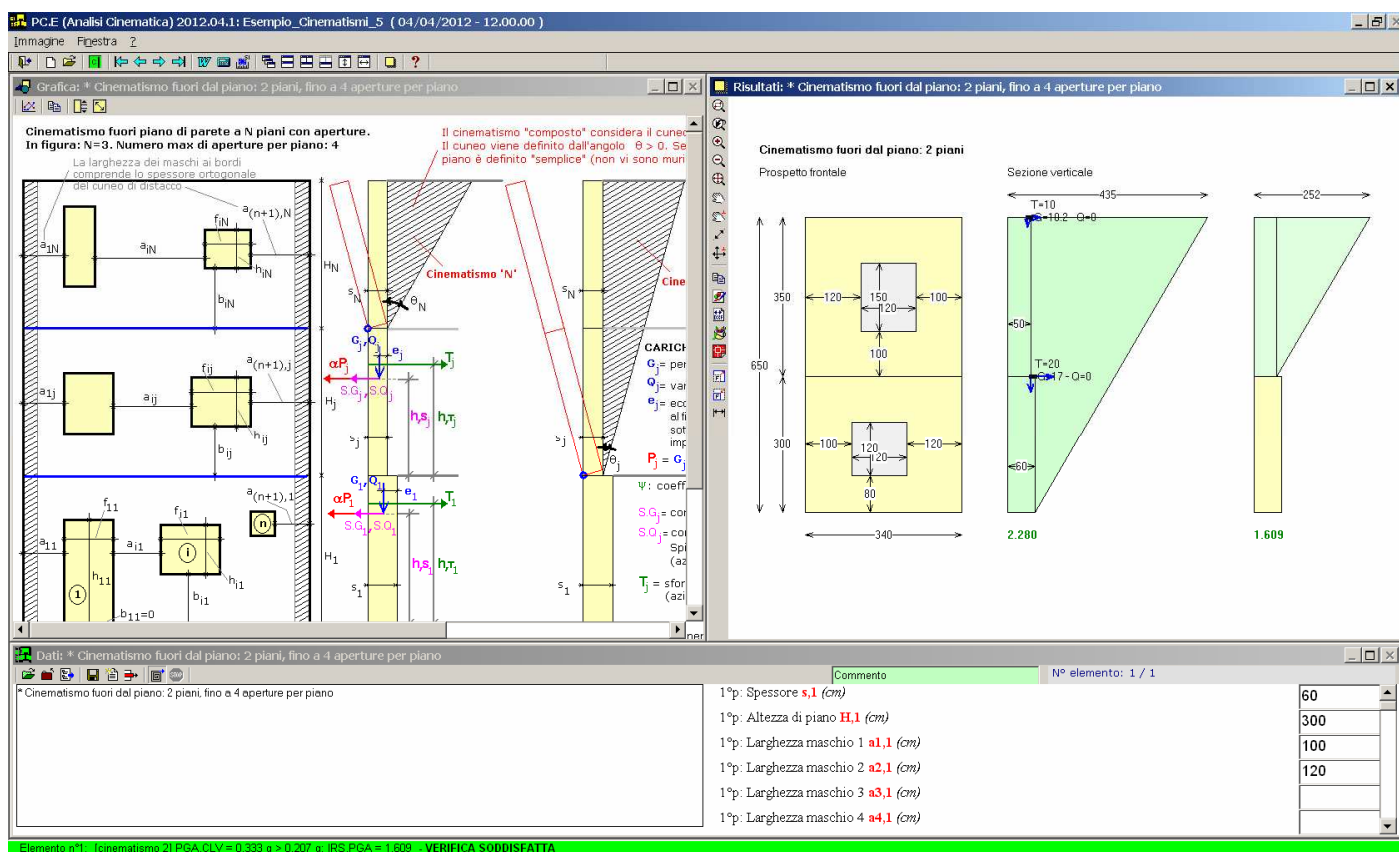


Fig. C.6.5.

C.6.2. Esempio 6: PARETE A 4 PIANI (esempio progettuale)

(Esempio *Esempio_Cinematismi_6*)

In questo paragrafo, la procedura di analisi di una parete multipiano forata viene applicata ad un caso reale: la facciata di un edificio; in fig. C.6.6 sono tracciate le linee di riferimento per la caratterizzazione geometrica del problema.



Fig. C.6.6.

In fig. C.6.7 si riporta la schematizzazione geometrica della parete.

Anziché ricostruire ex-novo l'esempio, si può consultarlo direttamente aprendo il Progetto di ESP: `\Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi\Esempio_Cinematismi_6.esp`.

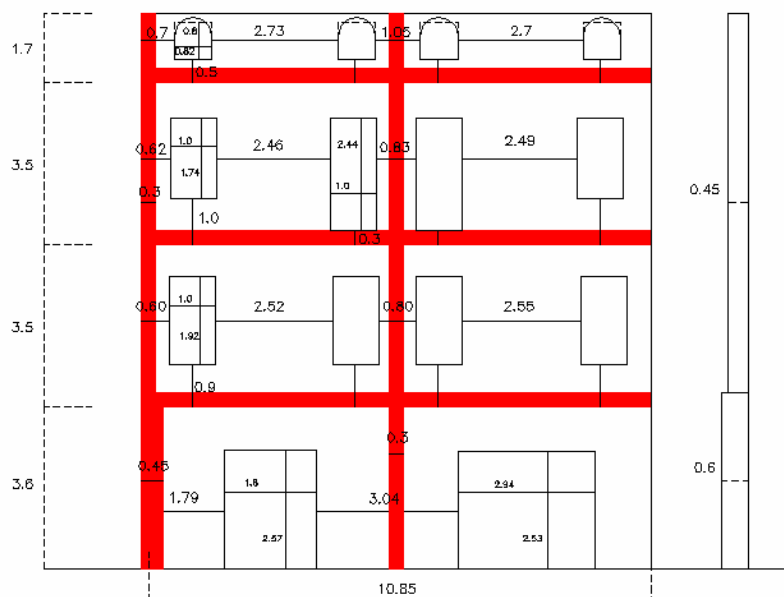


Fig. C.6.7.

Di seguito, si illustrano i dati della parete.

Luce solaio (comune ai tre livelli): 5.3 m (da cui: zona di influenza: 2.65 m);
 luce copertura: luce massima: 6.5 m (falda triangolare) (da cui: zona di influenza: 3.25 m);
 eccentricità: si ipotizzano 7.5 cm per tutti e quattro i livelli.
 Carichi permanenti (peso proprio + carico permanente oltre peso proprio):
 solaio (comune ai tre livelli): 3.00 kN/m²;
 copertura (mq a terra): 2.50 kN/m²;
 Valore del carico permanente uniformemente distribuito (indice = n° del piano):
 $g_1 = g_2 = g_3 = 3.00 * 2.65 = 7.95$ kN/m, da cui: $G_1 = G_2 = G_3 = 7.95 * 10.85 = 86.2575$ kN
 $g_4 = 2.50 * 3.25 = 8.125$ kN/m, da cui: $G_4 = 8.125 * 10.85 = 88.15625$ kN
 - Carico variabile:
 piano primo: 3.00 kN/m² (ristorante); $\psi_2=0.6$
 piani successivi: 2.00 kN/m² (civile abitazione); $\psi_2=0.3$
 copertura (neve): 1.00 kN/m²; $\psi_2=0.0$
 Valore del carico variabile:
 $q_1 = 3.00 * 2.65 = 7.95$ kN/m, da cui: $Q_1 = 7.95 * 10.85 = 86.2575$ kN
 $q_2 = q_3 = 2.00 * 2.65 = 5.30$ kN/m, da cui: $Q_2 = Q_3 = 5.30 * 10.85 = 57.505$ kN
 $q_4 = 1.00 * 3.25 = 3.25$ kN/m, da cui: $Q_4 = 3.25 * 10.85 = 35.2625$ kN
 - Dati dei cunei:
 Si considerano due cunei, uno nella parete ortogonale esterna, uno in quella interna;
 valore dell'angolo del cuneo: $\theta = 20^\circ$
 spessori dei cunei:

piano:	T	1	2	3
parete esterna:	0.45	0.3	0.3	0.3 m
parete interna:	0.3	0.3	0.3	0.3 m

Lo spessore 'equivalente' del cuneo è dato, per ogni piano, dalla somma degli spessori dei due cunei, esterno e interno.
 - Altri parametri:
 Peso specifico, costante per tutto l'edificio: 18.00 kN/m³;
 le finestrelle al piano ultimo sono state rettificate secondo il principio dell'area equivalente (approssimazione);
 si ipotizza infine che non vi siano tiranti a trattenere la parete.
 Vita Nominale dell'edificio: 50 anni, Classe d'Uso: II.
 Sito di ubicazione dell'edificio: Ferrara. I parametri sismici sono riportati in fig. C.6.8.

Dati e risultati di ESP:

* Cinematismo fuori dal piano: 4 piani, fino a 4 aperture per piano

Dati:

1°p: Spessore **s,1** (cm) = **59**
 1°p: Altezza di piano **H,1** (cm) = **360**
 1°p: Larghezza maschio 1 **a1,1** (cm) = **179**
 1°p: Larghezza maschio 2 **a2,1** (cm) = **304**
 1°p: Larghezza maschio 3 **a3,1** (cm) = **128**
 1°p: Apertura 1: larghezza **f1,1** (cm) = **180**
 1°p: Apertura 1: altezza **h1,1** (cm) = **257**
 1°p: Apertura 1: distanza **b1,1** (cm) = **0**
 1°p: Apertura 2: larghezza **f2,1** (cm) = **294**
 1°p: Apertura 2: altezza **h2,1** (cm) = **253**
 1°p: Carico Permanente **G,1** (kN) = **86.2575**
 1°p: Carico Variabile **Q,1** (kN) = **86.2575**
 Coeff. di combinazione ψ_2 per Q1: **$\psi_2,1$** = **0.6**
 1°p: Eccentricità carico **e,1** (cm) = **7.5**
 1°p: Quota carico da solaio **hS,1** (cm) = **360**
 1°p: Peso specifico muratura **p.s.,1** (kN/m³) = **18**
 1°p: Spessore equivalente cuneo **s,c,1** (cm) = **75**
 1°p: Angolo di distacco del cuneo **$\theta,1$** (°) = **20**

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 = 11.616667 Latitudine = 44.841944

WGS84 <--> ED50 ...

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

Tipi di interpolazione:
☐ Media ponderata: [3], \$All.A
☒ Superficie rigata [§CA]

Reticolo intorno al sito...

Incolla da Spettri, Cons. Sup. LL PP.

TR (anni)	a.g (g)	F.o	TC* (sec)
30	0.037	2.550	0.250
50	0.046	2.508	0.277
72	0.055	2.483	0.280
101	0.065	2.506	0.284
140	0.076	2.556	0.276
201	0.091	2.580	0.272
475	0.132	2.597	0.272
975	0.177	2.556	0.280
2475	0.255	2.477	0.290

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	0.037	2.550	0.250	1.500	1.659	1.500	0.138	0.415	1.748	0.662
SLE	SLD	50	0.046	2.508	0.277	1.500	1.604	1.500	0.148	0.444	1.784	0.726
SLU	SLV	475	0.132	2.597	0.272	1.494	1.614	1.494	0.146	0.439	2.128	1.274
SLU	SLC	975	0.177	2.556	0.280	1.429	1.598	1.429	0.149	0.447	2.308	1.452

Categoria di sottosuolo: C h/H (h = quota sito, H = altezza rilievo topografico) (0 <= h/H <= 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: $\alpha_v/\alpha_1 = 1$ (secondo §C8.7.1.2: 1.50) $\rightarrow q_0 = 3.000$ ☒ Regolarità in altezza $\rightarrow q = 2.800 \rightarrow \eta = 0.357$
Secondo Normativa: $q = k^*(a_u/a_1)$. Si ha: $k = 2.0$, e quindi: $q = 3.000$

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

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. C.6.8.

2°p: Spessore **s,2** (cm) = 45
 2°p: Altezza di piano **H,2** (cm) = 350
 2°p: Larghezza maschio 1 **a1,2** (cm) = 60
 2°p: Larghezza maschio 2 **a2,2** (cm) = 252
 2°p: Larghezza maschio 3 **a3,2** (cm) = 80
 2°p: Larghezza maschio 4 **a4,2** (cm) = 255
 2°p: Larghezza maschio 5 **a5,2** (cm) = 38
 2°p: Apertura 1: larghezza **f1,2** (cm) = 100
 2°p: Apertura 1: altezza **h1,2** (cm) = 192
 2°p: Apertura 1: distanza **b1,2** (cm) = 90
 2°p: Apertura 2: larghezza **f2,2** (cm) = 100
 2°p: Apertura 2: altezza **h2,2** (cm) = 192
 2°p: Apertura 2: distanza **b2,2** (cm) = 90
 2°p: Apertura 3: larghezza **f3,2** (cm) = 100
 2°p: Apertura 3: altezza **h3,2** (cm) = 192
 2°p: Apertura 3: distanza **b3,2** (cm) = 90
 2°p: Apertura 4: larghezza **f4,2** (cm) = 100
 2°p: Apertura 4: altezza **h4,2** (cm) = 192
 2°p: Apertura 4: distanza **b4,2** (cm) = 90
 2°p: Carico Permanente **G,2** (kN) = 86.2575

2°p: Carico Variabile **Q,2** (kN) = **57.505**
 Coeff. di combinazione ψ_2 per Q2: **$\psi_{2,2}$** = **0.3**
 2°p: Eccentricità carico **e,2** (cm) = **7.5**
 2°p: Quota carico da solaio **hS,2** (cm) = **350**
 2°p: Peso specifico muratura **p.s.,2** (kN/m³) = **18**
 2°p: Spessore equivalente cuneo **s,c,2** (cm) = **60**
 2°p: Angolo di distacco del cuneo **$\theta,2$** (°) = **20**
 3°p: Spessore **s,3** (cm) = **45**
 3°p: Altezza di piano **H,3** (cm) = **350**
 3°p: Larghezza maschio 1 **a1,3** (cm) = **62**
 3°p: Larghezza maschio 2 **a2,3** (cm) = **246**
 3°p: Larghezza maschio 3 **a3,3** (cm) = **83**
 3°p: Larghezza maschio 4 **a4,3** (cm) = **249**
 3°p: Larghezza maschio 5 **a5,3** (cm) = **45**
 3°p: Apertura 1: larghezza **f1,3** (cm) = **100**
 3°p: Apertura 1: altezza **h1,3** (cm) = **174**
 3°p: Apertura 1: distanza **b1,3** (cm) = **100**
 3°p: Apertura 2: larghezza **f2,3** (cm) = **100**
 3°p: Apertura 2: altezza **h2,3** (cm) = **244**
 3°p: Apertura 2: distanza **b2,3** (cm) = **30**
 3°p: Apertura 3: larghezza **f3,3** (cm) = **100**
 3°p: Apertura 3: altezza **h3,3** (cm) = **244**
 3°p: Apertura 3: distanza **b3,3** (cm) = **30**
 3°p: Apertura 4: larghezza **f4,3** (cm) = **100**
 3°p: Apertura 4: altezza **h4,3** (cm) = **174**
 3°p: Apertura 4: distanza **b4,3** (cm) = **100**
 3°p: Carico Permanente **G,3** (kN) = **86.2575**
 3°p: Carico Variabile **Q,3** (kN) = **57.505**
 Coeff. di combinazione ψ_2 per Q3: **$\psi_{2,3}$** = **0.3**
 3°p: Eccentricità carico **e,3** (cm) = **7.5**
 3°p: Quota carico da solaio **hS,3** (cm) = **350**
 3°p: Peso specifico muratura **p.s.,3** (kN/m³) = **18**
 3°p: Spessore equivalente cuneo **s,c,3** (cm) = **60**
 3°p: Angolo di distacco del cuneo **$\theta,3$** (°) = **20**
 4°p: Spessore **s,4** (cm) = **45**
 4°p: Altezza di piano **H,4** (cm) = **170**
 4°p: Larghezza maschio 1 **a1,4** (cm) = **70**
 4°p: Larghezza maschio 2 **a2,4** (cm) = **273**
 4°p: Larghezza maschio 3 **a3,4** (cm) = **105**
 4°p: Larghezza maschio 4 **a4,4** (cm) = **270**
 4°p: Larghezza maschio 5 **a5,4** (cm) = **39**
 4°p: Apertura 1: larghezza **f1,4** (cm) = **82**
 4°p: Apertura 1: altezza **h1,4** (cm) = **80**
 4°p: Apertura 1: distanza **b1,4** (cm) = **50**
 4°p: Apertura 2: larghezza **f2,4** (cm) = **82**
 4°p: Apertura 2: altezza **h2,4** (cm) = **80**
 4°p: Apertura 2: distanza **b2,4** (cm) = **50**
 4°p: Apertura 3: larghezza **f3,4** (cm) = **82**
 4°p: Apertura 3: altezza **h3,4** (cm) = **80**
 4°p: Apertura 3: distanza **b3,4** (cm) = **50**
 4°p: Apertura 4: larghezza **f4,4** (cm) = **82**

4°p: Apertura 4: altezza **h4,4** (cm) = **80**
 4°p: Apertura 4: distanza **b4,4** (cm) = **50**
 4°p: Carico Permanente **G,4** (kN) = **88.15625**
 4°p: Carico Variabile **Q,4** (kN) = **35.2625**
 Coeff. di combinazione $\psi_{2,2}$ per Q4: **$\psi_{2,4}$** = **0**
 4°p: Eccentricità carico **e,4** (cm) = **7.5**
 4°p: Quota carico da solaio **hS,4** (cm) = **170**
 4°p: Peso specifico muratura **p.s.,4** (kN/m³) = **18**
 4°p: Spessore equivalente cuneo **s,c,4** (cm) = **60**
 4°p: Angolo di distacco del cuneo **$\theta,4$** (°) = **20**
Polo di rotazione (=1,2,3,4,5) = **1**
 Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = **0.328**
 Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1.461**
 Livello di Conoscenza **LC** = **1**
 Fattore di Confidenza **FC** = **1.35**

Risultati:

Altezza della parete **H** (cm) = $\Sigma H_{i,j}$ = **1230**
 Larghezza della parete **L** (cm) = $\Sigma a_{i,j} + f_{i,j}$ = **1085**
 Coefficiente di partecipazione modale **γ** = In input, o: $H * \Sigma(W_{i,j} h_{i,j}) / \Sigma(W_{i,j} h_{i,j}^2)$, $h_{i,j}$ =altezza da fondazioni = **1.461**
 Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = In input, oppure: $0.050 * H^{(3/4)}$ = **0.328**
 Vita Nominale **VN** (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**
 Coefficiente d'uso **CU** = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**
 Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = $VN * CU$ = **50**
 Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**
 Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = $-V_{R,1} / (1 - \ln(1 - PVR))$ = **475**
 Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (*g) = $f(TR)$ secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.132**
 Resistenza di calcolo a Compressione **f,d** (N/mm²) = f_{cm} / γ_c , con $\gamma_c=1.35$ = **0.000**
 Carico di piano da solaio **P,1** (kN) = $G_{1,1} + \psi_{2,1} * Q_{1,1}$ = **138.01**
 Peso proprio di piano **W,1** (kN) = $W_{1,1}$ = **286.70**
 Peso del cuneo fino al piano **PC,1** (kN) = $PC_{1,1}$ = **316.87**
 Peso totale fino al piano **Wtot,1** (kN) = $W_{tot,1}$ = **1650.18**
 Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C1** (cm) = $k(Polo) * W_{tot,1} / (L * f_d)$, con: $k(1)=0$, $k(2)=1/2$, $k(3)=1$, $k(4)=2/3$, $k(5)=2$ = **0.0**
 Momento Stabilizzante **M_{S,1}** (kN*m) = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = **1036.91**
 Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **M_{R1,1}** (kN*m) = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2}$ = **11455.94**
 Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2,1}** (kN*m) = da: Spinte, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2}$ = **0.00**
 Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{0,1}$** (o: **$\lambda_{0,1}$**) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1}$ = **0.091**
 Massa partecipante **M*,1** (kgm) = $(\Sigma_{i=1,4} W_{i,z} G_i + P_{i,h} S_i)^2 / (g (\Sigma_{i=1,4} W_{i,z} G_i^2 + P_{i,h} S_i^2))$ = **138780**
 Peso totale **Ptot,1** (kN) = $\Sigma_{i=1,4} W_{i,z} + P_{i,h}$ = **1650.18**
 Frazione di massa partecipante **e*,1** = $g M_{*,1} / P_{tot,1}$ = **0.825**
 Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (*g) = $\alpha_{0,1} g / (e_{*,1} \gamma_c)$ = **0.081**
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1Rig** (*g) = $a_g S / q$, con $q=2.0$ = **0.099**
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,1Def** (*g) = $S_e(T) (Z_b / H, f_1) \gamma / q$, con $q=2.0$, $Z_b=0$ = **0.000**
 Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*,1** (*g) = $\max(a_{*,1Rig}; a_{*,1Def})$ = **0.099**
 Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,1** (*g) = PGA_{CLV} t.c. $a_{0*,1} = a_{*,1}$ = **0.109**
 Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,1** (anni) = TR_{CLV} corrispondente a PGA_{CLV} = **302**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV,1 **PVR,CLV,1 (%)** = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **15.256**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,1}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **0.826**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR,1}** = TR,CLV / TR,DLV = **0.636**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR,1})^{0.41}** = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = **0.831**

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,1** = - (TR,CLV / CU) * ln(1 - PVR,DLV) = **32**

Carico di piano da solaio **P,2 (kN)** = G,1 + ψ_{2,2} * Q,1 = **103.51**

Peso proprio di piano **W,2 (kN)** = W,2 = **245.39**

Peso del cuneo fino al piano **PC,2 (kN)** = PC,2 = **148.76**

Peso totale fino al piano **Wtot,2 (kN)** = Wtot,2 = **1057.36**

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C2 (cm)** = k(Polo) * Wtot,2 / (L * f,d), con: k(1)=0, k(2)=1/2, k(3)=1, k(4)=2/3, k(5)=2 = **0.0**

Momento Stabilizzante **M_{S,2} (kN*m)** = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = **472.68**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α: **M_{R1,2} (kN*m)** = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = **5409.23**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **M_{R2,2} (kN*m)** = da: Spinte, con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **α,0,2** (o: **λ,2**) = (M_{S,2} - M_{R2,2}) / M_{R1,2} = **0.087**

Massa partecipante **M*,2 (kgm)** = (Σ(i=2,4) W_i z_i G_i + P_i h_i S_i)² / (g (Σ(i=2,4) W_i z_i G_i² + P_i h_i S_i²)) = **89608**

Peso totale **Ptot,2 (kN)** = Σ(i=2,4) W_i + P_i = **1057.36**

Frazione di massa partecipante **e*,2** = g M*,2 / Ptot,2 = **0.831**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,2 (*g)** = α,0,2 g / (e*,2 FC) = **0.078**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,2Rig (*g)** = a_g S / q, con q=2.0 = **0.099**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,2Def (*g)** = Se(T) (Z_b / H) γ / q, con q=2.0, Z_b=H,1 = **0.110**

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*,2 (*g)** = max (a*,2Rig ; a*,2Def) = **0.110**

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,2 (*g)** = PGA,CLV t.c. a,0*,2 = a*,2 = **0.095**

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,2 (anni)** = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **219**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV,2 **PVR,CLV,2 (%)** = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **20.445**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,2}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **0.720**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR,2}** = TR,CLV / TR,DLV = **0.460**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR,2})^{0.41}** = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = **0.727**

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,2** = - (TR,CLV / CU) * ln(1 - PVR,DLV) = **23**

Carico di piano da solaio **P,3 (kN)** = G,3 + ψ_{2,3} * Q,3 = **103.51**

Peso proprio di piano **W,3 (kN)** = W,3 = **239.88**

Peso del cuneo fino al piano **PC,3 (kN)** = PC,3 = **53.15**

Peso totale fino al piano **Wtot,3 (kN)** = Wtot,3 = **612.84**

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C3 (cm)** = k(Polo) * Wtot,3 / (L * f,d), con: k(1)=0, k(2)=1/2, k(3)=1, k(4)=2/3, k(5)=2 = **0.0**

Momento Stabilizzante **M_{S,3} (kN*m)** = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = **212.13**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α: **M_{R1,3} (kN*m)** = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = **1986.82**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **M_{R2,3} (kN*m)** = da: Spinte, con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **α,0,3** (o: **λ,3**) = (M_{S,3} - M_{R2,3}) / M_{R1,3} = **0.107**

Massa partecipante **M*,3 (kgm)** = (Σ(i=3,4) W_i z_i G_i + P_i h_i S_i)² / (g (Σ(i=3,4) W_i z_i G_i² + P_i h_i S_i²)) = **53952**

Peso sismico totale **Ptot,3 (kN)** = Σ(i=3,4) W_i + P_i = **612.84**

Frazione di massa partecipante **e*,3** = g M*,3 / Ptot,3 = **0.863**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,3 (*g)** = α,0,3 g / (e*,3 FC) = **0.092**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,3Rig (*g)** = a_g S / q, con q=2.0 = **0.099**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,3Def (*g)** = Se(T) (Z_b / H) γ / q, con q=2.0, Z_b=(H,1+H,2) = **0.216**

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*,3** (* g) = max (a*,3Rig ; a*,3Def) = **0.216**

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,3** (* g) = PGA,CLV t.c. a,0*,3 = a*,3 = **0.058**

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,3** (anni) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **81**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV,3 **PVR,CLV,3** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **45.945**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,3}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **0.439**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR,3}** = TR,CLV / TR,DLV = **0.171**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR,3})^{0.41}** = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = **0.485**

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,3** = - (TR,CLV / CU) * ln(1 - PVR,DLV) = **9**

Carico di piano da solaio **P,4** (kN) = G,4 + ψ_{2,4} * Q,4 = **88.16**

Peso proprio di piano **W,4** (kN) = W,4 = **128.15**

Peso del cuneo fino al piano **PC,4** (kN) = PC,4 = **5.68**

Peso totale fino al piano **W_{tot},4** (kN) = W_{tot},4 = **221.99**

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C4** (cm) = k(Polo) * W_{tot},4 / (L * f,d), con: k(1)=0, k(2)=1/2, k(3)=1, k(4)=2/3, k(5)=2 = **0.0**

Momento Stabilizzante **M_s,4** (kN*m) = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = **65.62**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α: **M_{R1},4** (kN*m) = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = **264.17**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **M_{R2},4** (kN*m) = da: Spinte, con: M_R = α * M_{R1} + M_{R2} = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **α,0,4** (o: **λ,4**) = (M_s,4 - M_{R2},4) / M_{R1},4 = **0.248**

Massa partecipante **M*,4** (kg s² / m) = (W,4 z,G4 + P,4 h,S4)² / (g (W,4 z,G4² + P,4 h,S4²)) = **20167**

Peso sismico totale **P_{tot},4** (kN) = W,4 + P,4 = **221.99**

Frazione di massa partecipante **e*,4** = g M*,4 / P_{tot},4 = **0.891**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,4** (* g) = α,0,4 g / (e*,4 FC) = **0.207**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,4Rig** (* g) = a,g S / q, con q=2.0 = **0.099**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,4Def** (* g) = Se(T) (Zb / H) γ / q, con q=2.0, Zb=(H,1+H,2+H,3) = **0.322**

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*,4** (* g) = max (a*,4Rig ; a*,4Def) = **0.322**

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,4** (* g) = PGA,CLV t.c. a,0*,4 = a*,4 = **0.086**

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,4** (anni) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **177**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV,4 **PVR,CLV,4** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **24.623**


Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,4}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **0.652**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR,4}** = TR,CLV / TR,DLV = **0.372**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR,4})^{0.41}** = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = **0.667**

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,4** = - (TR,CLV / CU) * ln(1 - PVR,DLV) = **19**

La schermata di ESP riportata in fig. C.6.9 mostra la segnalazione della verifica di sicurezza non soddisfatta: in basso, l'etichetta in colore rosso indica il cinematismo più sfavorevole (Indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA pari a 0.439 < 1.000, corrispondente al cinematismo n°3).

L'elaborazione grafica vettoriale dei cinematismi della parete fornisce una modalità efficace e sintetica per la consultazione dei risultati: in fig. C.6.10 si riporta l'immagine mostrata attraverso il comando di apertura della Grafica Struttura: , nella barra degli strumenti superiore.

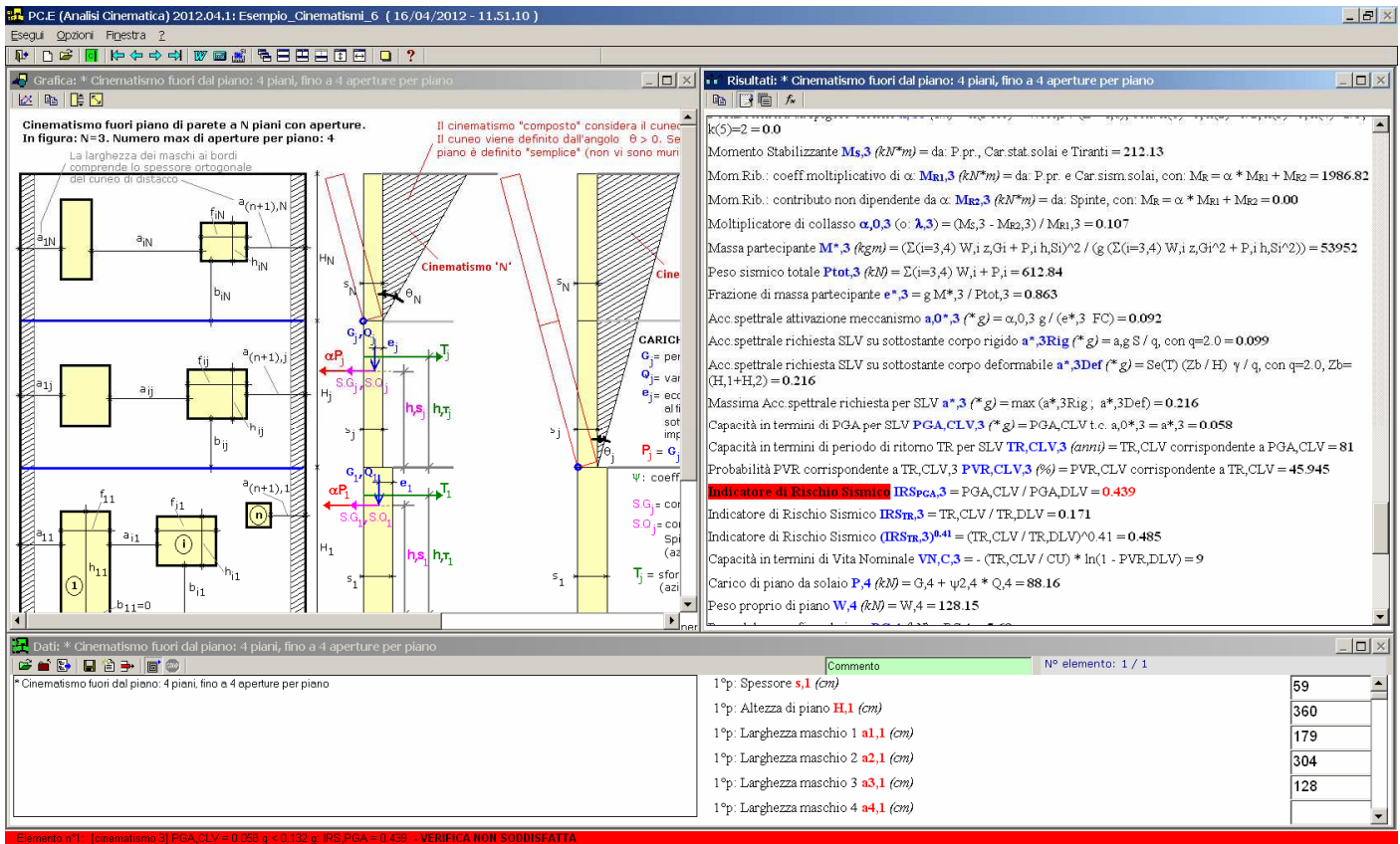


Fig. C.6.9.

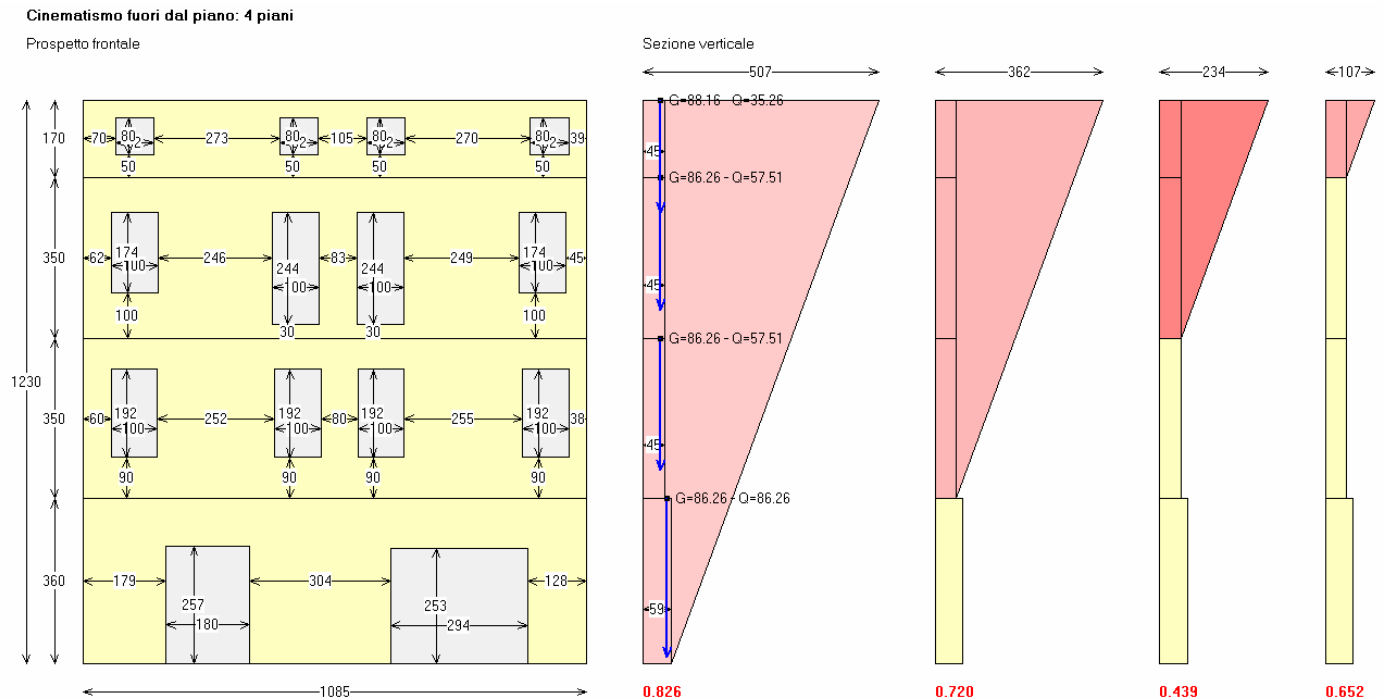


Fig. C.6.10.

Generalmente, i meccanismi di ribaltamento per pareti a N piani vengono utilizzati in ESP per la descrizione di pareti indipendenti da una modellazione con PC.E dell'edificio cui appartengono; il file corrispondente di PC.E viene definito unicamente ai fini della specifica dei parametri sismici.

Infatti, i paramenti murari di edifici modellati con PC.E possono molto più agevolmente essere studiati generando direttamente i meccanismi da PC.E, senza quindi la necessità di specificare tutti i dati geometrici della parete con le aperture; ai paramenti murari generati automaticamente da PC.E è dedicato il p. C.7.

Per le pareti che non corrispondono a edifici modellati con PC.E, come la parete esaminata nell'esempio 5 o in questo esempio 6, una particolare funzionalità grafica consente la visualizzazione del cinematismo in ambito PC.M-PC.E. Più esattamente, un **collegamento fra l'ambiente ESP e PC.M** provvede a creare un opportuno modello della parete in PC.M in modo tale da poter visualizzare la **rappresentazione spaziale della parete**.

Più in dettaglio, l'elaborazione di calcolo in ESP genera tanti files per PC.M quanti sono i piani della parete, mostrando i relativi cinematismi. I nomi dei files generati sono i seguenti:

`\Aedes2012\Pcm\Progetti\Esempio_Cinematismi_6-Elemento_1_Cinematismo_j.pcm`, dove $j=1,2,3,4$ (Elemento_1 significa appunto l'elemento n°1 del progetto di ESP).

Nella medesima cartella vengono inoltre creati alcuni files di appoggio contenenti i risultati (files da non modificare da parte dell'Utente), aventi lo stesso nome del Progetto ed estensioni: *ris*, *cn1*, *cn2*.

Aperto in PC.M il progetto `Esempio_Cinematismi_6-Elemento_1_Cinematismo_j`, è così visualizzabile, nella sua configurazione reale, la parete definita in ESP: nelle figure seguenti, con riferimento all'esempio analizzato, si riportano i 4 cinematismi generati.

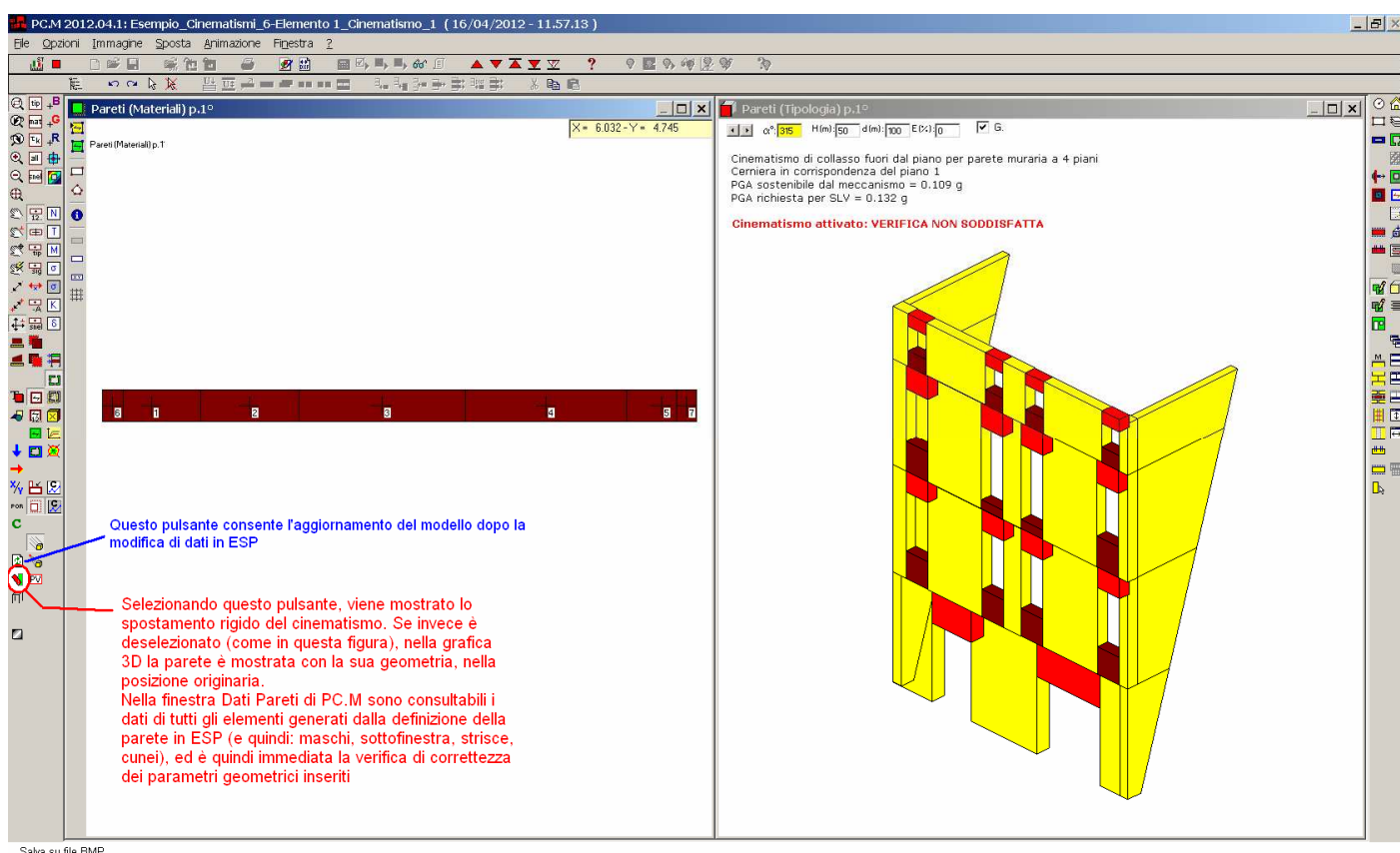




Fig. C.6.11.

Selezionando in PC.M il pulsante  della barra degli strumenti, viene mostrato lo spostamento rigido del cinematismo (vd. fig. C.6.12). Se invece tale pulsante è deselezionato (come in fig. C.6.11), nella grafica 3D la parete è mostrata con la sua geometria, nella posizione indeformata originaria. Nella finestra Dati Pareti sono consultabili i dati di tutti gli elementi generati dalla definizione della parete in ESP (maschi, sottofinestra, strisce, cunei), ed è quindi immediata la verifica di correttezza dei parametri geometrici inseriti in ESP. Riattivando ESP, mentre PC.M è aperto, e modificando i dati della parete, tornando nuovamente in PC.M è necessario un aggiornamento, reso possibile dal pulsante  della barra degli strumenti. La finestra grafica 3D di PC.M visualizza in colore rosso i cinematismi non verificati; in verde, i cinematismi verificati. Nelle figure seguenti, da C.6.12 a C.6.15, sono rappresentati tutti i cinematismi della parete esaminata. E' interessante anche l'utilizzo in PC.M del comando di Animazione del Cinematismo (menu Animazione della finestra Grafica 3D), che permette di visualizzare dinamicamente l'instabilizzazione della struttura.

Cinematismo di collasso fuori dal piano per parete muraria a 4 piani
 Cerniera in corrispondenza del piano 1
 PGA sostenibile dal meccanismo = 0.109 g
 PGA richiesta per SLV = 0.132 g

Cinematismo attivato: VERIFICA NON SODDISFATTA

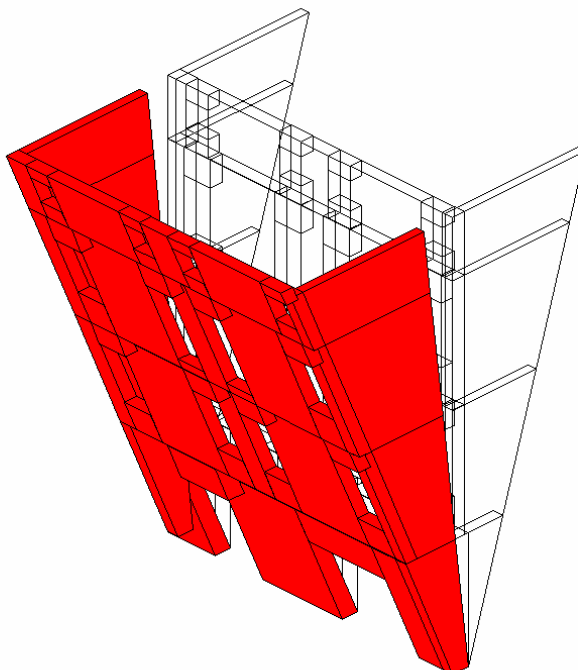


Fig. C.6.12.

Cinematismo di collasso fuori dal piano per parete muraria a 4 piani
 Cerniera in corrispondenza del piano 2
 PGA sostenibile dal meccanismo = 0.095 g
 PGA richiesta per SLV = 0.132 g

Cinematismo attivato: VERIFICA NON SODDISFATTA

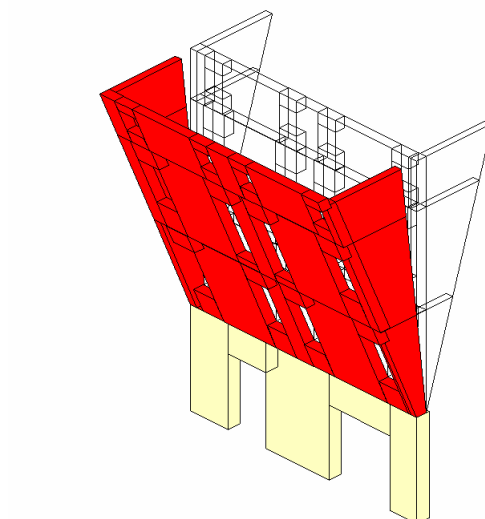


Fig. C.6.13.

Cinematismo di collasso fuori dal piano per parete muraria a 4 piani
 Cerniera in corrispondenza del piano 3
 PGA sostenibile dal meccanismo = 0.058 g
 PGA richiesta per SLV = 0.132 g

Cinematismo attivato: VERIFICA NON SODDISFATTA

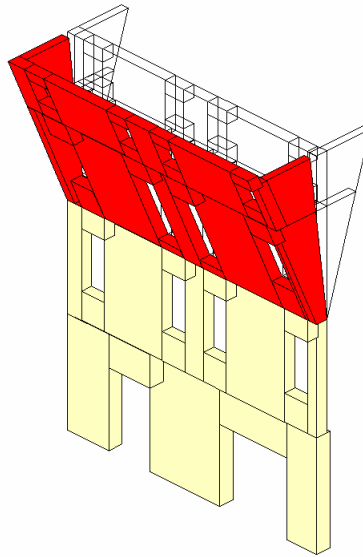


Fig. C.6.14.

Cinematismo di collasso fuori dal piano per parete muraria a 4 piani
 Cerniera in corrispondenza del piano 4
 PGA sostenibile dal meccanismo = 0.086 g
 PGA richiesta per SLV = 0.132 g

Cinematismo attivato: VERIFICA NON SODDISFATTA

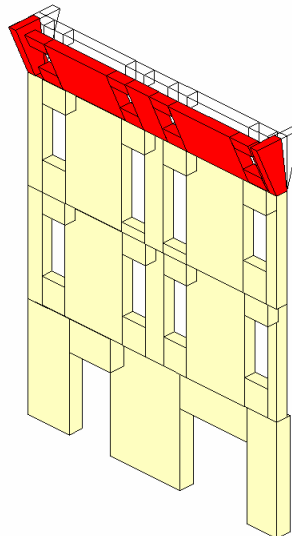


Fig. C.6.15.

Come risulta dalle post-elaborazioni, i cinematismi non risultano verificati. Occorre incrementare i valori dei moltiplicatori di collasso, e conseguentemente degli Indicatori di Rischio Sismico, prevedendo in uno Stato di Progetto la realizzazione di adeguati sistemi di tirantaggio, a partire dal piano in sommità.

C.7. Esempio 7: ANALISI DI CHIESA AD UNA NAVATA

Files installati da PC.E-ESP

in ESP: \Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi\Esempio_Cinematismi_7.esp (contiene 3 meccanismi)

In questo esempio vengono studiati i meccanismi di ribaltamento rigido fuori del piano della facciata, delle pareti laterali e dell'abside di una chiesa ad una navata, schematizzata in fig. C.7.1.

Per il sito di ubicazione della chiesa, si fa riferimento ai parametri preimpostati in PC.E.

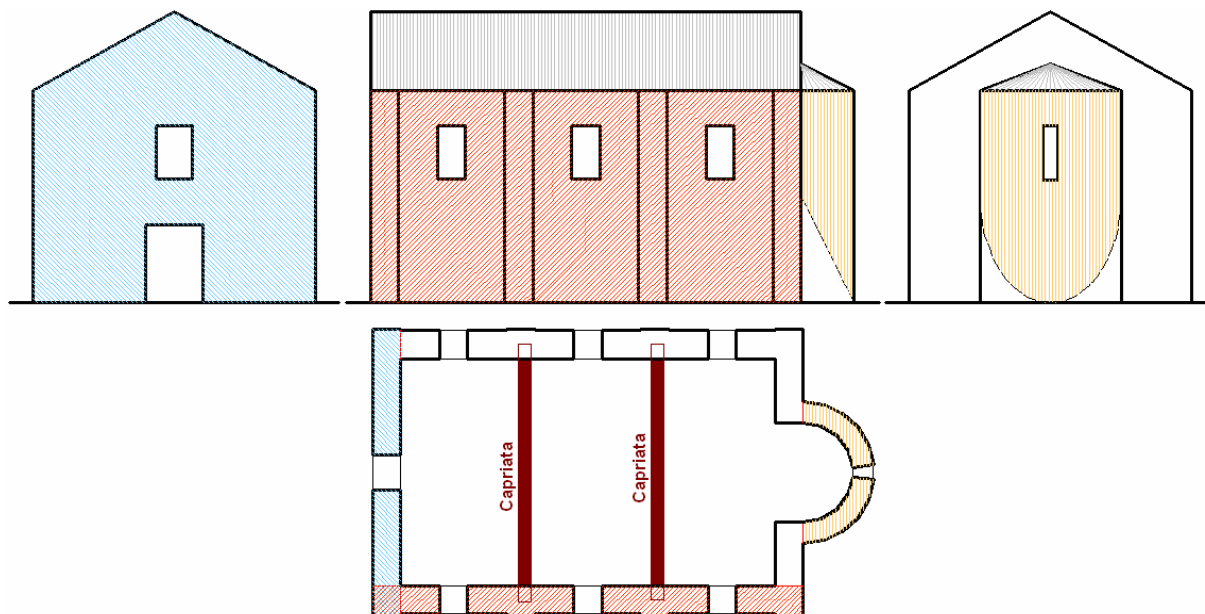


Fig. C.7.1.

In fig. C.7.2. sono evidenziate le tipologie dei meccanismi di collasso riguardanti la chiesa, così come proposte dalla norma vigente per gli edifici monumentali (DPCM 9.2.2011: Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni).

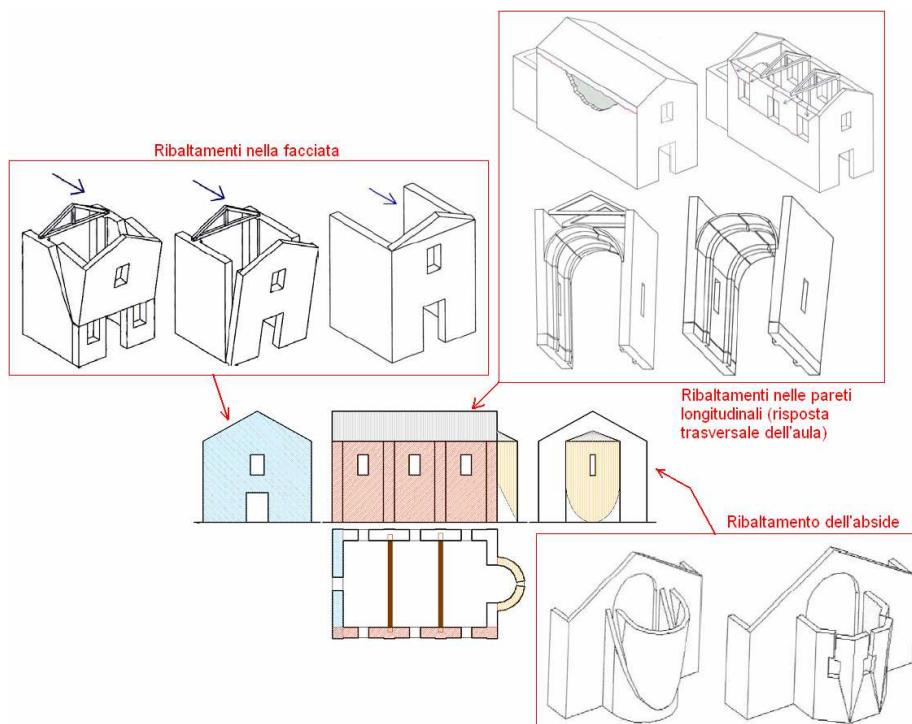


Fig. C.7.2.

Lo sviluppo della parete longitudinale (fig. C.7.5) è di 1220 cm; la dimensione trasversale (fig. C.7.3) è 800 cm. Le capriate definiscono tre aree di carico da parte della copertura; le tre campate misurano quindi 4.00 m circa. I carichi della copertura sono i seguenti:

- permanente: 1.25 kN/m^2
- variabile (neve): 0.65 kN/m^2

C.7.1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIAIA

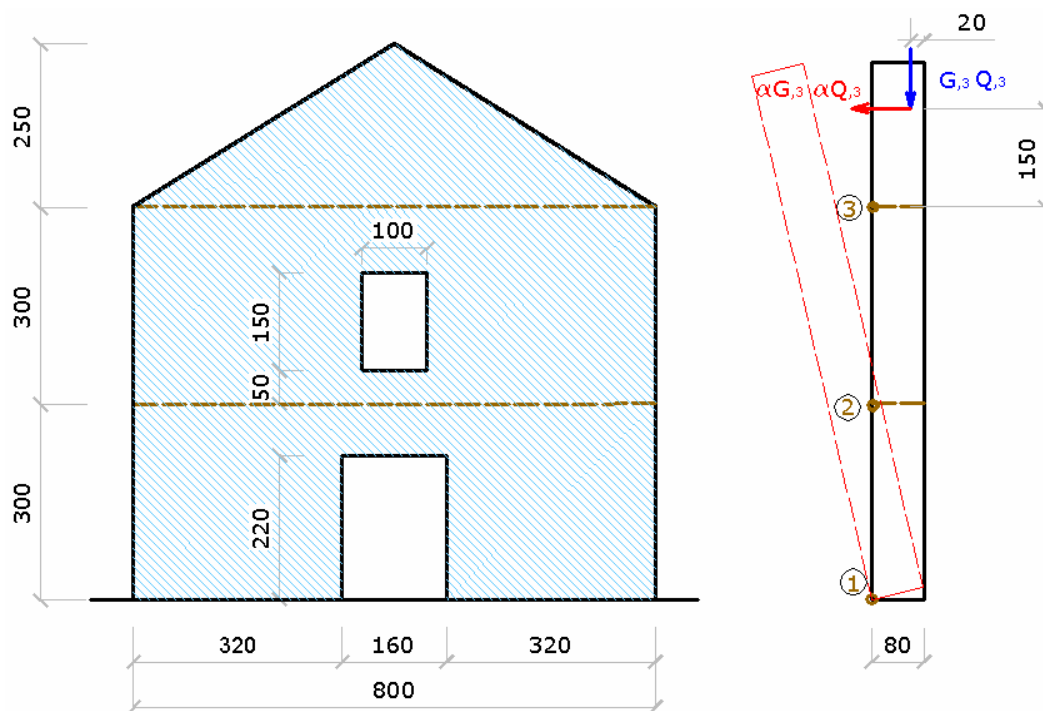


Fig. C.7.3.

Larghezza: $L = 800 \text{ cm}$

Livello 1:

Spessore $s_1 = 80 \text{ cm}$
 Altezza $h_1 = 300 \text{ cm}$
 Apertura mezzera: larghezza $fm_1 = 160 \text{ cm}$
 Apertura mezzera: altezza $hm_1 = 220 \text{ cm}$
 Peso specifico muratura $p.s._1 = 22 \text{ kN/m}^3$

Livello 2:

Spessore $s_2 = 80 \text{ cm}$
 Altezza $h_2 = 300 \text{ cm}$
 Apertura mezzera: larghezza $fm_2 = 100 \text{ cm}$
 Apertura mezzera: altezza $hm_2 = 150 \text{ cm}$
 Apertura mezzera: distanza $bm_2 = 50 \text{ cm}$
 Peso specifico muratura $p.s._2 = 22 \text{ kN/m}^3$

Livello 3:

Spessore $s_3 = 80 \text{ cm}$
 Altezza $h_3 = 250 \text{ cm}$
 Per il carico proveniente dalla copertura, si ipotizza una zona di influenza corrispondente alla prima campata (tra facciata e capriata):
 Carico Permanente $G_3 = (1.25 * 4.00) * 8.00 = 40 \text{ kN}$
 Carico Variabile Q_3 (neve) $= (0.65 * 4.00) * 8.00 = 21 \text{ kN}$
 Coefficiente di combinazione $\psi_2 = 0.6$: per la chiesa, in via cautelativa, si adotta per tutti i carichi, e quindi in questo caso anche per la neve in copertura, il coefficiente ψ_2 relativo agli ambienti suscettibili di affollamento (Cat. C2, vd. Tab.3.I.II in §3.1.4 e Tab. 2.5.I in §2.5.3)
 Eccentricità carico $e_3 = 20 \text{ cm}$

Quota carico $h_{S3} = 150$ cm

Peso specifico muratura $p.s.,3 = 22$ kN/m³

Calcolo moltiplicatore di collasso α_{01}

Si considera il cinematisma che prevede il ribaltamento dell'intera parete rispetto al lembo più esterno della base (ipotesi di resistenza infinita a compressione della muratura). Il calcolo, oltre che con ESP, viene condotto anche manualmente fino alla ricerca del moltiplicatore di collasso.

$$W_{,1} = (L * h_{,1} - f_{m,1} * h_{m,1}) * s_{,1} * p.s.,1 = (8.00 * 3.00 - 1.60 * 2.20) * 0.8 * 22 = 360.45 \text{ kN}$$

$$W_{,2} = (L * h_{,2} - f_{m,2} * h_{m,2}) * s_{,2} * p.s.,2 = (8.00 * 3.00 - 1.00 * 1.50) * 0.8 * 22 = 396.00 \text{ kN}$$

$$W_{,3} = 0.5 * (L * h_{,1} + L * h_{,2}) * s_{,3} * p.s.,3 = 0.5 * (8.00 * 2.50) * 0.8 * 22.00 = 176.00 \text{ kN}$$

$$W = W_{,1} + W_{,2} + W_{,3} = 360.45 + 396.00 + 176.00 = 932.45 \text{ kN}$$

$$\text{Carico da solaio: } P_{,3} = G_{,3} + \psi_{2,3} * Q_{,3} = 40 + 0.6 * 21 = 52.6 \text{ kN}$$

Il moltiplicatore di collasso α_{01} è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_{01} * \text{MomRib11} + \text{MomRib21} - \text{MomStab1} = 0$$

dove il momento Stabilizzante è dato da:

$$\begin{aligned} \text{MomStab1} &= W_{,1} * (s_{,1} / 2) + W_{,2} * (s_{,2} / 2) + W_{,3} * (s_{,3} / 2) + P_{,3} * (s_{,3} - e_{,3}) = \\ &= 360.45 * (0.80 / 2) + 396.00 * (0.80 / 2) + 176.00 * (0.80 / 2) + 52.6 * (0.80 - 0.20) = \\ &= 932.45 * 0.40 + 52.6 * 0.6 = 372.98 + 31.56 = 404.54 \text{ kN*m} \end{aligned}$$

La quota parte di momento ribaltante moltiplicativa di α_0 è data da:

$$\begin{aligned} \text{MomRib1} &= \text{MomRib(peso proprio)} + \text{MomRib(carichi)} = \\ &= W_{,1} * z_{,G1} + W_{,2} * (h_{,1} + z_{,G2}) + W_{,2} * (h_{,1} + h_{,2} + z_{,G3}) + P_{,3} * (h_{,1} + h_{,2} + h_{,S1}) = \\ &= [(8.00 * 3.00 * 1.5 - 1.60 * 2.20 * 1.10) * 0.8 * 22.00] + \\ &+ [(8.00 * 3.00 * 4.50 - 1.00 * 1.50 * 4.25) * 0.8 * 22.00] + \\ &+ 176.00 * (3.00 + 3.00 + 2.50/3) + 52.6 * (3.00 + 3.00 + 1.50) = \\ &= 3556.71 + 394.50 = 3951.21 \text{ kN*m} \end{aligned}$$

La quota parte di momento ribaltante indipendente dal moltiplicatore di collasso è:

$$\text{MomRib2} = 0$$

(è infatti nulla in assenza di spinte statiche).

Il moltiplicatore di collasso α_0 è pertanto uguale a:

$$\alpha_0 = (\text{MomStab} - \text{MomRib2}) / \text{MomRib1} = 404.54 / 3951.21 = 0.10238$$

Si esegue ora l'analisi con ESP. Lo schema grafico di riferimento è riportato in fig. C.7.3.

* Ribaltamento di facciata di chiesa ad una navata

Dati:

1°liv.: Spessore **s,1** (cm) = 80

1°liv.: Altezza **h,1** (cm) = 300

1°liv.: Larghezza maschio 1 **a1,1** (cm) = 320

1°liv.: Apertura mezzera: larghezza **fm,1** (cm) = 160

1°liv.: Apertura mezzera: altezza **hm,1** (cm) = 220

1°liv.: Peso specifico muratura **p.s.,1** (kN/m³) = 22

2°liv.: Spessore **s,2** (cm) = 80

2°liv.: Altezza **h,2** (cm) = 300

2°liv.: Larghezza maschio 1 **a1,2** (cm) = 350

2°liv.: Apertura mezzera: larghezza **fm,2** (cm) = 100

2°liv.: Apertura mezzera: altezza **hm,2** (cm) = 150

2°liv.: Apertura mezzera: distanza **bm,2** (cm) = 50

2°liv.: Peso specifico muratura **p.s.,2** (kN/m³) = 22

3°liv.: Spessore **s,3** (cm) = 80

3°liv.: Altezza **h,3** (cm) = 250

3°liv.: Larghezza maschio 1 **a1,3** (cm) = 400

3°liv.: Carico Permanente **G,3** (kN) = 40

3°liv.: Carico Variabile **Q,3** (kN) = 21

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q_3 : $\psi_{2,3} = 0.6$

3°liv.: Eccentricità carico $e_{,3}$ (cm) = 20

3°liv.: Quota carico da solaio $h_{S,3}$ (cm) = 150

3°liv.: Peso specifico muratura $p_{s,3}$ (kN/m³) = 22

Livello di Conoscenza $LC = 1$

Fattore di Confidenza $FC = 1.35$

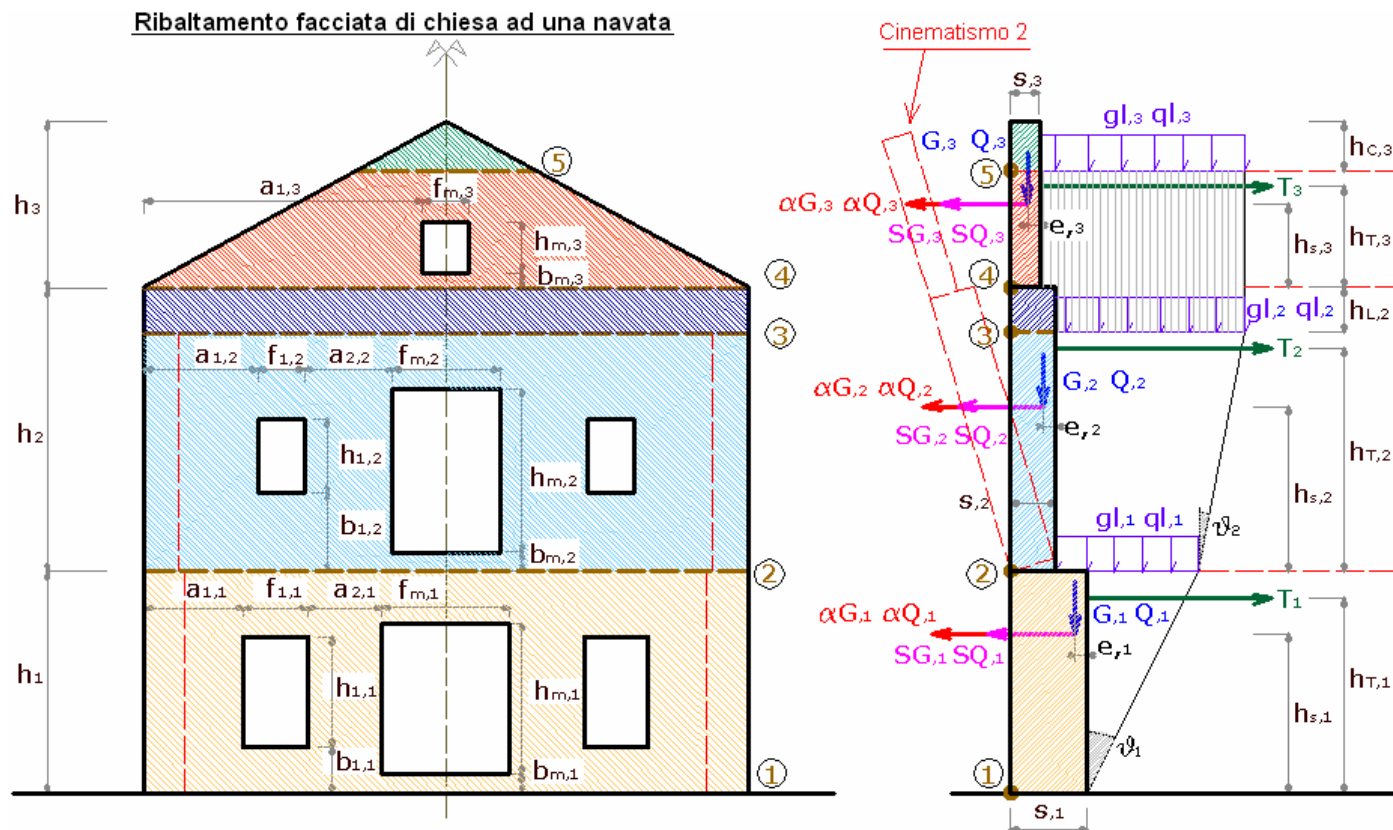


Fig. C.7.4.

Risultati:

Altezza della parete H_{tot} (m) = $\sum h_{,i} = 8.50$

Larghezza della parete L (m) = $\sum a_{,i} + f_{,j} = 8.00$

Peso totale $P_{tot,1}$ (kN) = $\sum (i=1,5) \text{ perm. } W_{,i} + G_{,i} + \text{var. } Q_{,i} = 985.05$

Momento Stabilizzante $M_{S,1}$ (kN*m) = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = 404.54

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : $M_{R1,1}$ (kN*m) = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 3951.22$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : $M_{R2,1}$ (kN*m) = da: Spinte, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 0.00$

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{0,1}$ (o: $\lambda_{,1}$) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1} = 0.102$ $\leftarrow (0.10238 \text{ per l'esempio svolto manualmente})$

Massa partecipante $M^*,1$ (kgm) = $(\sum (i=1,5) W_{,i} z_{,i} G_{,i} + P_{,i} h_{,i} S_{,i})^2 / (g (\sum (i=1,5) W_{,i} z_{,i} G_{,i}^2 + P_{,i} h_{,i} S_{,i}^2)) = 79036$

Frazione di massa partecipante $e^*,1 = g M^*,1 / P_{tot,1} = 0.787$

Coefficiente di partecipazione modale $\gamma = H_{tot} (\sum W_{,i} z_{,i} G_{,i} + P_{,i} h_{,i} S_{,i}) / (\sum W_{,i} z_{,i} G_{,i}^2 + P_{,i} h_{,i} S_{,i}^2) = 1.667$

Primo periodo di vibrazione T (sec) = $0.050 * H_{tot}^{3/4} = 0.249$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a_{0,1}$ (*g) = $\alpha_{0,1} g / (e^*,1 FC) = 0.096$

Vita Nominale VN (anni) = da dati sui Parametri Sismici = 50

Coefficiente d'uso CU = da dati sui Parametri Sismici = 1.0

Periodo di riferimento per l'azione sismica VR (anni) = $VN * CU = 50$

Probabilità PVR per SLV PVR,DLV (%) = da dati sui Parametri Sismici = 10.000

Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (*anni*) = $-V_R / (1 - \ln(1 - PVR)) = 475$

Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** ($*g$) = $f(TR)$ secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.126**

Acc.spettrale richiesta SLV **a*,1** ($*g$) = $a_g S / q$, con $q=2.0 = 0.063$

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,1** ($*g$) = PGA,CLV t.c. $a_{0*,1} = a^*,1 = 0.193$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,1** (*anni*) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **1726**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV,1 **PVR,CLV,1** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **2.855**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,1}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **1.532**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR,1}** = TR,CLV / TR,DLV = **3.634**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR,1})^{0.41}** = $(TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = 1.697$

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,1** = $-(TR,CLV / CU) * \ln(1 - PVR,DLV) = 182$

Peso totale **Ptot,2** (kN) = $\Sigma(i=2,5) \text{ perm. } W_i + G_i + \text{var. } Q_i = 624.60$

Momento Stabilizzante **M_{S,2}** (kN*m) = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = **260.36**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : **M_{R1,2}** (kN*m) = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 1511.97$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2,2}** (kN*m) = da: Spinte, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 0.00$

Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{0,2}$** (o: **$\lambda_{2,2}$**) = $(M_{S,2} - M_{R2,2}) / M_{R1,2} = 0.172$

Massa partecipante **M*,2** (kgm) = $(\Sigma(i=2,6) W_i z_i G_i + P_i h_i S_i)^2 / (g (\Sigma(i=2,6) W_i z_i G_i^2 + P_i h_i S_i^2)) = 51095$

Frazione di massa partecipante **e*,2** = $g M^*,2 / P_{tot,2} = 0.802$

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,2** ($*g$) = $\alpha_{0,2} g / (e^*,2 \text{ FC}) = 0.159$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,2Rig** ($*g$) = $\gamma_I \text{ PGA,DLV } S / q$, con $q=2 = 0.063$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,2Def** ($*g$) = $\gamma_I \text{ Se}(T) (h_1 / H_{tot}) \gamma / q$, con $q=2 = 0.094$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*,2** ($*g$) = $\max(a^*,2Rig; a^*,2Def) = 0.094$

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,2** ($*g$) = PGA,CLV t.c. $a_{0*,2} = a^*,2 = 0.213$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,2** (*anni*) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **2475**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV,2 **PVR,CLV,2** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **2.000**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,2}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **1.690**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR,2}** = TR,CLV / TR,DLV = **5.211**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR,2})^{0.41}** = $(TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = 1.968$

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,2** = $-(TR,CLV / CU) * \ln(1 - PVR,DLV) = 261$

Peso totale **Ptot,3** (kN) = $\Sigma(i=3,5) \text{ perm. } W_i + G_i + \text{var. } Q_i = 228.60$

Momento Stabilizzante **M_{S,3}** (kN*m) = da: P.pr., Car.stat.solai e Tiranti = **101.96**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : **M_{R1,3}** (kN*m) = da: P.pr. e Car.sism.solai, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 225.57$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2,3}** (kN*m) = da: Spinte, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 0.00$

Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{0,3}$** (o: **$\lambda_{3,3}$**) = $(M_{S,3} - M_{R2,3}) / M_{R1,3} = 0.452$

Massa partecipante **M*,3** (kgm) = $(\Sigma(i=3,6) W_i z_i G_i + P_i h_i S_i)^2 / (g (\Sigma(i=3,6) W_i z_i G_i^2 + P_i h_i S_i^2)) = 21567$

Frazione di massa partecipante **e*,3** = $g M^*,3 / P_{tot,3} = 0.925$

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,3** ($*g$) = $\alpha_{0,3} g / (e^*,3 \text{ FC}) = 0.362$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,3Rig** ($*g$) = $\gamma_I \text{ PGA,DLV } S / q$, con $q=2 = 0.063$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,3Def** ($*g$) = $\gamma_I \text{ Se}(T) ((h_1+h_2) / H_{tot}) \gamma / q$, con $q=2 = 0.187$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*,3** ($*g$) = $\max(a^*,3Rig; a^*,3Def) = 0.187$

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,3** ($*g$) = PGA,CLV t.c. $a_{0*,3} = a^*,3 = 0.213$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,3** (*anni*) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **2475**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV,3 **PVR,CLV,3** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **2.000**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,3}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **1.690**

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{TR,3} = TR_{CLV} / TR_{DLV} = 5.211$

Indicatore di Rischio Sismico $(IRS_{TR,3})^{0.41} = (TR_{CLV} / TR_{DLV})^{0.41} = 1.968$

Capacità in termini di Vita Nominale $VN_{C,3} = - (TR_{CLV} / CU) * \ln(1 - PVR_{DLV}) = 261$

Peso totale $P_{tot,4} (kN) = \sum_{i=4,5} perm. W_{i+G,i} + var. Q_{i,4} = 228.60$

Momento Stabilizzante $M_{S,4} (kN*m) = da: P_{pr.}, Car.stat.solai e Tiranti = 101.96$

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : $M_{R1,4} (kN*m) = da: P_{pr.} e Car.sism.solai, con: M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 225.57$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : $M_{R2,4} (kN*m) = da: Spinte, con: M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 0.00$

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{0,4}$ (o: $\lambda_{,4}$) = $(M_{S,4} - M_{R2,4}) / M_{R1,4} = 0.452$

Massa partecipante $M^*,4 (kgm) = (\sum_{i=4,6} W_{i,z,Gi} + P_{i,h,Si})^2 / (g (\sum_{i=4,6} W_{i,z,Gi}^2 + P_{i,h,Si}^2)) = 21567$

Frazione di massa partecipante $e^*,4 = g M^*,4 / P_{tot} = 0.925$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a_{0,4} (*g) = \alpha_{0,4} g / (e^*,4 FC) = 0.362$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido $a^*,4Rig (*g) = \gamma_I PGA_{DLV} S / q, con q=2 = 0.063$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile $a^*,4Def (*g) = \gamma_I Se(T) ((h1+h2+h3) / H_{tot}) \gamma / q, con q=2 = 0.187$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV $a^*,4 (*g) = \max(a^*,4Rig ; a^*,4Def) = 0.187$

Capacità in termini di PGA per SLV $PGA_{CLV,4} (*g) = PGA_{CLV} t.c. a_{0,4} = a^*,4 = 0.213$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV $TR_{CLV,4} (anni) = TR_{CLV} corrispondente a PGA_{CLV} = 2475$

Probabilità PVR corrispondente a $TR_{CLV,4}$ $PVR_{CLV,4} (%) = PVR_{CLV} corrispondente a TR_{CLV} = 2.000$

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{PGA,4} = PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 1.690$

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{TR,4} = TR_{CLV} / TR_{DLV} = 5.211$

Indicatore di Rischio Sismico $(IRS_{TR,4})^{0.41} = (TR_{CLV} / TR_{DLV})^{0.41} = 1.968$

Capacità in termini di Vita Nominale $VN_{C,4} = - (TR_{CLV} / CU) * \ln(1 - PVR_{DLV}) = 261$

Peso totale $P_{tot,5} (kN) = (i=5) perm. W_{i+G,i} + var. Q_{i,5} = 0.00$

Momento Stabilizzante $M_{S,5} (kN*m) = da: P_{pr.}, Car.stat.solai e Tiranti = 0.00$

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : $M_{R1,5} (kN*m) = da: P_{pr.} e Car.sism.solai, con: M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 0.00$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : $M_{R2,5} (kN*m) = da: Spinte, con: M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2} = 0.00$

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{0,5}$ (o: $\lambda_{,5}$) = $(M_{S,5} - M_{R2,5}) / M_{R1,5} = 0.000$

Massa partecipante $M^*,5 (kgm) = (\sum_{i=5,6} W_{i,z,Gi} + P_{i,h,Si})^2 / (g (\sum_{i=5,6} W_{i,z,Gi}^2 + P_{i,h,Si}^2)) = 0$

Frazione di massa partecipante $e^*,5 = g M^*,5 / P_{tot} = 0.000$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a_{0,5} (*g) = \alpha_{0,5} g / (e^*,5 FC) = 0.000$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido $a^*,5Rig (*g) = \gamma_I PGA_{DLV} S / q, con q=2 = 0.000$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile $a^*,5Def (*g) = \gamma_I Se(T) ((h1+h2+h3+h4) / H_{tot}) \gamma / q, con q=2 = 0.000$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV $a^*,5 (*g) = \max(a^*,5Rig ; a^*,5Def) = 0.000$

Capacità in termini di PGA per SLV $PGA_{CLV,5} (*g) = PGA_{CLV} t.c. a_{0,5} = a^*,5 = 0.000$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV $TR_{CLV,5} (anni) = TR_{CLV} corrispondente a PGA_{CLV} = 0$

Probabilità PVR corrispondente a $TR_{CLV,5}$ $PVR_{CLV,5} (%) = PVR_{CLV} corrispondente a TR_{CLV} = 0.000$

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{PGA,5} = PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 0.000$

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{TR,5} = TR_{CLV} / TR_{DLV} = 0.000$

Indicatore di Rischio Sismico $(IRS_{TR,5})^{0.41} = (TR_{CLV} / TR_{DLV})^{0.41} = 0.000$

Capacità in termini di Vita Nominale $VN_{C,5} = - (TR_{CLV} / CU) * \ln(1 - PVR_{DLV}) = 0$

C.7.2. RIBALTAMENTO DELLE PARETI LONGITUDINALI

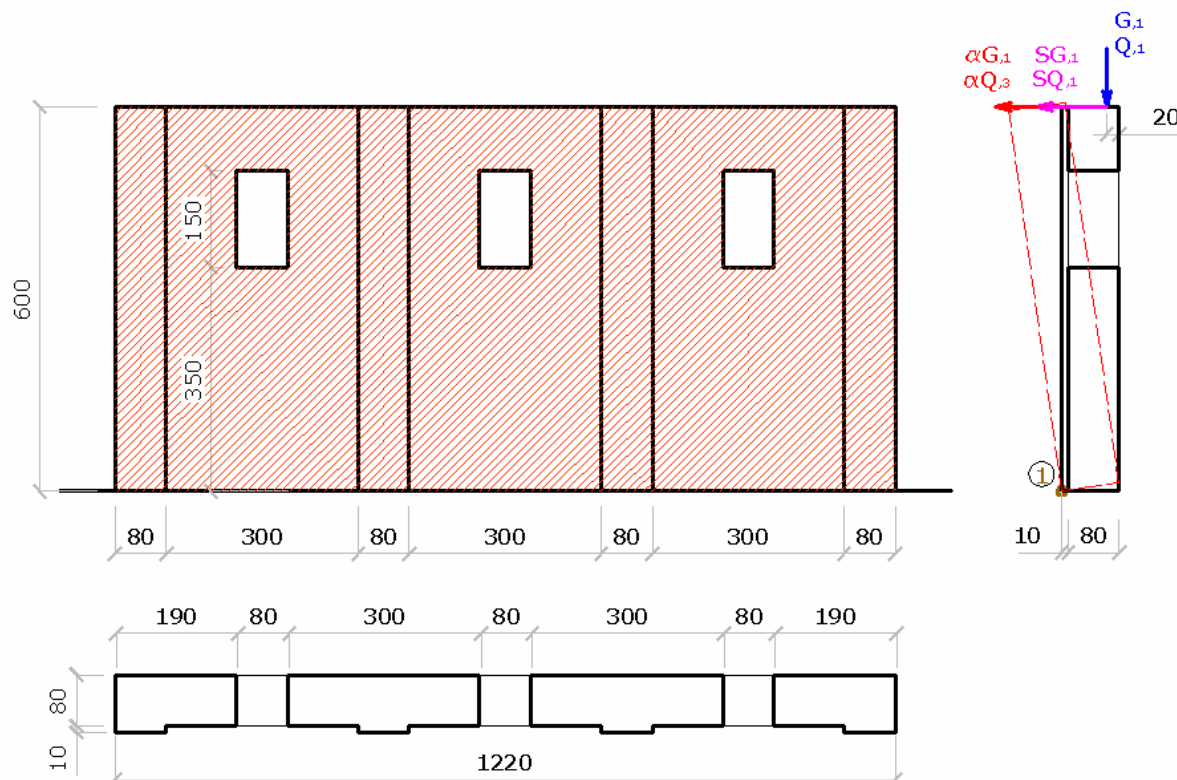


Fig. C.7.5.

Spessore $s_{,1} = 80$ cm

Larghezza maschio 1 $a_{1,1} = 190$ cm

Larghezza maschio 2 $a_{2,1} = 300$ cm

Larghezza maschio 3 $a_{3,1} = 300$ cm

Larghezza maschio 4 $a_{4,1} = 190$ cm

Aperture: larghezza $f = 80$ cm

Aperture: altezza $h = 150$ cm

Aperture: distanza $b = 350$ cm

Parasta: larghezza $f_{,p} = 80$ cm

Parasta: altezza $h_{,p} = 600$ cm

Parasta: spessore $s_{,p} = 10$ cm

Per la definizione del carico permanente, si fa riferimento alla campata centrale oltre a due metà circa delle campate laterali, per un totale di 8.00 m nella direzione longitudinale (il piano della parete); per quanto riguarda la dimensione trasversale, questa è pari a 4.00 m.

Carico Permanente $G_{,1} = (1.25 * 8.00 * 4.00) = 40$ kN

Carico Variabile $Q_{,1} = (0.65 * 8.00 * 4.00) = 21$ kN

Coefficiente di combinazione $\psi_{,2} = 0.6$ (cfr. p.C.7.1)

Eccentricità carico $e_{,1} = 20$ cm

Spinta Permanente $SG_{,1}$ (da capriate) = 8 kN

Spinta Variabile $SQ_{,1}$ (da capriate) = 4 kN

Quota carico $h_{,S1} = 600$ cm

Peso specifico muratura $p_{s,1} = 22$ kN/m³

Calcolo moltiplicatore di collasso α_{01}

Si considera il cinematismo che prevede il ribaltamento dell'intera parete rispetto al lembo più esterno della base (ipotesi di resistenza infinita a compressione della muratura). Il calcolo, oltre che con ESP, viene condotto anche manualmente fino alla ricerca del moltiplicatore di collasso.

Larghezza parete: $L = 190 * 2 + 80 * 3 + 300 * 2 = 1220$ cm

Peso parete: $W = (L * h_{,p}) * s_{,1} * p_{s,1} = 12.20 * 6.00 * 0.8 * 22 = 1288.32$ kN

Peso porzione mancante finestre $W_{,f} = 3 * (f * h) * s_{,1} * p_{s,1} = 3 * (0.80 * 1.50) * 0.8 * 22 = 63.36$ kN

Peso Paraste: $W_{,p} = 4 * (f_{,p} * h_{,p}) * s_{,p} * p_{s,1} = 4 * (0.80 * 6.00) * 0.01 * 22 = 42.24$ kN

$W = (W - W_{,f}) + W_{,p} = (1288.32 - 63.36) + 42.24 = 1267.20$ kN

Carico da solaio: $P_{,1} = G_{,1} + \psi_{2,1} * Q_{,1} = 40 + 0.6 * 21 = 52.6 \text{ kN}$

Il moltiplicatore di collasso α_{01} è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_{01} * \text{MomRib11} + \text{MomRib21} - \text{MomStab1} = 0$$

dove il momento stabilizzante è dato da:

$$\begin{aligned} \text{MomStab1} &= (W - W_f) * (s_p + s_{,1} / 2) + W_p * (s_p / 2) + P_{,1} * (s_p + s_{,1} - e_{,1}) = \\ &= (1288.32 - 63.36) * (0.10 + 0.80 / 2) + 42.24 * (0.10 / 2) + 52.6 * (0.10 + 0.80 - 0.20) = \\ &= 651.41 \text{ kN*m} \end{aligned}$$

La quota parte di momento ribaltante moltiplicativa di α_0 è data da:

$$\begin{aligned} \text{MomRib1} &= \text{MomRib}(\text{peso proprio}) + \text{MomRib}(\text{carichi}) = \\ &= W * h_p / 2 - W_f * (b + h / 2) + W_p * (h_p / 2) + P_{,1} * h_{S1} = \\ &= 1288.32 * (6.00 / 2) - 63.36 * (3.50 + 1.50 / 2) + 42.24 * (6.00 / 2) + 52.6 * 6.00 = \\ &= 3722.40 + 315.6 = 4038 \text{ kN*m} \end{aligned}$$

La quota parte del momento ribaltante indipendente dal moltiplicatore di collasso è:

$$\text{MomRib2} = (SG_{,1} + SQ_{,1}) * h_{S1} = (8.00 + 0.6 * 4.00) * 6.00 = 62.4 \text{ kN*m}$$

Il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_0 = (\text{MomStab} - \text{MomRib2}) / \text{MomRib1} = (651.41 - 62.4) / 4038 = 0.14587$$

Si esegue ora l'analisi con ESP.

RIBALTAMENTO DI PARETE LONGITUDINALE DI UNA CHIESA

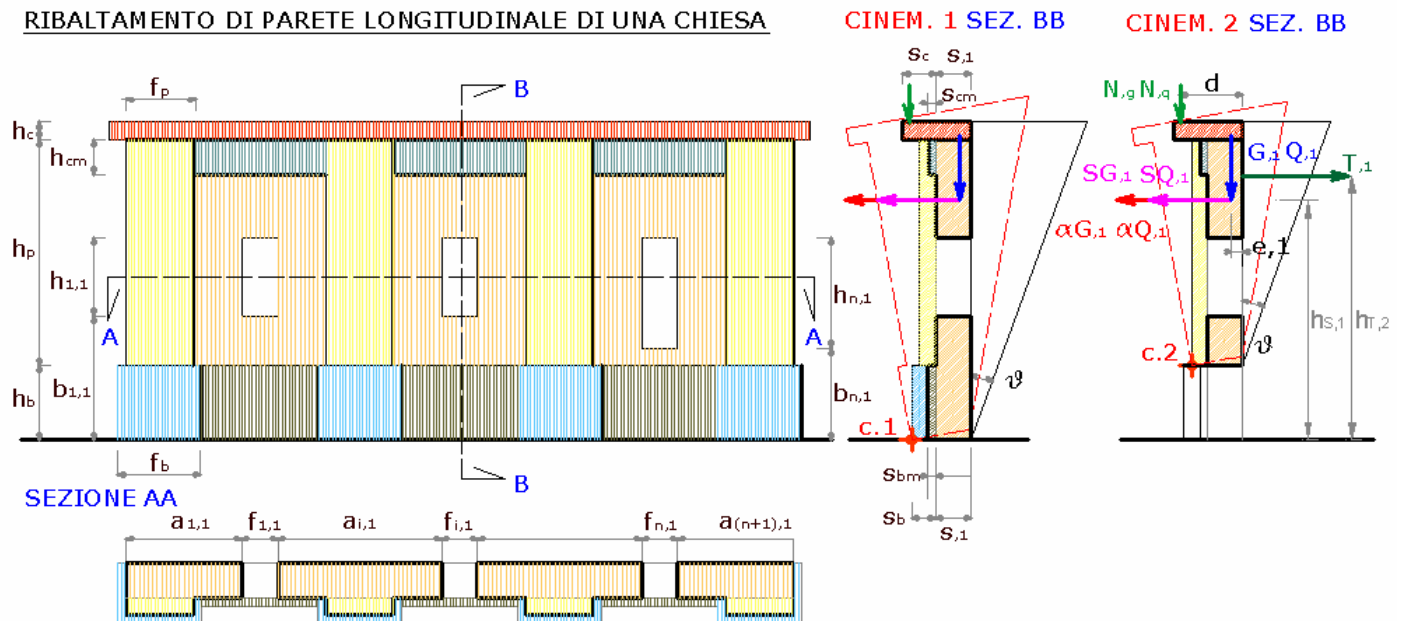


Fig. C.7.6.

* Ribaltamento di parete longitudinale di una chiesa: 1 piano, fino a 7 aperture

Dati:

Spessore **s_{,1}** (cm) = 80

Larghezza maschio 1 **a_{1,1}** (cm) = 190

Larghezza maschio 2 **a_{2,1}** (cm) = 300

Larghezza maschio 3 **a_{3,1}** (cm) = 300

Larghezza maschio 4 **a_{4,1}** (cm) = 190

Apertura 1: larghezza **f_{1,1}** (cm) = 80

Apertura 1: altezza **h_{1,1}** (cm) = 150

Apertura 1: distanza **b_{1,1}** (cm) = 350

Apertura 2: larghezza **f_{2,1}** (cm) = 80

Apertura 2: altezza **h_{2,1}** (cm) = 150

Apertura 2: distanza **b_{2,1}** (cm) = 350

Apertura 3: larghezza **f_{3,1}** (cm) = 80

Apertura 3: altezza **h_{3,1}** (cm) = 150

Apertura 3: distanza **b_{3,1}** (cm) = 350

Basamento: larghezza **fb** (cm) = 80
 Basamento: altezza **hb** (cm) = 100
 Basamento: spessore (porzione sotto paraste) **sb** (cm) = 10
 Parasta: larghezza **fp** (cm) = 80
 Parasta: altezza **hp** (cm) = 500
 Parasta: spessore **sp** (cm) = 10
 Carico Permanente **G,1** (kN) = 40
 Carico Variabile **Q,1** (kN) = 21
 Coeff. di combinazione ψ_2 per carichi variabili piano 1°: **$\psi_{2,1}$** = 0.6
 Eccentricità carico **e,1** (cm) = 20
 Spinta Permanente **SG,1** (kN) = 8
 Spinta Variabile **SQ,1** (kN) = 4
 Quota carico da solaio **hS,1** (cm) = 600
 Peso specifico muratura **p.s.** (kN/m³) = 22
 Livello di Conoscenza **LC** = 1
 Fattore di Confidenza **FC** = 1.35

Risultati:

Altezza della parete **Htot** (m) = hb + hp + hc = **6.00**
 Larghezza della parete **L** (m) = $\sum a_{i,j} + f_{i,j}$ = **12.20**
 Carico da solaio **P,1** (kN) = G,1 + $\psi_{2,1} * Q,1$ = **52.60**
 Volume interessato dal cinematisimo 1 **V,1** (mc) = Volume di muratura = **58**
 Peso proprio della parete del cinematisimo 1 **W,1** (kN) = p.s. * V,1 = **1267.20**
 Peso cuneo del cinematisimo 1 **WC,1** (kN) = p.s. * Volume del cuneo = **0.00**
 Peso totale **Ptot,1** (kN) = P,1 + W,1 + WC,1 + (Ng + $\psi_{2,1} * Nq$) = **1319.80**
 Momento Stabilizzante **Ms,1** (kN*m) = da: P.pr., G + $\psi_{2,1} * Q$, Tiranti = **651.41**
 Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : **MR1,1** (kN*m) = da: P.pr., G + $\psi_{2,1} * Q$, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2}$ = **4038.00**
 Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **MR2,1** (kN*m) = da: Spinte, con: $M_R = \alpha * M_{R1} + M_{R2}$ = **62.40**
 Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{0,1}$** (o: **$\lambda_{,1}$**) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1}$ = **0.146** ← (0.14587 per l'esempio svolto manualmente)
 Massa partecipante **M*,1** (kgm) = $(\sum W_{i,z,Gi} + P_{i,h,Si})^2 / (g (\sum_{i=1,5} W_{i,z,Gi}^2 + P_{i,h,Si}^2))$ = **129613**
 Frazione di massa partecipante **e*,1** = $g M^*,1 / P_{tot,1}$ = **0.963**
 Coefficiente di partecipazione modale **γ** = $H_{tot} (\sum W_{i,z,Gi} + P_{i,h,Si}) / (\sum W_{i,z,Gi}^2 + P_{i,h,Si}^2)$ = **-1.000**
 Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = $0.050 * H_{tot}^{(3/4)}$ = **0.192**
 Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (*g) = $\alpha_{0,1} g / (e^*,1 FC)$ = **0.112**
 Vita Nominale **VN** (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**
 Coefficiente d'uso **CU** = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**
 Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = VN * CU = **50**
 Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**
 Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = $-V_{R,1} / (1 - \ln(1 - PVR))$ = **475**
 Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (*g) = f(TR) secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.126**
 Acc.spettrale richiesta SLV **a*,1** (*g) = $a_g S / q$, con $q=2.0$ = **0.063**
 Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,1** (*g) = PGA,CLV t.c. $a_{0*,1} = a^*,1$ = **0.213**
 Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,1** (anni) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **2475**
 Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV **PVR,CLV,1** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **2.000**
Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA,1}** = PGA,CLV / PGA,DLV = **1.690**
 Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR,1}** = TR,CLV / TR,DLV = **5.211**
 Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR,1})^{0.41}** = $(TR,CLV / TR,DLV)^{0.41}$ = **1.968**

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,1** = $-(TR,CLV / CU) * \ln(1 - PVR,DLV) = 261$

Volume interessato dal cinematismo 2 **V,2** (mc) = Volume di muratura = **48**

Peso proprio della parete del cinematismo 2 **W,2** (kN) = p.s. * V,2 = **1045.44**

Peso cuneo del cinematismo 2 **WC,2** (kN) = p.s. * Volume del cuneo = **0.00**

Peso totale **Ptot,2** (kN) = P,1 + W,2 + WC,2 + (Ng + $\psi_{2,1} * N_q$) = **1098.04**

Momento Stabilizzante **Ms,2** (kN*m) = da: P.pr., G + $\psi_{2,1} * Q$, Tiranti = **543.70**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : **MR,2** (kN*m) = da: P.pr., G + $\psi_{2,1} * Q$, con: $M_{R,2} = \alpha * M_{R1,2} + M_{R2,2} = 3841.96$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **MR2,2** (kN*m) = da: Spinte, con: $M_{R,2} = \alpha * M_{R1,2} + M_{R2,2} = 52.00$

Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{0,2}$** (o: **$\lambda_{,2}$**) = $(M_{S,2} - M_{R2,2}) / M_{R1,2} = 0.128$

Massa partecipante **M*,2** (kgm) = $(\sum W_{i,z} G_i + P_{i,h} S_i)^2 / (g (\sum_{i=1,5} W_{i,z} G_i^2 + P_{i,h} S_i^2)) = 110942$

Frazione di massa partecipante **e*,2** = $g M^*,2 / P_{tot,2} = 0.991$

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,2** (*g) = $\alpha_{0,2} g / (e^*,2 FC) = 0.096$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,2,Rig** (*g) = $\gamma_I PGA,DLV S / q$, con $q=2 = 0.063$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,2,Def** (*g) = $\gamma_I Se(T) (h_b / H_{tot}) \gamma / q$, con $q=2 = -0.027$

Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,2** (*g) = $\max(a^*,2,Rig; a^*,2,Def) = 0.063$

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV,2** (*g) = PGA,CLV t.c. $a_{0,2} = a^*,2 = 0.192$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV,2** (anni) = TR,CLV corrispondente a $PGA,CLV = 1695$

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV **PVR,CLV,2** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **2.907**

Indicatore di Rischio Sismico **IRSPGA,2** = $PGA,CLV / PGA,DLV = 1.524$

Indicatore di Rischio Sismico **IRSTR,2** = $TR,CLV / TR,DLV = 3.568$

Indicatore di Rischio Sismico **(IRSTR,2)^{0.41}** = $(TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = 1.685$

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C,2** = $-(TR,CLV / CU) * \ln(1 - PVR,DLV) = 179$

C.7.3. RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE

Formulazione generale del meccanismo di collasso (fig. C.7.7).

- Angolo di apertura settore di distacco: θ tale che: $2\theta = 2(\pi/2 - s,d/R) \Rightarrow \theta = (\pi/2 - s,d/R)$
- Area di carico: $A = \pi R^2 * (\theta / \pi)$
- In figura, il carico da solaio rappresentato è quello superiore (al livello 2). E' possibile considerare anche un carico inferiore (al livello 1), la cui quota hS1 può essere inferiore all'altezza h,1: l'angolo in pianta che individua il distacco dell'abside in corrispondenza della quota hS1, denominato θ' , è tale che:
 $\theta' = \arccos [1 - (hS1 - Zc1) * (1 - \cos \theta) / (h1 - Zc1)]$
- La relazione viene descritta dalla fig. C.7.8 (dove per semplicità si considera $\theta=90^\circ$ e $Zc1=0$).
- Carico da solaio in corrispondenza del primo livello (non rappresentato in figura):
 $(G_{sup,1} + \psi_{2,1} * Q_{sup,1}) * A$
- Peso proprio del corpo del primo livello W1 (cfr. fig. C.7.8):
dalle relazioni che definiscono l'intersezione fra un piano inclinato ed un cilindro, si ottiene la seguente formula per l'area della superficie curva interessata:
 $S1 = (2 h1 R) * (\sin \theta - \theta \cos \theta) / (1 - \cos \theta)$
(ad h1 si dovrebbe sostituire $h1 - Zc1$ per il caso più generale; la formula si riduce a: $2 h1 R$ nel caso $\theta=90^\circ$)
dalla quale si sottrae la superficie dell'apertura (se presente), e moltiplicando infine per lo spessore si ottiene il volume, da cui il peso proprio
- Posizione del baricentro del corpo del primo livello (per semplicità, non si è considerata l'apertura e si è posto $ZC1=0$):
- in direzione X (sul piano orizzontale):
 $XG1 = 2 h1 R^2 * (\sin \theta * (1 + 0.5 \cos \theta) - \theta * (0.5 + \cos \theta)) / (S1 * (1 - \cos \theta))$
- in direzione Z (verticale):
 $ZG1 = 2 h1^2 R * (\sin \theta - \theta \cos \theta + \theta^2 \cos 2\theta / 4 - \sin 2\theta / 8) / (S1 * (1 - \cos \theta)^2)$
che nell'ipotesi di $\theta=90^\circ$ si riducono a:
 $XG1 = 2 h1 R^2 * (1 - 0.5 * \pi/2) / (2 h1 R) = R * (1 - \pi/4)$
 $ZG1 = 2 h1^2 R * (1 - \pi/8) / (2 h1 R) = h1 * (1 - \pi/8)$

Da queste relazioni seguono i momenti stabilizzanti e ribaltante. Per il corpo superiore, la formulazione è resa più semplice dalla conformazione cilindrica (omessa per semplicità).

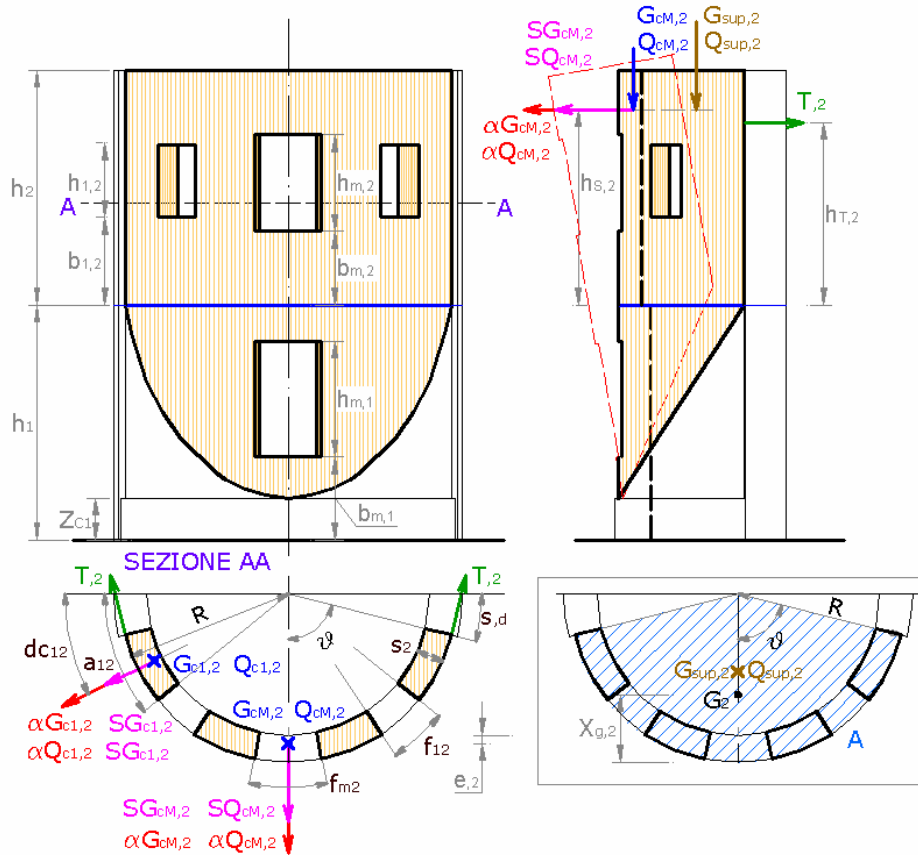


Fig. C.7.7.

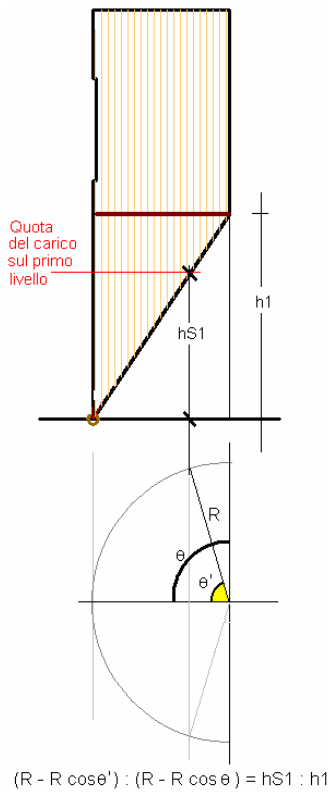


Fig. C.7.8.

Si considerano i dati dell'esempio, cui si riferisce la fig. C.7.9.

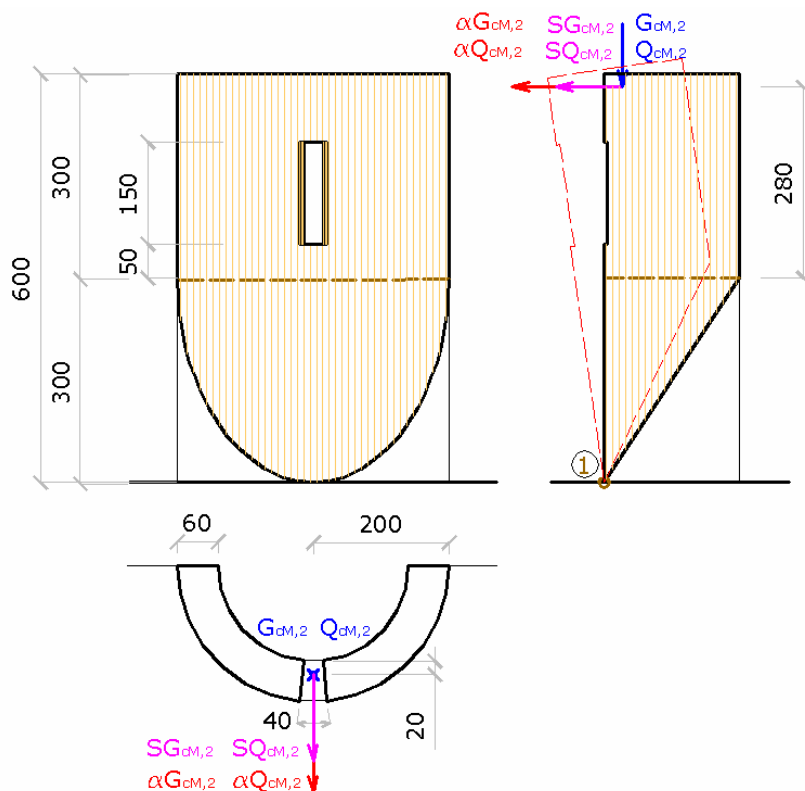


Fig. C.7.9.

Raggio: $R = 200$ cm

Livello 1:

Spessore $s_1 = 60$ cm

Altezza $h_1 = 300$ cm

Peso specifico muratura $p.s._1 = 22$ kN/m³

Livello 2:

Spessore $s_2 = 60$ cm

Altezza $h_2 = 300$ cm

Apertura mezzera: larghezza $f_{m,2} = 40$ cm

Apertura mezzera: altezza $h_{m,2} = 150$ cm

Apertura mezzera: distanza $b_{m,2} = 50$ cm

Carico Conc. Vert. Mezzera Permanente $G_{cM,2} = 15$ kN

Carico Conc. Vert. Mezzera Variabile $G_{cM,2} = 6$ kN

Spinta Conc. Vert. Mezzera Permanente $SG_{cM,2} = 4$ kN

Spinta Conc. Vert. Mezzera Variabile $SG_{cM,2} = 1$ kN

Coefficiente di combinazione per carico variabile $\psi_2 = 0.6$

Eccentricità carico $e_3 = 20$ cm

Quota carico $h_{S3} = 280$ cm

Peso specifico muratura $p.s._2 = 22$ kN/m³

Calcolo moltiplicatore di collasso α_{01}

Si considera il cinematiso che prevede il ribaltamento dell'intera parete rispetto al lembo più esterno della base (ipotesi di resistenza infinita a compressione della muratura). Il calcolo, oltre che con ESP, viene condotto anche manualmente fino alla ricerca del moltiplicatore di collasso.

$$S_1 = 2 h_1 R = 2 * 3.00 * 2.00 = 12 \text{ m}^2$$

$$XG_1 = R * (1 - \pi/4) = 2.00 * (1 - \pi/4)$$

$$ZG_1 = h_1 * (1 - \pi/8) = 3.00 * (1 - \pi/8)$$

$$W_1 = S_1 * s_1 * p.s._1 = 12 * 0.60 * 22 = 158.40 \text{ kN}$$

$$W_2 = (\pi R * h_2 - h_{m,2} * b_{m,2}) * s_2 * p.s._2 = (\pi * 2.00 * 3.00 - 1.50 * 0.40) * 0.6 * 22 = 240.89 \text{ kN}$$

$$W_{f,2} = h_{m,2} * b_{m,2} * 2.3 * p.s._2 = 1.50 * 0.40 * 0.60 * 22 = 7.92 \text{ kN}$$

$$\text{Carico: } P_2 = G_2 + \psi_2 * Q_2 = 15 + 0.6 * 6 = 18.6 \text{ kN}$$

Il moltiplicatore di collasso α_{01} è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_{01} * \text{MomRib11} + \text{MomRib21} - \text{MomStab1} = 0$$

dove il momento stabilizzante è dato da:

$$\begin{aligned} \text{MomStab1} &= W_{,1} * XG1 + (W_{,2} + W_{,f2}) * R * (1 - 2 / \pi) - \\ &- W_{,f2} * R * [1 - \sin(fm,2 / 2 R) / (fm,2 / 2 R)] + P_{,2} * (s_{,2} - e_{,2}) = \\ &= 158.40 * 2.00 * (1 - \pi / 4) + (240.89 + 7.92) * 2.00 * (1 - 2 / \pi) - \\ &- 7.92 * 2.00 * (1 - \sin(0.1) / 0.1) + 18.6 * (0.60 - 0.20) = 256.22 \text{ kN*m} \end{aligned}$$

La quota parte di momento ribaltante moltiplicativa di α_0 è data da:

$$\begin{aligned} \text{MomRib1} &= W_{,1} * h_{,1} * (1 - \pi / 8) + (W_{,2} + W_{,f2}) * (h_{,1} + h_{,2} / 2) - \\ &- W_{,f2} * (h_{,1} + bm_{,2} + hm_{,2} / 2) + P_{,2} * (h_{,1} + h_{,S2}) = \\ &= 158.40 * 3.00 * (1 - \pi / 8) + (240.89 + 7.92) * (3.00 + 3.00 / 2) - \\ &- 7.92 * (3.00 + 0.50 + 1.50 / 2) + 18.6 * (3.00 + 2.80) = 1482.46 \text{ kN*m} \end{aligned}$$

La quota parte del momento ribaltante indipendente dal moltiplicatore di collasso è:

$$\text{MomRib2} = (SGcM_{,2} + \psi_{2,2} * SQcM_{,2}) * (h_{,1} + h_{,S2}) = (4 + 0.6 * 1) * (3.00 + 2.80) = 26.68 \text{ kN*m}$$

Il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_0 = (\text{MomStab} - \text{MomRib2}) / \text{MomRib1} = (256.22 - 26.68) / 1482.46 = 0.1548$$

Si esegue ora l'analisi con ESP.

* Ribaltamento di abside cilindrica

Dati:

Raggio esterno **R** (cm) = 200

1°liv.: Spessore **s,1** (cm) = 60

1°liv.: Altezza **h,1** (cm) = 300

1°liv.: Coeff. di combinazione ψ_2 per Qsup,1: **$\psi_{2,1}$** = 0.6

1°liv.: Peso specifico muratura **p.s.,1** (kN/m³) = 22

2°liv.: Spessore **s,2** (cm) = 60

2°liv.: Altezza **h,2** (cm) = 300

2°liv.: Apertura mezzeria: larghezza curvilinea **fm,2** (cm) = 40

2°liv.: Apertura mezzeria: altezza **hm,2** (cm) = 150

2°liv.: Apertura 1: distanza **bm,2** (cm) = 50

2°liv.: Eccentricità carico **e,2** (cm) = 20

Carico conc. vert. mezzeria Permanente **GcM,2** (kN) = 15

Carico conc. vert. mezzeria Variabile **QcM,2** (kN) = 6

Spinta conc. mezzeria Permanente **SGcM,2** (kN) = 4

Spinta conc. mezzeria Variabile **SQcM,2** (kN) = 1

Coeff. di combinazione ψ_2 per carichi conc: **$\psi_{2,c}$** = 0.6

Quota carico da solaio **h,S2** (cm) = 280

Peso specifico muratura **p.s.,2** (kN/m³) = 22

Livello di Conoscenza **LC** = 1

Fattore di Confidenza **FC** = 1.35

Risultati:

Altezza struttura da fondazioni **H,f** (cm) = (h,1 + h,2) = 600

Angolo di apertura settore di distacco abside **2ϑ** (°) = $2(\pi / 2 - s,d / R)$ = 180

Area di carico **A** (mq) = $\pi R^2 (2\vartheta / 2\pi)$ = 6

Carico da solaio **P,1** (kN) = (Gsup,1 + $\psi_{2,1} * Qsup,1$) A = 0.00

Peso proprio **W,1** (kN) = W,1 = 158.40

Carico da solaio **P,2** (kN) = (Gsup,2 + $\psi_{2,2} * Qsup,2$) A + (GcM,2 + $\psi_{2,2} * QcM,2$) + 2 (Gc1,2 + $\psi_{2,2} * Qc1,2$) + 2 (Gc2,2 + $\psi_{2,2} * Qc2,2$) = 18.60

Peso proprio **W,2** (kN) = W,2 = 240.89

Peso totale **P,tot** (kN) = $W_{1+P,1} + W_{2+P,2} = 417.89$

Momento Stabilizzante **M_S** (kN*m) = $(G_{sup,2} + \psi_{2,2} * Q_{sup,2}) A_{Xsup,2} + (G_{cM,2} + \psi_{2,2} * Q_{cM,2}) X_{cM,2} + \sum \{2 (G_{ci,2} + \psi_{2,2} * Q_{ci,2}) [R - (s_{2,2} + e_{2,2}) \sin(\beta_{2,i})] = 256.23$

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : **M_{R1}** (kN*m) = $M_{R1} = \{ (G_{sup,2} + \psi_{2,2} * Q_{sup,2}) A + (G_{cM,2} + \psi_{2,2} * Q_{cM,2}) + \sum [2 (G_{ci,2} + \psi_{2,2} * Q_{ci,2}) \sin(\beta_{2,i})] = 1482.47$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2}** (kN*m) = $M_{R2} = \{ (S_{G2} + \psi_{2,2} * S_{Q2}) + (SG_{cM,2} + \psi_{2,2} * SQ_{cM,2}) + (\sum [SG_{ci,2} + \psi_{2,2} * SQ_{ci,2} \sin(\beta_{2,i})]) = 26.68$

Moltiplicatore di collasso **α_0** (o: **λ**) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 0.155 \leftarrow (0.1548 \text{ per l'esempio svolto manualmente})$

Massa partecipante **M*** (kgm) = $M_{R1}^2 / (g (W_{1z} G_1^2 + W_{2(h,1+z)} G_2^2 + P_{1h} S_1^2 + P_{2(h,1+h)} S_2^2)) = 37058$

Frazione di massa partecipante **e*** = $g M^* / P_{tot} = 0.870$

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a₀*** (* g) = $\alpha_0 g / (e^* FC) = 0.132$

Vita Nominale **VN** (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**

Coefficiente d'uso **CU** = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = $VN * CU = 50$

Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = $-V_{R,2} / (1 - \ln(1 - PVR)) = 475$

Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (* g) = $f(TR)$ secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.126**

Acc.spettrale richiesta SLV **a*** (* g) = $a_g S / q$, con $q=2.0 = 0.063$

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV** (* g) = PGA_{CLV} t.c. $a_{0*} = a^* = 0.213$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV** (anni) = TR_{CLV} corrispondente a $PGA_{CLV} = 2475$

Probabilità PVR corrispondente a TR_{CLV} **PVR,CLV** (%) = PVR_{CLV} corrispondente a $TR_{CLV} = 2.000$

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{PGA}** = $PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 1.690$

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR}** = $TR_{CLV} / TR_{DLV} = 5.211$

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR})^{0.41}** = $(TR_{CLV} / TR_{DLV})^{0.41} = 1.968$

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C** = $-(TR_{CLV} / CU) * \ln(1 - PVR_{DLV}) = 261$

C.8. Esempio 8: RIBALTAMENTO DI CANTONALE

Riferimento bibliografico: [6], par.12.4.3, pag. 161.

Files installati da PC.E-ESP

in ESP: \Aedes2012\Pce\Esp\Es-Apprendi\Esempio_Cinematismi_8.esp (contiene due meccanismi)

Sintesi dell'esempio

Si analizza il meccanismo di un cantonale, avente le caratteristiche descritte in fig. C.8.1, dapprima senza tiranti (meccanismo n°1) e poi con due tiranti (meccanismo n°2) caratterizzati ciascuno da uno sforzo di 12 kN. L'esempio è finalizzato al calcolo del moltiplicatore di collasso; non essendo svolta una verifica di sicurezza conforme al D.M. 14.1.2008, i parametri sismici della costruzione si assumono pari ai valori preimpostati da PC.E.

Descrizione

Si apra direttamente il file installato da ESP. Per ripercorrere la generazione del file, si potrà seguire una metodologia del tutto analoga a quella descritta ai paragrafi precedenti (definendo un nuovo esempio con gli stessi dati); in questo paragrafo, si consultano dati e risultati, confrontandoli con il testo originario, ai fini della validazione dell'analisi. I dati del problema strutturale sono illustrati in fig. C.8.1.

12.4.3 Meccanismo di ribaltamento del cantonale

Si prende in esame l'angolata libera di un edificio d'estremità di una schiera (Fig. 12.10), caratterizzato da un tetto in legno a padiglione ed assenza di efficace collegamento tra la struttura muraria e la copertura. Si ipotizza la presenza di un puntone spingente che poggia sul cantonale, correttamente eseguito, e l'assenza di dispositivi di trattenimento in testa al macroelemento. La copertura lignea è costituita da un'orditura di travi principali disposte orizzontalmente e gravanti sui puntoni del tetto.

Date le condizioni di vincolo e di carico ipotizzate, lo schema di calcolo al quale si può fare riferimento è quello indicato in Fig. 12.7. Si esamina quindi il ribaltamento della parte alta del cantonale dell'edificio rispetto ad una cerniera posta alla base di esso nella direzione di azione del puntone.

La geometria del macroelemento ribaltante, condizionata dalla presenza di aperture nelle pareti ortogonali convergenti nell'angolata, ed i carichi agenti sul corpo, sono indicati nella tabella seguente.

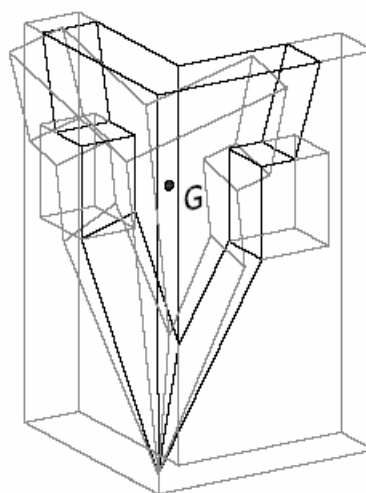


Fig. 12.10 – Cantonale

DATI INIZIALI

Geometria	Spessore della parete s [m]	0,65
	Altezza del cuneo di distacco h [m]	4,08
	Volume del cuneo di distacco [m ³]	4,55
	Area d'influenza della copertura sul puntone [m ²]	3,20
	Braccio orizzontale del baricentro del cuneo x_G [m]	0,86
	Quota del baricentro del cuneo di distacco y_G [m]	2,80
	Braccio del carico trasmesso dal puntone d_P [m]	0,78
	Braccio carico verticale in testa alla parete 1 d_1 [m]	1,13
	Braccio carico verticale in testa alla parete 2 d_2 [m]	1,24
Azioni	Peso specifico della muratura γ [kN/m ³]	22,0
	Peso proprio del cuneo di distacco W [kN]	100,1
	Carico verticale trasmesso dal puntone P [kN]	3,4
	Spinta statica trasmessa dal puntone P_H [kN]	1,1
	Carico verticale in testa alla parete 1 P_{V1} [kN]	1,0
	Carico verticale in testa alla parete 2 P_{V2} [kN]	1,2

Fig. C.8.1. Esempio di riferimento (da [6])

Il caso esaminato prevede un angolo retto fra i due paramenti (90°) e il piano di ribaltamento è posto a 45° rispetto ai due paramenti murari, con uno schema di perfetta simmetria. Si tratta di un sotto-caso delle possibili impostazioni del meccanismo di ESP, che consente per il cantonale angoli fra pareti anche diversi da 90°, piani di ribaltamento generici definiti dall'angolo β , e diversa geometria dei due lati del cuneo, secondo lo schema di fig. C.8.2.

Una differenza da tenere presente fra lo schema di riferimento (che non viene studiato con una procedura automatica, ma si fonda su un'analisi particolare con CAD della geometria di questo singolo caso), ed il cantonale generale studiato in ESP consiste nell'assenza della definizione di aperture dentro il cuneo nello schema di ESP. Ciò permette una semplificazione dell'analisi mantenendo comunque una buona attendibilità nei confronti dei casi reali, in quanto è comunque possibile variare l'angolazione del cuneo in modo da considerare effetti di eventuali aperture o indebolimenti nel tessuto murario della parete: è sufficiente infatti variare l'altezza del cuneo di distacco e le lunghezze delle sommità dei due cunei (le due lunghezze di cuneo in sommità a_1 e a_2 possono essere diverse tra loro in caso ad es. di apertura solo da un lato che condiziona l'angolo di distacco solo sulla parete che la contiene). Inoltre, nell'esempio di riferimento le geometrie spaziali ed i pesi sono elaborati via CAD e non vi sono informazioni precise. Utilizzando i dati disponibili, l'esempio è tuttavia stato ricostruito in modo da consentire un confronto che verte necessariamente non sulla coincidenza numerica ma sull'ordine di grandezza.

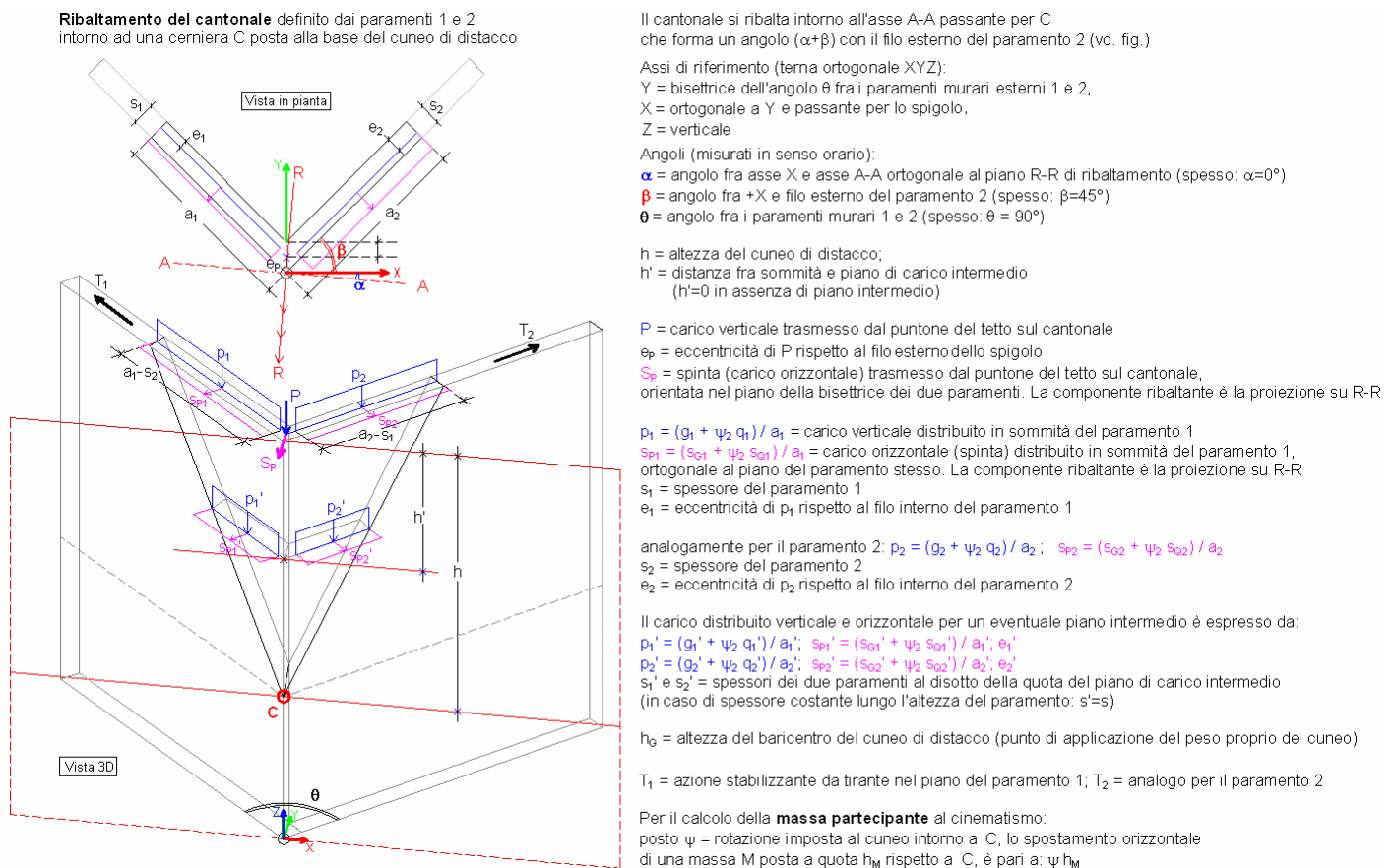


Fig. C.8.2. Ribaltamento del cantonale

Meccanismo n°1: cantonale senza tiranti

Dati:

Angolo fra asse X e asse A-A (+ = orario) $\alpha (^\circ) = 0$

Angolo fra +X e paramento 2 $\beta (^\circ) = 45$

Angolo fra i due paramenti murari $\theta (^\circ) = 90$

Altezza del cuneo di distacco $h (cm) = 410$

Carico da puntone del tetto $P (kN) = 3.4$

Eccentricità P da spigolo esterno $e, P (cm) = 0$

Spinta da puntone del tetto $SP (kN/m) = 1.10$

Paramento 1: lunghezza esterna sommità cuneo $a, 1 (cm) = 200$

Spessore $s, 1 (cm) = 65$

Carico in sommità $p=(G+\psi,2*Q)/a,1$: **P,1** (kN/m) = **0.5**

Eccentricità P,1 da lato interno **e,1** (cm) = **22**

Paramento 2: lunghezza esterna sommità cuneo **a,2** (cm) = **200**

Spessore **s,2** (cm) = **65**

Carico in sommità $p=(G+\psi,2*Q)/a,2$: **P,2** (kN/m) = **0.60**

Eccentricità P,2 da lato interno **e,2** (cm) = **22**

Peso specifico muratura **p.s.** (kN/m³) = **22**

Altezza totale dell'edificio **H,tot** (cm) = **500**

Numero di piani dell'edificio **N** = **2**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = **0.167**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1.2**

Livello di Conoscenza **LC** = **1**

Fattore di Confidenza **FC** = **1.35**

Risultati:

Quota di base del cinematismo (=quota cerniera C) **Z,B** (cm) = $H_{tot} - H$ = **92**

Peso proprio del paramento 1 **W,1** (kN) = $W,1$ = **42.46**

Quota baricentro di W,1 rispetto a C **zW,1** (cm) = $Z,W1$ = **272**

Distanza dall'asse di rotazione **dW,1** (cm) = dist. di W,1 dall'asse A-A = **96**

Peso proprio del paramento 2 **W,2** (kN) = $W,2$ = **42.46**

Quota baricentro di W,2 rispetto a C **zW,2** (cm) = $Z,W2$ = **272**

Distanza dall'asse di rotazione **dW,2** (cm) = dist. di W,2 dall'asse A-A = **96**

Distanza di P dall'asse di rotazione **dP** (cm) = dist. di P dall'asse A-A = **0**

Componente ribaltante della spinta SP **SP,rib** (cm) = $SP * \cos \alpha$ = **1**

Risultante vert. sommità paramento 1 **P,1R** (kN) = $P,1 * (a,1 - s,2)$ = **0.68**

Componente ribaltante risultante spinta **SP,1R,rib** (cm) = $SP,1 * (a,1-s,2) * \cos ((180^\circ-\theta-\beta)-\alpha)$ = **0**

Distanza dall'asse di rotazione **dP,1R** (cm) = dist. di P,1R dall'asse A-A = **147**

Risultante vert. sommità paramento 2 **P,2R** (kN) = $P,2 * (a,2 - s,1)$ = **0.81**

Componente ribaltante risultante spinta **SP,2R,rib** (cm) = $SP,2 * (a,2-s,1) * \cos (\beta+\alpha)$ = **0**

Distanza dall'asse di rotazione **dP,2R** (cm) = dist. di P,2R dall'asse A-A = **147**

Risultante vert. solaio intermedio 1 **P,1'R** (kN) = $P,1' * (a,1' - s,2)$, con: $a,1' = a,1 * (h'/h)$ = **0.00**

Componente ribaltante risultante spinta **SP,1'R,rib** (cm) = $SP,1' * (a,1'-s,2) * \cos ((180^\circ-\theta-\beta)-\alpha)$ = **0**

Distanza all'asse di rotazione **dP,1'R** (cm) = dist. di P,1'R dall'asse A-A = **0**

Risultante vert. solaio intermedio 2 **P,2'R** (kN) = $P,2' * (a,2' - s,1)$, con: $a,2' = a,2 * (h'/h)$ = **0.00**

Componente ribaltante risultante spinta **SP,2'R,rib** (cm) = $SP,2' * (a,2-s,1) * \cos (\beta+\alpha)$ = **0**

Distanza all'asse di rotazione **dP,2'R** (cm) = dist. di P,2'R dall'asse A-A = **0**

Peso totale **Ptot** (kN) = $W,1 + W,2 + P + P,1*(a,1-s,2) + P,1'*(a,1'-s,2) + P,2*(a,2-s,1) + P,2'*(a,2'-s,1)$ = **89.80**

Momento Stabilizzante **M_S** (kN*m) = $f(T,1;W,1;W,2;P;P,1;P,2;P,1';P,2')$ = **83.44** \leftarrow (86.2+2.7+2.7=91.6 per l'esempio di riferimento)

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **M_{R1}** (kN*m) = $f(W,1;W,2;P;P,1;P,2;P,1';P,2')$ = **250.90** \leftarrow (280.3+13.9+9.3=303.5 per l'esempio di riferimento)

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2}** (kN*m) = $f(SP,1;SP,2;SP,1';SP,2')$ = **4.49** \leftarrow (4.7 per l'esempio di riferimento)

Moltiplicatore di collasso **α,0** (o: **λ**) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1}$ = **0.315** \leftarrow (0.286 per l'esempio di riferimento)

Massa partecipante **M*** (kgm) = $f(W,1;W,2;P;P,1;P,2;P,1';P,2')$ = **9047**

Frazione di massa partecipante **e*** = $g M^* / P_{tot}$ = **0.988**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = In input, oppure: $3N/(2N+1)$ = **1.200**

Primo periodo di vibrazione T (sec) = In input, oppure: $0.050 * H^{(3/4)} = \mathbf{0.167}$

Acc.spettrale attivazione meccanismo a_{0*} (* g) = $\alpha_{,0} g / (e * FC) = \mathbf{0.236}$

Vita Nominale VN (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**

Coefficiente d'uso CU = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica VR (anni) = $VN * CU = \mathbf{50}$

Probabilità PVR per SLV PVR,DLV (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV TR,DLV (anni) = $-V,R / (1 - \ln(1 - PVR)) = \mathbf{475}$

Domanda in termini di PGA per SLV PGA,DLV (* g) = $f(TR)$ secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.126**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido a^*,Rig (* g) = $a,g S / q$, con $q=2.0 = \mathbf{0.063}$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile a^*,Def (* g) = $Se(T) (Z_b / H) \gamma / q$, con $q=2.0 = \mathbf{0.035}$

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV a^* (* g) = $\max(a^*,Rig ; a^*,Def) = \mathbf{0.063}$

Capacità in termini di PGA per SLV PGA,CLV (* g) = PGA,CLV t.c. $a_{0*} = a^* = \mathbf{0.213}$

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV TR,CLV (anni) = TR,CLV corrispondente a $PGA,CLV = \mathbf{2475}$

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV PVR,CLV (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **2.000**

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{PGA} = PGA,CLV / PGA,DLV = \mathbf{1.690}$

Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{TR} = TR,CLV / TR,DLV = \mathbf{5.211}$

Indicatore di Rischio Sismico $(IRS_{TR})^{0.41} = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = \mathbf{1.968}$

Capacità in termini di Vita Nominale $VN,C = - (TR,CLV / CU) * \ln(1 - PVR,DLV) = \mathbf{261}$

Meccanismo n°2: lo stesso cantonale, ma consolidato con tiranti

Gli unici dati diversi rispetto al meccanismo n°1 sono i seguenti:

Azione stabilizzante del tirante $T,1$ (kN) = **12**

Azione stabilizzante del tirante $T,2$ (kN) = **12**

Risultati:

Quota di base del cinematismo (=quota cerniera C) Z,B (cm) = $H_{tot} - H = \mathbf{92}$

Peso proprio del paramento 1 $W,1$ (kN) = $W,1 = \mathbf{42.46}$

Quota baricentro di $W,1$ rispetto a C $zW,1$ (cm) = $Z,W1 = \mathbf{272}$

Distanza dall'asse di rotazione $dW,1$ (cm) = dist. di $W,1$ dall'asse A-A = **96**

Peso proprio del paramento 2 $W,2$ (kN) = $W,2 = \mathbf{42.46}$

Quota baricentro di $W,2$ rispetto a C $zW,2$ (cm) = $Z,W2 = \mathbf{272}$

Distanza dall'asse di rotazione $dW,2$ (cm) = dist. di $W,2$ dall'asse A-A = **96**

Distanza di P dall'asse di rotazione dP (cm) = dist. di P dall'asse A-A = **0**

Componente ribaltante della spinta SP SP,rib (cm) = $SP * \cos \alpha = \mathbf{1}$

Risultante vert. sommità paramento 1 $P,1R$ (kN) = $P,1 * (a,1 - s,2) = \mathbf{0.68}$

Componente ribaltante risultante spinta $SP,1R,rib$ (cm) = $SP,1 * (a,1 - s,2) * \cos ((180^\circ - \theta - \beta) - \alpha) = \mathbf{0}$

Distanza dall'asse di rotazione $dP,1R$ (cm) = dist. di $P,1R$ dall'asse A-A = **147**

Risultante vert. sommità paramento 2 $P,2R$ (kN) = $P,2 * (a,2 - s,1) = \mathbf{0.81}$

Componente ribaltante risultante spinta $SP,2R,rib$ (cm) = $SP,2 * (a,2 - s,1) * \cos (\beta + \alpha) = \mathbf{0}$

Distanza dall'asse di rotazione $dP,2R$ (cm) = dist. di $P,2R$ dall'asse A-A = **147**

Risultante vert. solaio intermedio 1 $P,1'R$ (kN) = $P,1' * (a,1' - s,2)$, con: $a,1' = a,1 * (h'/h) = \mathbf{0.00}$

Componente ribaltante risultante spinta $SP,1'R,rib$ (cm) = $SP,1' * (a,1' - s,2) * \cos ((180^\circ - \theta - \beta) - \alpha) = \mathbf{0}$

Distanza all'asse di rotazione $dP,1'R$ (cm) = dist. di $P,1'R$ dall'asse A-A = **0**

Risultante vert. solaio intermedio 2 $P,2'R$ (kN) = $P,2' * (a,2' - s,1)$, con: $a,2' = a,2 * (h'/h) = \mathbf{0.00}$

Componente ribaltante risultante spinta $SP,2'R,rib$ (cm) = $SP,2' * (a,2 - s,1) * \cos (\beta + \alpha) = \mathbf{0}$

Distanza all'asse di rotazione $dP,2'R$ (cm) = dist. di $P,2'R$ dall'asse A-A = **0**

Peso totale **P_{tot}** (kN) = W₁ + W₂ + P + P₁*(a₁-s₂) + P₁'*(a₁'-s₂) + P₂*(a₂-s₁) + P₂'*(a₂'-s₁) = **89.80**

Momento Stabilizzante **M_S** (kN*m) = f(T₁;W₁;W₂;P;P₁;P₂;P₁';P₂') = **152.68** (152.68-83.44=**69.24**, per isolare il momento stabilizzante dovuto ai soli tiranti) **← (69.2 per l'esempio di riferimento)**

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α: **M_{R1}** (kN*m) = f(W₁;W₂;P;P₁;P₂;P₁';P₂') = **250.90**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **M_{R2}** (kN*m) = f(SP₁;SP₂;SP₁';SP₂') = **4.49**

Moltiplicatore di collasso **α₀** (o: **λ**) = (M_S - M_{R2}) / M_{R1} = **0.591** **← (0.515 per l'esempio di riferimento)**

Massa partecipante **M*** (kgm) = f(W₁;W₂;P;P₁;P₂;P₁';P₂') = **9047**

Frazione di massa partecipante **e*** = g M* / P_{tot} = **0.988**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = In input, oppure: 3N/(2N+1) = **1.200**

Primo periodo di vibrazione **T** (sec) = In input, oppure: 0.050 * H^(3/4) = **0.167**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a₀*** (* g) = α₀ g / (e* FC) = **0.443**

Vita Nominale **VN** (anni) = da dati sui Parametri Sismici = **50**

Coefficiente d'uso **CU** = da dati sui Parametri Sismici = **1.0**

Periodo di riferimento per l'azione sismica **VR** (anni) = VN * CU = **50**

Probabilità PVR per SLV **PVR,DLV** (%) = da dati sui Parametri Sismici = **10.000**

Domanda in termini di TR per SLV **TR,DLV** (anni) = - V_R / (1 - ln(1 - PVR)) = **475**

Domanda in termini di PGA per SLV **PGA,DLV** (* g) = f(TR) secondo dati su Pericolosità Sismica = **0.126**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,Rig** (* g) = a_g S / q, con q=2.0 = **0.063**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,Def** (* g) = Se(T) (Z_b / H) γ / q, con q=2.0 = **0.035**

Massima Acc.spettrale richiesta per SLV **a*** (* g) = max (a*,Rig ; a*,Def) = **0.063**

Capacità in termini di PGA per SLV **PGA,CLV** (* g) = PGA,CLV t.c. a₀* = a* = **0.213**

Capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV **TR,CLV** (anni) = TR,CLV corrispondente a PGA,CLV = **2475**

Probabilità PVR corrispondente a TR,CLV **PVR,CLV** (%) = PVR,CLV corrispondente a TR,CLV = **2.000**

Indicatore di Rischio Sismico IRS_{PGA} = PGA,CLV / PGA,DLV = **1.690**

Indicatore di Rischio Sismico **IRS_{TR}** = TR,CLV / TR,DLV = **5.211**

Indicatore di Rischio Sismico **(IRS_{TR})^{0.41}** = (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41} = **1.968**

Capacità in termini di Vita Nominale **VN,C** = - (TR,CLV / CU) * ln(1 - PVR,DLV) = **261**

I risultati reperibili in [6] sono i seguenti:

RIBALTAMENTO DEL CANTONALE (CASO)		A	B
Momento stabilizzante	Peso proprio del cuneo di distacco [kN-m]	86,2	86,2
	Carico trasferito dal puntone [kN-m]	2,7	2,7
	Carico verticale sulle pareti [kN-m]	2,7	2,7
	Azione dei tiranti [kN-m]	-	69,2
Momento ribaltante	Inerzia del cuneo [kN-m]	280,3	280,3
	Inerzia del puntone [kN-m]	13,9	13,9
	Inerzia carichi sulle pareti [kN-m]	9,3	9,3
	Spinta statica del puntone [kN-m]	4,7	4,7
	Spinta statica sulle pareti [kN-m]	-	-
MOLTIPLICATORE DI COLLASSO α ₀		0,286	0,515

Fig. C.8.3. Risultati dell'analisi (tratti da [6])

Nell'esempio di riferimento risulta un po' più elevato il momento ribaltante, presumibilmente a causa della diversa geometria dei cunei dovuta all'intercettazione delle aperture, tuttavia l'esito del confronto può considerarsi positivo, in quanto vengono chiaramente rispettati gli ordini di grandezza.