

AEDES Software

PC.M

PROGETTAZIONE DI **C**OSTRUZIONI IN **M**URATURA

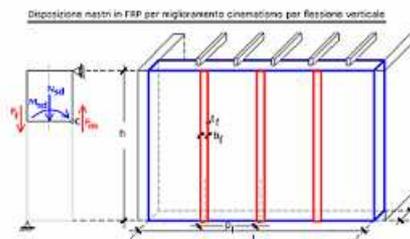
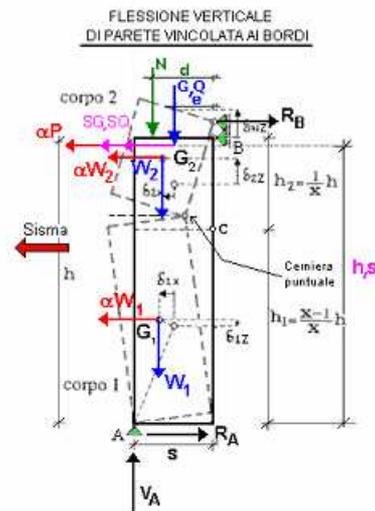
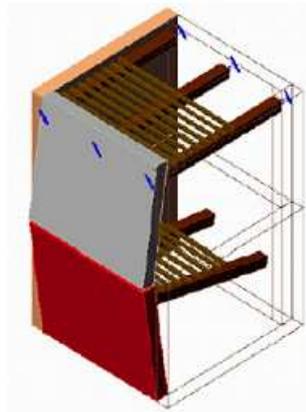
 Modulo **ESP**:

ELEMENTI **S**TRUTTURALI **P**REDEFINITI PER

ANALISI CINEMATICA

MANUALE COMPLETO

TEORIA - MANUALE D'USO - ESEMPI APPLICATIVI



Versione 2009
Ottobre 2008

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

Data di rilascio di PC.M e PC.E, Vers. 2009
© **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**

Analisi Cinematica: Autori

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

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 riorganizzazione dei contenuti;

Ing. Francesco Pugi, Autore dei programmi PC.M e PC.E, per gli approfondimenti teorici ed il coordinamento generale.

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 PC.M-ESP (c) AEDES Software.

PC.M-ESP (c) 1997-2009AEDES Software per Ingegneria Civile

PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI IN MURATURA

Modulo PC.M-ESP: **E**LEMENTI **S**TRUTTURALI **P**REDEFINITI PER

ANALISI CINEMATICA

A. LA TEORIA 5

- A.1. INTRODUZIONE 5
- A.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO 6
- A.3. CENNI SULLA METODOLOGIA DI ANALISI 7

B. MANUALE D'USO 10

B.1. INTRODUZIONE 10

- B.1.1. AMBIENTE DI LAVORO 10
- B.1.2. DEFINIZIONI 13
- B.1.3. ESECUZIONE DEI CALCOLI 13

B.2. COMANDI COMUNI 14

- B.2.1. BARRA DEGLI STRUMENTI 14

B.3. FINESTRA DATI 15

- B.3.1. ELEMENTI PREDEFINITI: MODALITA' OPERATIVE 16
 - B.3.1.1. DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI PREDEFINITI 17
- B.3.2. DATI IN INPUT 18
- B.3.3. BARRA DEGLI STRUMENTI 19
- B.3.4. Menu FILE 21
- B.3.5. Menu ESEGUI 22
- B.3.6. Menu OPZIONI 24

B.4. FINESTRA RISULTATI 25

- B.4.1. BARRA DEGLI STRUMENTI 25

B.5. FINESTRA GRAFICA 27

- B.5.1. BARRA DEGLI STRUMENTI 28

B.6. FINESTRA GRAFICI 29

- B.6.1. BARRA DEGLI STRUMENTI SUPERIORE 29
- B.6.2. BARRA DEGLI STRUMENTI LATERALE 34
- B.6.3. Menu OPZIONI 35

B.7. SUGGERIMENTI E COMPLEMENTI 36

- B.7.1. COME FARE PER... 36
 - B.7.1.1. SALVARE UNA SCHERMATA 36
 - B.7.1.2. CREARE UNA RELAZIONE DI CALCOLO 36
 - B.7.1.3. GENERARE I GRAFICI DATO-RISULTATI 37
- B.7.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA' 38
 - B.7.2.1. FINESTRE SOVRAPPOSTE 38
 - B.7.2.2. IMPOSSIBILE INSTALLARE PC.M-ESP IN ALTRE DIRECTORY 38
 - B.7.2.3. IMPOSSIBILE APRIRE PIÙ ISTANZE DI PC.M-ESP 38
- B.7.3. ELENCO DEI CINEMATISMI DISPONIBILI 38

C. ESEMPI APPLICATIVI 40

C.1. INTRODUZIONE 40

C.2. RIBALTAMENTO DI UNA PARETE MONOPIANO 41

- C.2.1. CALCOLO DEL MOLTIPLICATORE DI COLLASSO 41
- C.2.2. VERIFICA DI SICUREZZA SECONDO NTC08 43
- C.2.3. VERIFICA DI SICUREZZA SECONDO DM'96 46
- C.2.4. VERIFICA DI SICUREZZA SECONDO OPCM 3274 47

C.3. CINEMATISMI DI COLLASSO

FUORI DAL PIANO IN EDIFICI IN MURATURA A N PIANI 50

- C.3.1 ESEMPIO APPLICATIVO: PARETE SU 4 PIANI 50

C.4. ESEMPIO DI APPRENDIMENTO 61

C.5. TEST DI VALIDAZIONE 69

- C.5.1. RIBALTAMENTO DI PARETE BIPIANO 70
- C.5.2. FLESSIONE VERTICALE DI PARETE VINCOLATA AI BORDI 74
- C.5.3. FLESSIONE ORIZZONTALE DI FASCIA MURARIA EFFICACEMENTE CONFINATA 79
- C.5.4. ESEMPIO DI ANALISI DI CHIESA AD UNA NAVATA CON NTC2008 84
 - C.5.4.1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA 84
 - C.5.4.2. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA 90
 - C.5.4.3. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA 94
- C.5.5. ESEMPIO COMPLETO DI STUDIO DI PARETE BIPIANO: ANALISI STATO ATTUALE E STATO DI PROGETTO CON DM'96 E OPCM3274; COMPILAZIONE SCHEDE DI ACCOMPAGNAMENTO AL PROGETTO ESECUTIVO 98
 - C.5.5.1. VERIFICHE SECONDO DM'96 100
 - C.5.5.2. COMPILAZIONE SCHEDE DA ALLEGARE AL PROGETTO ESECUTIVO (DM'96) 103
 - C.5.5.3. VERIFICHE SECONDO OPCM 3274 105
 - C.5.5.4. COMPILAZIONE SCHEDE DA ALLEGARE AL PROGETTO ESECUTIVO (OPCM 3274) 110
- C.5.6. OSSERVAZIONI COMPLEMENTARI 112
- C.5.7. OSSERVAZIONI SU DM'96 PUNTO B.8.2: VERIFICHE DEL SECONDO GRUPPO 115
 - C.5.7.1. ESEMPIO DI ANALISI SECONDO DM'96 PUNTO B.8.2: RIBALTAMENTO DI PARETE BIPIANO 116
- C.5.8. TEST DI VALIDAZIONE: PARETE SU 2 PIANI 125

A. LA TEORIA

A.1. INTRODUZIONE

L'analisi cinematica delle strutture è divenuta fondamentale per lo studio degli edifici in muratura esistenti, particolarmente in zona sismica, dove il calcolo dei moltiplicatori di collasso è un'operazione indispensabile per comprendere l'idoneità delle pareti e l'eventuale necessità di consolidamento.

L'analisi sismica, e quindi anche l'analisi cinematica, può svolgersi allo stato attuale secondo la NTC 2008, il D.M.16.1.1996 [DM'96], l'OPCM 3274 e s.m.i. e il NTU2005. Ci si riferirà in particolare alla prima di esse, anche se il programma consente di utilizzare anche le altre e non mancheranno gli esempi e i rimandi, in attesa che il quadro normativo si chiarisca definitivamente.

Alcune normative locali, quali quelle emanate dalla Regione Molise nel 2006, per l'attuazione degli interventi sugli edifici a seguito dei recenti eventi sismici, prevedono la compilazione di schede apposite dove sono riportati i valori dei coefficienti sismici sostenibili, ricavati fra l'altro dall'analisi dei cinematismi.

Nella parte del Manuale dedicata agli Esempi Applicativi vengono riportati alcuni casi specifici e dettagli sulla compilazione delle schede di intervento.

Anche l'analisi di vulnerabilità degli edifici) richiede la valutazione dei valori di accelerazione al suolo che possono essere sostenuti dalle strutture. L'analisi cinematica di PC.M offre una modalità semplice e completa per la definizione di tali valori.

E' utile ricordare nuovamente che l'analisi cinematica, verificando 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 - 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.

Occorre in ogni caso la consapevolezza che le analisi globali da sole non fotografano completamente l'assetto antisismico dell'edificio esistente, il quale può avere sedi di debolezza nelle connessioni fra gli elementi strutturali e quindi deve essere necessariamente analizzato con la teoria dei meccanismi locali.

L'analisi cinematica e lo studio dei meccanismi di collasso dei corpi rigidi vengono trattati diffusamente da vari Autori; la bibliografia di riferimento è riportata nel paragrafo A.2. La conoscenza approfondita è considerata un presupposto per l'utilizzo del software Aedes, e viene rinviata alla consultazione delle opere di riferimento; in particolare segnaliamo il documento [6], messo a punto per l'applicazione della normativa della Regione Molise, pubblicamente diffuso su Internet e liberamente accessibile nella sua forma originaria anche da PC.M-ESP attraverso il menu dedicato ai testi normativi. Altri testi direttamente reperibili dai menu di PC.M-ESP sono: [7] [8].

Nell'ambito della presente documentazione, ed in particolare negli Esempi Applicativi, vengono inoltre riportate numerose osservazioni a carattere teorico ed applicativo, a completamento del quadro di riferimento.

A.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Testi di consultazione generale per l'Analisi Cinematica applicata alle strutture in muratura:

- [1] A. Giuffrè: **Lecture 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.

[6] A cura di Beolchini G.C., Milano L., Antonacci E.: **Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di consolidamento e dei relativi costi negli edifici in muratura - Definizione di modelli per l'analisi strutturale degli edifici in muratura**, Volume II - Parte 1. Convenzione di Ricerca per la Regione Marche; Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per la Tecnologia delle Costruzioni - Sede de L'Aquila, Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del terreno (DISTAT) - Università degli Studi de L'Aquila, L'Aquila, 2005.

[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.

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:

[8] 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**, Roma, 2004.

[9] 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.

[10] 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. CENNI SULLA METODOLOGIA DI ANALISI

Gli edifici in muratura, ed in particolare gli edifici esistenti, possono essere studiati, dal punto di vista dinamico, partendo dall'osservazione della natura monolaterale dei vincoli. Il collasso avviene generalmente per formazione di cinematismi: porzioni murarie di dimensioni rilevanti si distaccano dalle strutture adiacenti e ruotano come corpi rigidi. Nel fenomeno, le azioni di tipo stabilizzante (pesi propri e carichi verticali dai solai) si oppongono alle instabilizzanti (azione orizzontale di tipo sismico, proporzionale ai pesi). Quando le azioni instabilizzanti superano un certo valore (o, in altre parole, quando il sisma raggiunge una certa entità), 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 ribaltamento.

Un'importante ipotesi riguarda la monoliticità delle pareti: una muratura che può disgregarsi non corrisponde alla natura 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.

Gli studi sperimentali hanno dimostrato che l'elasticità influenza ben poco il comportamento della struttura muraria: per valutarne la resistenza sismica appare fuorviante l'approccio elastico, mentre è indispensabile l'analisi dei possibili cinematismi. Inoltre, la resistenza a compressione della muratura non condiziona la risposta sismica, che dipende piuttosto dalla cura con la parete è stata realizzata. L'analisi sismica condotta con metodi cinematici fornisce risultati idonei, come detto, solo se la tessitura è regolare e con buoni collegamenti trasversali, requisiti che tuttavia sono da ritenersi indispensabili a priori per scongiurare collassi prematuri della struttura.

Prescindendo quindi dalla deformabilità di tipo elastico ed adottando 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.

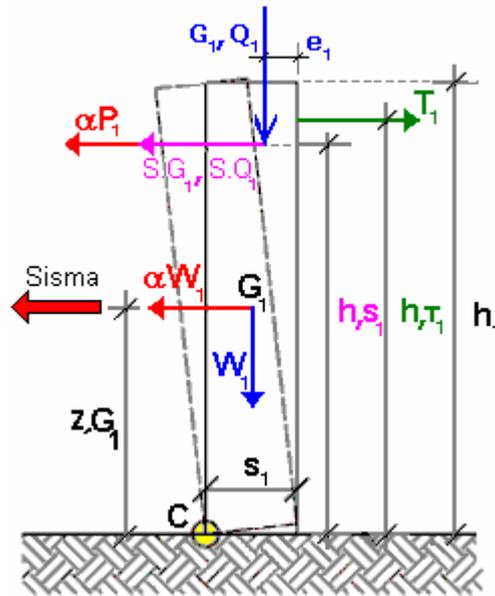
Il metodo di **analisi cinematica lineare** procede secondo i seguenti punti:

1. si prevede e si descrive in termini parametrici il cinematismo;
2. si calcola il moltiplicatore di collasso;
3. si esegue la verifica di sicurezza secondo la normativa da seguire: NTC 2008, DM'96, OPCM 3274 o NTU2005.

Nel primo caso si ricava il coefficiente sismico per le verifiche e lo si confronta con il coefficiente sismico sopportabile, negli altri secondo si controlla che l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo sia superiore all'accelerazione dello spettro elastico richiesta.

L'**analisi cinematica non lineare** 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. Nel presente contesto (edizione 2009 di PC.M), l'analisi cinematica viene trattata con il metodo lineare.

Nel seguito, si descrive l'impostazione tipica di un problema di analisi cinematica lineare: il ribaltamento di una parete monopiano.

RIBALTAMENTO DI PARETE MONOPIANO

Fig. 1.

I dati del problema sono i seguenti:

a = larghezza parete

z, B = quota della base della parete rispetto alle fondazioni

$s, 1$ = spessore parete

$h, 1$ = altezza della parete dalla base

$G, 1$ = carico permanente da solaio

$Q, 1$ = carico variabile da solaio

$e, 1$ = eccentricità carichi verticali rispetto allo spigolo interno della parete

$SG, 1$ = spinta permanente da solaio

$SQ, 1$ = spinta variabile da solaio

$h, S1$ = quota verticale carico da solaio dalla base

$T, 1$ = azione stabilizzante dell'eventuale tirante

$h, T1$ = altezza tirante dalla base della parete

$p.s., 1$ = peso specifico della muratura

$W, 1$ = peso proprio della parete

$Z, G1$ = quota baricentro dalla base

Seguendo le NTC2008 per quanto riguarda la combinazione dei carichi si ha:

$$\text{- Carico statico da solaio: } P, 1 = G, 1 + \psi, 21 * Q, 1;$$

$$\text{- } S, \text{tot} = SG, 1 + \psi, 21 * SQ, 1;$$

dove $\psi, 21$ = coeff. di combinazione $\psi, 2$ per $Q, 1$;

Il ribaltamento della parete avviene facendo cerniera alla base, sullo spigolo esterno (cerniera C in fig. 1); il cinematismo viene quindi descritto dalla rotazione ϕ attorno alla cerniera C.

Ricordando la formulazione generale del Principio dei Lavori Virtuali applicato ai cinematismi (tratta dalla Bozza di istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 punto C8D):

$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi} \quad (11.C.1)$$

che nel caso in esame, si particolarezza nel seguente modo:

$$\alpha_0(P_{,1} \cdot \varphi h_{,S1} + W_{,1} \cdot \varphi Z_{,G1}) + (S_{,tot} \cdot \varphi h_{,S1}) - (P_{,1} \cdot \varphi e_{,1} + W_{,1} \cdot \varphi s_{,1/2} + T_{,1} \cdot \varphi h_{,T1}) = 0$$

La relazione precedente semplificando in φ può essere riscritta nella seguente forma (valida nella generalità dei casi):

$$\alpha_0 * MomRib1 + MomRib2 - MomStab = 0$$

dove:

- MomRib1 = $(P_{,1} \cdot h_{,S1} + W_{,1} \cdot Z_{,G1})$ è il coefficiente moltiplicativo di α_0
- MomRib2 = $S_{,tot} \cdot h_{,S1}$ è la parte del momento ribaltante indipendente da α_0
- MomStab = $(P_{stat,1} \cdot e_{,1} + W_{,1'} \cdot s_{,1/2} + T_{,1} \cdot h_{,T1})$ è il momento stabilizzante

Il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= [(P_{,1} \cdot e_{,1} + W_{,1'} \cdot s_{,1/2} + T_{,1} \cdot h_{,T1}) - (S_{,tot} \cdot h_{,S1})] / (P_{,1} \cdot h_{,S1} + W_{,1} \cdot Z_{,G1}) \\ &= (MomStab - MomRib2) / MomRib1 \end{aligned}$$

Si rimanda agli Esempi Applicativi (parte C. della presente documentazione) per lo svolgimento della verifica di sicurezza secondo le normative di riferimento.

B. MANUALE D'USO

B.1. INTRODUZIONE

In PC.M, all'Analisi Cinematica è dedicato un apposito modulo (nel seguito indicato con: PC.M-ESP), 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 cinematicismi specifici, utilizzando i quali, in varia combinazione, è possibile definire l'analisi di un edificio.

Il motore di calcolo ESP deriva da un altro software della Aedes (PC.S: Prontuario Professionale per il Calcolo delle Strutture), applicativo ingegneristico a carattere generale, dove gli elementi strutturali predefiniti corrispondono a singoli argomenti (p.es. schemi statici predefiniti di travi o telai). Nel caso di PC.M-ESP tali argomenti corrispondono ai cinematicismi.

I fogli di calcolo 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 cinematicismo 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 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. AMBIENTE DI LAVORO

PC.M consente l'accesso al modulo PC.M-ESP (Analisi Cinematica) attraverso il comando  della barra degli strumenti della finestra Dati Progetto.

Tale comando apre una finestra dove è possibile selezionare, da un elenco, posto in basso a sinistra, il cinematicismo da esaminare (fig. 2).

A lato dell'elenco, sono riportati i dati corrispondenti, mentre un'immagine apposita rappresenta il particolare cinematicismo scelto. Sopra, vengono riportati i risultati, calcolati in tempo reale con le modifiche dei dati; il simbolo **n.c.** indica che i dati ancora devono essere inseriti (n.c.=non calcolato).

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

Nella versione 2009 di PC.M, i dati da inserire, relativi alle pareti da esaminare, possono essere tratti dalle elaborazioni statiche di PC.M o di PC.E. Per esempio, 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.

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

PC.M-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, PC.M-ESP può essere aperto contemporaneamente ad altri software; pertanto l'effettivo aspetto dello schermo, nel corso dell'uso di PC.M-ESP, dipende dalla configurazione in quel momento determinata dall'utente.

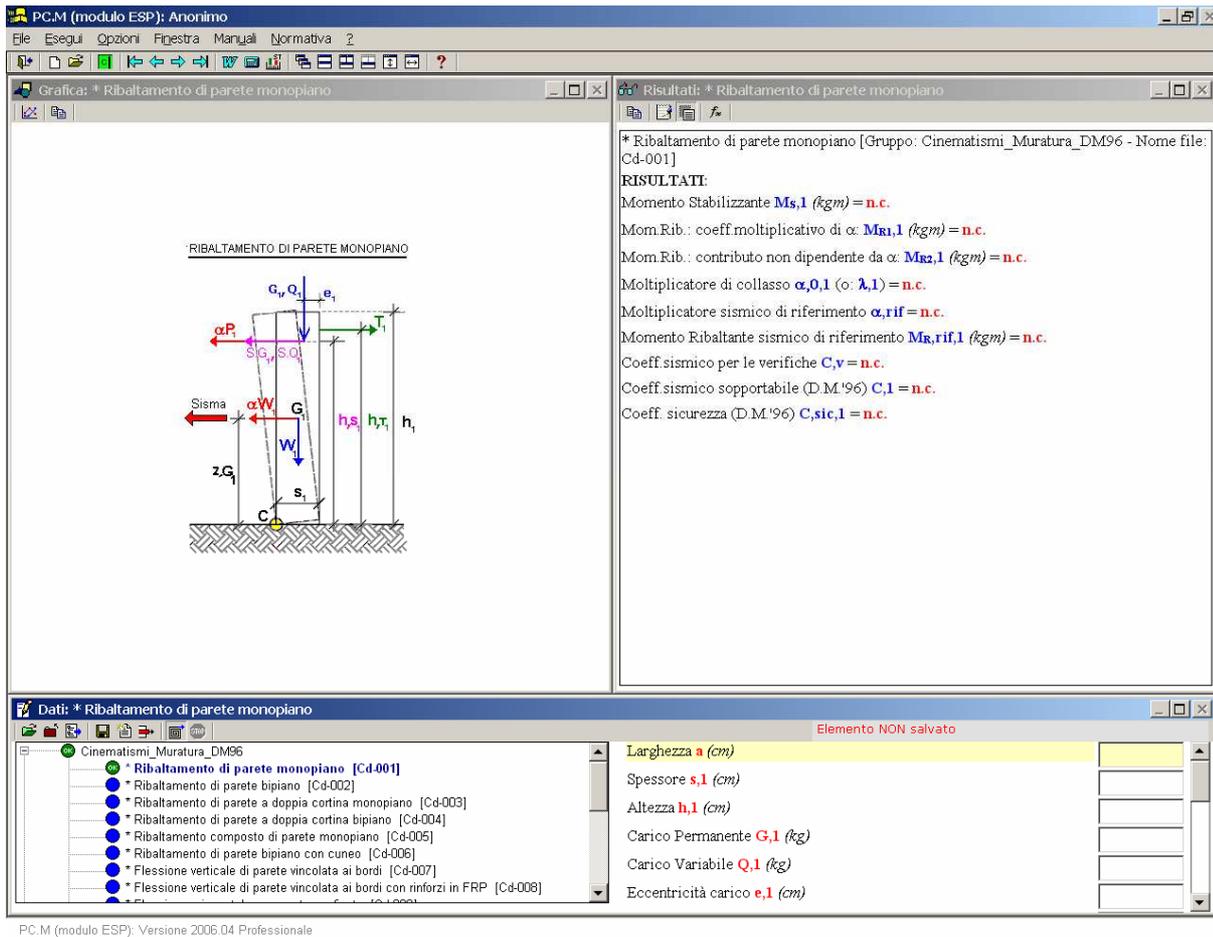


Fig. 2. Ambiente di lavoro per PC.M-ESP (Analisi Cinematica)

Nella schermata di default di PC.M-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 PC.M-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);

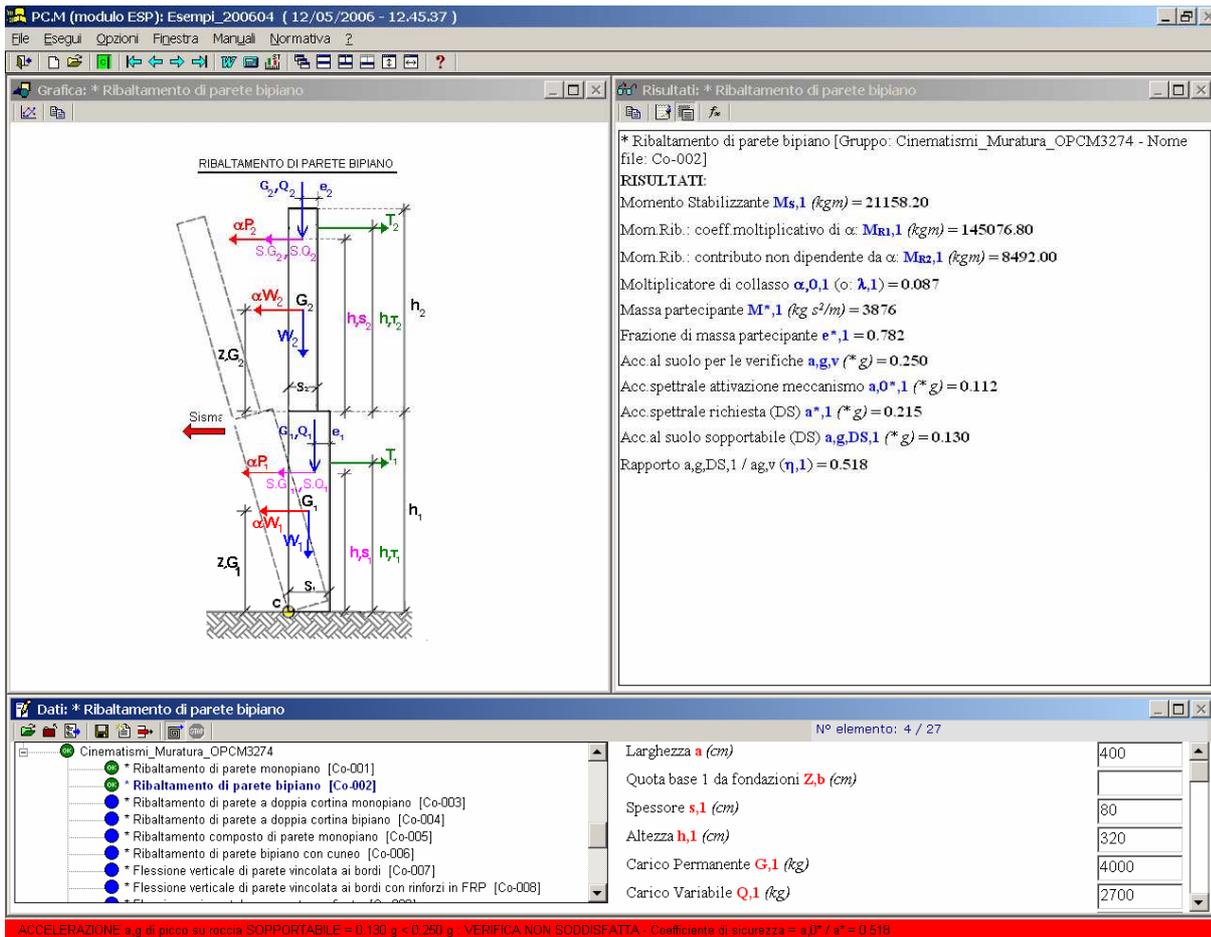


Fig. 3. Esempio di analisi di cinematico

- 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 PC.M-ESP. Qui si riporta anche il risultato della verifica sismica (in fig. 3 il caso di una verifica non soddisfatta. La barra in tal caso è colorata di rosso; se modificando i dati, la verifica diviene soddisfatta, la barra assume colore verde).

Nella fig. 3, rappresentativa dell'ambiente di lavoro, è in linea un Progetto (ed in particolare, è in corso di analisi un caso di ribaltamento bipiano secondo OPCM 3274). 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 PC.M-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 PC.M-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 PC.M-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;
- 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 PC.M-ESP; nei paragrafi appositi, ogni finestra è descritta in dettaglio con le proprie funzionalità.

B.1.2. DEFINIZIONI

La terminologia utilizzata in PC.M-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 PC.M-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 PC.M-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 il paragrafo B.3.2. per una descrizione dettagliata delle modalità di input dei dati ed in particolare dei formati 'fisso' e 'variabile'.

B.1.3. ESECUZIONE DEI CALCOLI

In PC.M-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.

PC.M-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.

I calcoli eseguiti da PC.M-ESP non sono archiviati su files esterni, ma vengono rielaborati ogni volta che si riaprono gli elementi predefiniti del Progetto.

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 di PC.M-ESP.



Fig. 4. 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.

SI 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.

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 PC.M-ESP, secondo criteri preimpostati.

Guida. Apre la Guida di PC.M-ESP, e più esattamente il 'Manuale Completo'. Corrisponde all'omonimo comando del menu Guida (?). 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 PC.M-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).*

PC.M-ESP è installato nella directory (obbligatoria) \Aedes2009\Pcm\Esp, mentre i **Progetti** dell'Utente vengono **archiviati**, in un formato proprio del programma, **nella sottodirectory \Aedes2009\Pcm\Esp\Progetti.**

Per un Progetto di nome 'NomeProgetto', PC.M-ESP crea inoltre due sottodirectory: **\Aedes2009\Pcm\Esp\Servizio\NomeProgetto** all'interno della quale vengono collocati files temporanei ad uso interno di PC.M-ESP, e **\Aedes2009\Pcm\Esp\Output\NomeProgetto** contenente i files di testo (RTF) e grafici (DXF e BMP) elaborati da PC.M-ESP.

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

La directory Aedes2009\Pcm\Esp\Servizio è normalmente utilizzata soltanto durante la sessione di lavoro con PC.M-ESP. La directory Aedes2009\Pcm\Esp\Output può essere periodicamente svuotata, laddove non interessino più i files grafici e di testo elaborati in precedenza da PC.M-ESP.

L'assenza delle directory Aedes2009\Pcm\Esp\Servizio e Aedes2009\Pcm\Esp\Output non interferisce con il normale funzionamento del programma: PC.M-ESP infatti provvede da solo alla loro creazione quando necessario.

Nel seguito, per 'archivio' si intende un Progetto salvato nel formato PC.M-ESP nella sottodirectory **Aedes2009\Pcm\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 PC.M-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 PC.M-ESP. Si tratta di

Aedes2009\Pcm\Esp\Gruppi

che contiene tante sottocartelle quanti sono i gruppi secondo i quali si organizzano gli elementi predefiniti. PC.M-ESP è dotato di 4 gruppi di cinematicismi per edifici in muratura: il primo segue le NTC2008, il secondo ed il terzo sono relativi a due diverse interpretazioni del DM'96, che saranno spiegate dettagliatamente in seguito, il quarto secondo l'OPCM 3274 e s.m.i. e il NTC2005

La **struttura ad albero** della directory Aedes2009\Pcm\Esp\Gruppi viene riproposta, dopo il lancio di PC.M-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, PC.M-ESP compone automaticamente tale struttura ad albero ordinando alfabeticamente i gruppi rilevati nella directory Aedes2009\Pcm\Esp\Gruppi.

La configurazione della finestra Dati è riportata in fig. 5.

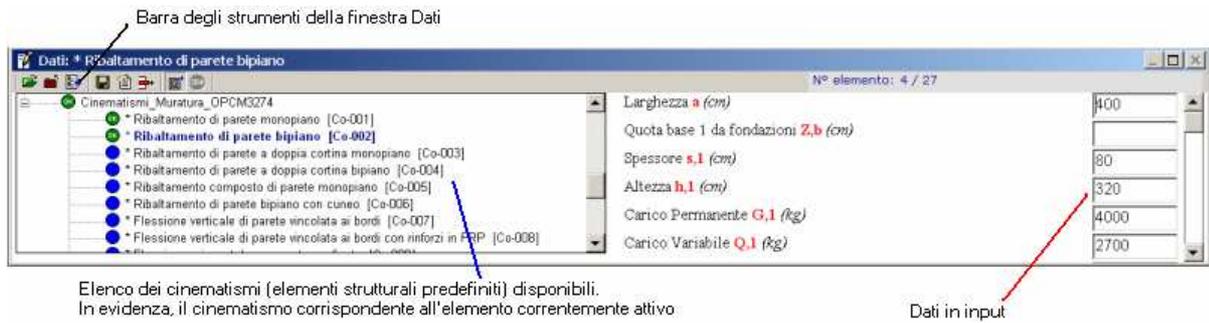


Fig. 5. Finestra Dati

Sulla sinistra, l'Elenco degli elementi predefiniti disponibili (vd. par. B.3.1.). Sotto al titolo, la barra degli strumenti propria di questa finestra, con comandi vari ed utilità di calcolo (analizzate in dettaglio al par. B.3.3.). Sulla destra, i dati in input (vd. par. B.3.2.).

B.3.1. ELEMENTI PREDEFINITI: MODALITA' OPERATIVE

Gli elementi predefiniti disponibili vengono organizzati da PC.M-ESP in una struttura ad albero, ordinata alfabeticamente, che riporta i gruppi di cinematismi e i singoli meccanismi di collasso.

Analogamente ad altre informazioni riconducibili a una forma di elenco gerarchico (ad esempio, la visualizzazione di cartelle e files in Gestione o Esplora Risorse del sistema operativo Windows), il segno + a lato sinistra di un nodo indica la sua espandibilità: nel caso in esame, indica un Gruppo, che conterrà al suo interno più elementi.

Facendo clic sul segno +, il nodo si espande e viene mostrato l'elenco degli elementi disponibili facenti capo a questo gruppo.

Nel percorso Aedes2009\Pcm\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 Aedes2009\Pcm\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. Tuttavia, le barre di scorrimento consentono la sua completa consultazione anche quando le dimensioni dell'Elenco sono quelle standard (parte sinistra della finestra Dati, posta in basso sotto alle finestre Grafica e Risultati, come in fig.2).

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 PC.M-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, JPG o GIF) 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' (fig. 1).

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.

B.3.1.1. DEFINIZIONE DEGLI 'ELEMENTI STRUTTURALI PREDEFINITI'

Gli elementi predefiniti di PC.M-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 NTC2008 (si riferisce al meccanismo di ribaltamento semplice monopiano):

Gruppo: Cinematismi Muratura secondo le NTC2008

Cartella: Aedes2009\Pcm\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 grassetti, 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 PC.M-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 il seguente messaggio grafico:



Non è stata rilevata alcuna immagine associata all'Elemento Predefinito corrente.

Se si desidera associare un'immagine, creare un file grafico di tipo BMP oppure JPG oppure GIF, che dovrà risiedere nello stesso percorso del file che definisce l'Elemento Predefinito corrente.

Fig. 6. Assenza di immagine collegata all'elemento predefinito corrente

tuttavia ciò è ininfluente nei confronti dei calcoli, che vengono normalmente eseguiti.

B.3.2. DATI IN INPUT

I dati in input vengono specificati in apposite caselle di testo nella finestra Dati (vd. ad esempio fig. 3).

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).

Nella fig. 3 e nella fig. 7, l'elemento predefinito corrente è il meccanismo di collasso per ribaltamento semplice bipiano; per tale caso, si studia l'influenza del tiro stabilizzante sul coefficiente di sicurezza.

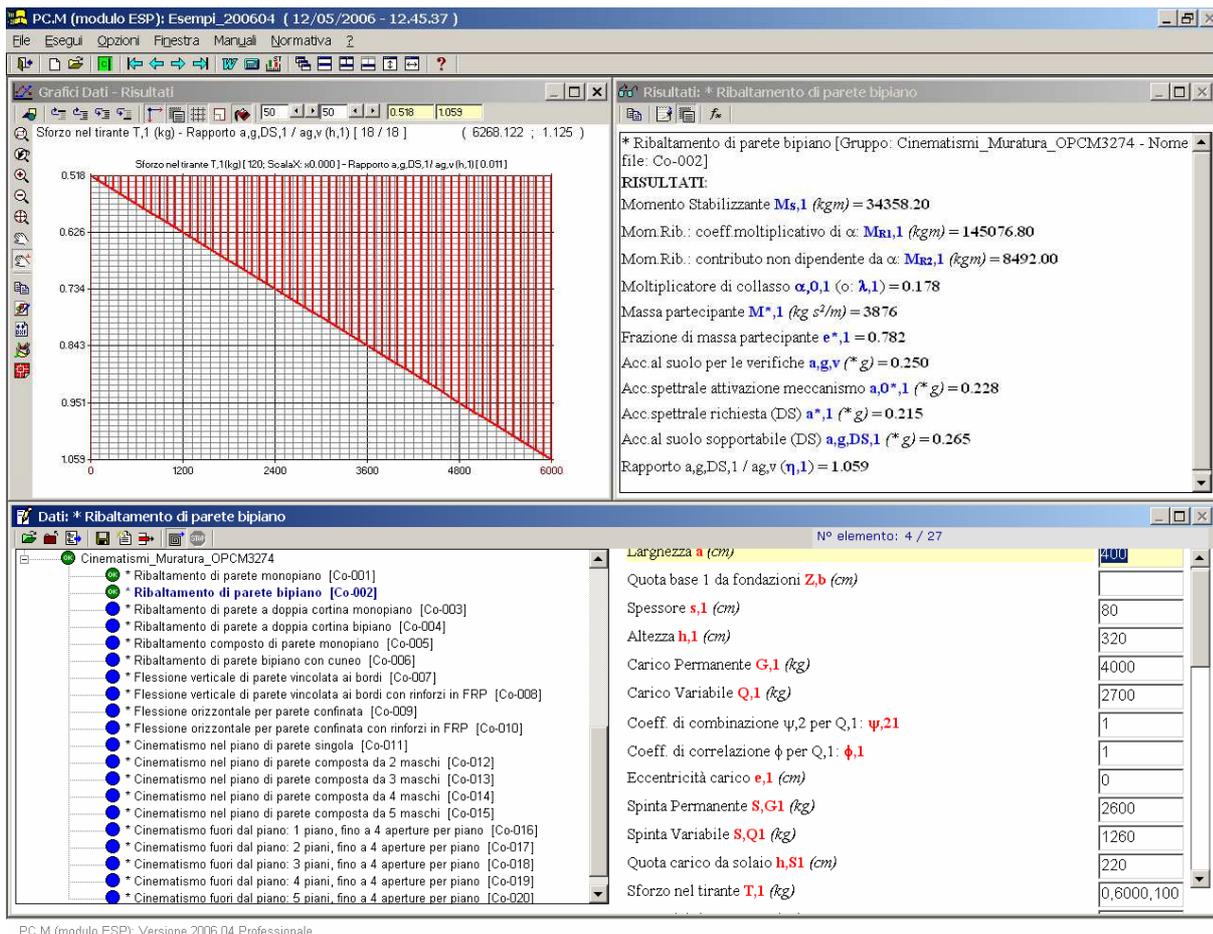


Fig. 7. Dati in formato variabile:

ricerca del tiro stabilizzante che garantisce verifica soddisfatta

Tutti i dati hanno formato fisso, eccetto lo sforzo nel tirante $T,1$, espresso come: 0,6000,100

ciò significa che esso assume i valori compresi nell'intervallo da 0 a 6000 kgf, con passo 100. 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 $\eta,1$ (rapporto $a,g,DS / a,g,v =$ coefficiente di sicurezza, che per verifica 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 PC.M-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 correttamente 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. 7, per esempio: 0,6000,10 invece di 0,6000,100) si ottengono grafici più precisi, poiché i punti di costruzione ovviamente si raffittiscono; ciò può produrre 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.

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, PC.M-ESP predispone automaticamente una barra di scorrimento per la gestione dei campi in input.

Nella fig. 7 si osservi che al dato 'Quota base da fondazioni Z,b' 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. 8. 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 ('premutato', 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).

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 PC.M-ESP attraverso i comandi del Menu File.

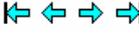
Dai comandi del Menu File è possibile, inoltre, elaborare la relazione di calcolo.

Nuovo progetto (CTRL + N) [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 + A) [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 (Aedes2009\Pcm\Esp\Progetti) o progetti di esempio per l'apprendimento (in dotazione di PC.M-ESP; posti in Aedes2009\Pcm\Esp\Es-Apprendi). La selezione viene direttamente effettuata nella finestra di dialogo per l'apertura del progetto.

Salva con nome... = Richiede il nome del Progetto prima di archivarlo. 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 PC.M-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. PC.M-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 Aedes2009\Pcm\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, PC.M-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 (CTRL + R) = 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 la semplice intestazione 'Relazione di calcolo'; quando viene rilevato almeno un file RTF nella cartella:

Aedes2009\Pcm\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 PC.M-ESP la Relazione di Calcolo viene creata liberamente dall'Utente, attraverso i comandi 'Copia' (barre degli strumenti: ) delle finestre Grafica, Grafici e Risultati. Tale comando, infatti, pone in memoria il contenuto della finestra (immagine per Grafica e Grafici, testo formattato per 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 PC.M-ESP.

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 PC.M-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 PC.M-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. PC.M-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 PC.M-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. PC.M-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.

Sistema Internazionale [Barra degli Strumenti generale: ] = Imposta il sistema di unità di misura che verrà utilizzato nel Progetto; il Sistema Internazionale è alternativo al Sistema Tecnico. PC.M-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.*

Calcolo automatico del Peso proprio = Se attivo 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.

Resistenza a Compressione finita = Se non attivo si considera l'ipotesi di infinita resistenza a compressione della muratura. Questa determina il formarsi delle cerniere negli spigoli. Se attivo si considera l'arretramento della cerniera nell'ipotesi di una

distribuzione triangolare delle pressioni, considerando come tensione massima quella inserita dall'utente nei dati.

Calcolo automatico di Gamma (coeff. part. modale) = Si tratta di un comando che si riferisce esclusivamente alle NTC2008: se attivo il coefficiente di partecipazione modale γ viene calcolato secondo la formula approssimata $\gamma = 3N / (2N+1)$ di cui alla circolare attuativa punto C8D.2.3. Se non attivo si utilizza nel calcolo il valore inserito dall'utente nei dati. Nei cinematismi dove il coefficiente di partecipazione modale non è presente nei dati, questo viene calcolato automaticamente dal programma utilizzando la formula: $\gamma = (\sum M_i Z_i) / (\sum M_i Z_i^2)$, dove le M_i sono le masse di piano che originano la spinta sismica e le Z_i le loro altezze dal piano rigido. Questa formula nel caso di uguali masse e altezze di piano si semplifica nella precedente. I vari valori di γ , per ogni piano vengono forniti nei risultati.

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:    ) rispettivamente: Primo Elemento, Elemento Precedente, Elemento Successivo, Ultimo Elemento), è possibile visualizzare gli altri elementi predefiniti presenti nel Progetto corrente.

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 specificate nei files che definiscono l'elemento stesso.

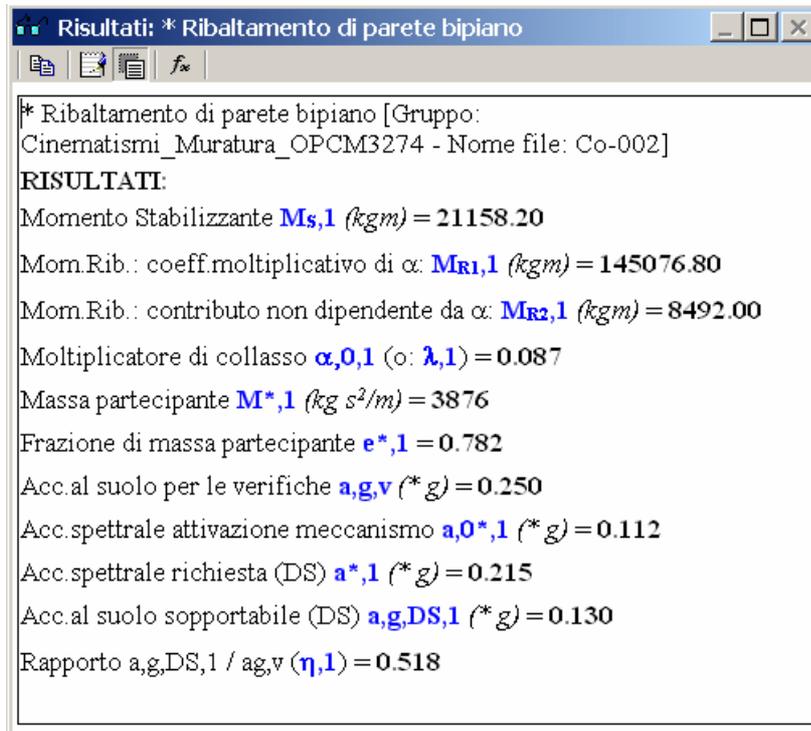


Fig. 9. Finestra Risultati.

Nella finestra Risultati è possibile visualizzare direttamente i risultati più significativi, oppure tutti i risultati; è inoltre possibile visualizzare anche i dati e 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 PC.M-ESP la Relazione di Calcolo viene creata liberamente dall'Utente, attraverso i comandi 'Copia' (barre degli strumenti: ) delle finestre Grafica, Grafici e Risultati. Tale comando, infatti, pone in memoria il contenuto della finestra (immagine per Grafica e Grafici, testo formattato per 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 PC.M-ESP.

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. 10. 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 PC.M-ESP la Relazione di Calcolo viene creata liberamente dall'Utente, attraverso i comandi 'Copia' (barre degli strumenti: ) delle finestre Grafica, Grafici e Risultati. Tale comando, infatti, pone in memoria il contenuto della finestra (immagine per Grafica e Grafici, testo formattato per 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 PC.M-ESP.

 **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. Tali formule sono utilizzate nei files che definiscono gli elementi strutturali predefiniti. Questo comando corrisponde all'omonimo del menu Opzioni della finestra Risultati. Se la visualizzazione delle formule è attiva, questo pulsante grafico si presenta 'premuto'.

B.5. FINESTRA GRAFICA

La finestra Grafica consente la visualizzazione dell'immagine associata all'elemento predefinito correntemente attivo. L'utilità dell'immagine consiste nel mostrare graficamente il significato dei dati e dei risultati del problema esaminato.

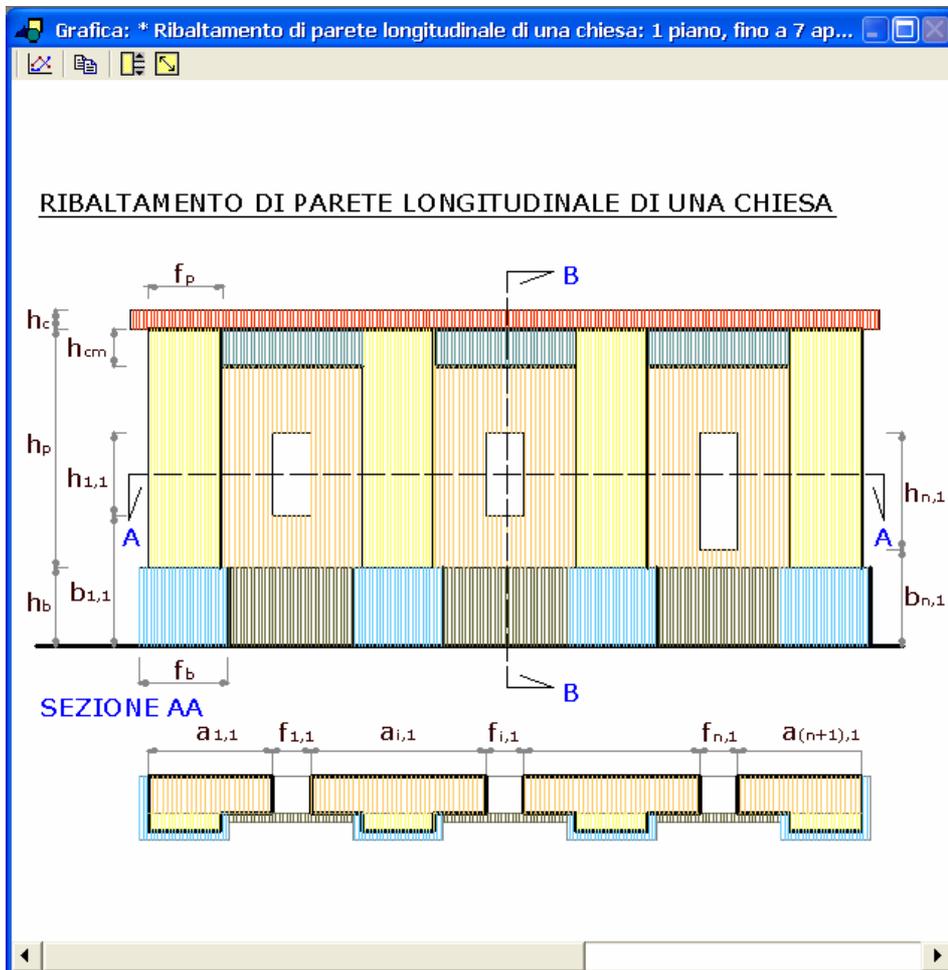


Fig. 11. Finestra Grafica.

Analogamente ad altre finestre, la finestra Grafica può essere spostata e/o ridimensionata. Se le sue dimensioni 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, comandi appositi consentono il ridimensionamento automatico.

Qualora all'elemento predefinito corrente non sia associata alcuna immagine, la finestra Grafica mostra il messaggio grafico riportato in fig. 6.

IMPORTANTE! Modalità di creazione della Relazione di Calcolo: In PC.M-ESP la Relazione di Calcolo viene creata liberamente dall'Utente, attraverso i comandi 'Copia' (barre degli strumenti: ) delle finestre Grafica, Grafici e Risultati. Tale comando, infatti, pone in memoria il contenuto della finestra (immagine per Grafica e Grafici, testo formattato per 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 PC.M-ESP.

B.5.1. BARRA DEGLI STRUMENTI

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



Fig. 12. Barra degli Strumenti della finestra Grafica.

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

 **Finestra Grafici Dati-Risultati.** Apre la finestra Grafici, su cui sposta il fuoco. Corrisponde al comando omonimo del menu Finestra della finestra Grafica. La finestra Grafici normalmente si sovrappone alla finestra Grafica; se internamente alla finestra Grafici è attivo il comando che corrisponde alla sua posizione a destra, essa si sovrappone 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 così che si possa vederla nella sua interezza.

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

B.6. FINESTRA GRAFICI

La finestra Grafici consente la visualizzazione e la gestione dei grafici che sono stati eventualmente elaborati attraverso la definizione di dati in forma variabile. Un esempio è riportato in fig.5.

Questa finestra gestisce quindi una grafica diversa dalla finestra Grafica: mentre là si mostra un'immagine fissa associata all'elemento predefinito corrente, qui invece si elaborano veri e propri grafici di calcolo vettoriali che possono essere ad esempio ridimensionati o zoomati, ed anche esportati su files DXF per CAD.

E' in questa finestra che vengono visualizzati, fra gli altri, i diagrammi dei momenti e le linee d'influenza.

Ricordiamo che 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 il paragrafo B.3.2. per una descrizione dettagliata delle modalità di input dei dati ed in particolare del formato 'variabile'. Nella finestra Grafici vengono rappresentati i grafici che legano tutti i risultati al dato variabile; pertanto, saranno disponibili tanti grafici quanti sono i risultati.

Analogamente alla finestra Risultati, sarà possibile disattivare la visualizzazione dei grafici dei risultati secondari (ricordiamo che si definiscono **Principali** i risultati che si desidera siano obbligatoriamente visualizzati; **Secondari** i risultati la cui visualizzazione si considera opzionale, ad esempio perché si riferiscono a parametri di calcolo ad uso 'intermedio').

Nel seguito di questo capitolo, viene indicato con '**dato variabile**' il dato definito in formato variabile che genera i grafici dei risultati.

B.6.1. BARRA DEGLI STRUMENTI SUPERIORE

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



Fig. 13. Barra degli Strumenti superiore della finestra Grafici.

I pulsanti della barra degli strumenti superiore della finestra Grafici sono i seguenti:

 **Finestra Grafica.** Apre la finestra Grafica, su cui sposta il fuoco. Corrisponde al comando omonimo del menu Finestra della finestra Grafici.

 **Primo Grafico.** Visualizza il primo grafico, cioè il grafico che lega il primo risultato al dato variabile. Per 'primo risultato' si intende quello che è elencato per primo nel gruppo dei risultati dell'elemento predefinito corrente. Nel caso che sia attivata l'opzione 'Nascondi Risultati secondari', viene visualizzato il primo risultato dell'elenco che sia di tipo 'principale'. Questo pulsante grafico corrisponde all'omonimo comando del menu Opzioni della finestra Grafici.

 **Grafico Precedente.** Visualizza il grafico precedente, cioè il grafico che lega il risultato precedente al dato variabile. Per 'risultato precedente' si intende quello che si trova subito prima (del risultato attualmente mostrato nel grafico) nell'elenco del gruppo dei risultati dell'elemento predefinito corrente.

Nel caso che sia attivata l'opzione 'Nascondi Risultati secondari', viene visualizzato il primo risultato precedente che sia di tipo 'principale'. Questo pulsante grafico corrisponde all'omonimo comando del menu Opzioni della finestra Grafici.

 **Grafico Successivo.** Visualizza il grafico successivo, cioè il grafico che lega il risultato successivo al dato variabile. Per 'risultato successivo' si intende quello che si trova subito dopo (del risultato attualmente mostrato nel grafico) nell'elenco del gruppo dei risultati dell'elemento predefinito corrente.

Nel caso che sia attivata l'opzione 'Nascondi Risultati secondari', viene visualizzato il primo risultato successivo che sia di tipo 'principale'. Questo pulsante grafico corrisponde all'omonimo comando del menu Opzioni della finestra Grafici.

 **Ultimo Grafico.** Visualizza l'ultimo grafico, cioè il grafico che lega l'ultimo risultato al dato variabile. Per 'ultimo risultato' si intende quello che è elencato per ultimo nel gruppo dei risultati dell'elemento predefinito corrente. Nel caso che sia attivata l'opzione 'Nascondi Risultati secondari', viene visualizzato l'ultimo risultato dell'elenco che sia 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 'premutato'. Questo pulsante grafico corrisponde all'omonimo comando del menu Esegui.

 **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 'premutato'.

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 'premutato'.

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 Esegui.

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

ESP determina le dimensioni del disegno nel seguente modo:

- la scala lungo Y corrisponde ai reali valori del parametro rappresentato nel diagramma;
- la scala lungo X viene scelta in via ottimale ed automatica per poter rappresentare il grafico entro le dimensioni attuali della finestra.

Queste modalità sono trasmesse, con l'output su DXF, nel disegno per CAD. Diviene così importante poter determinare un diverso fattore di scala, in modo da rilevare nel modo più conveniente le ascisse e le ordinate nel diagramma su CAD. Il valore del fattore di scala (cioè la quantità numerica fissa per la quale sono moltiplicate tutte le ascisse) è, per quanto detto, un certo valore numerico.

Nell'esempio di fig. 14 questo valore numerico è pari a 2.277.

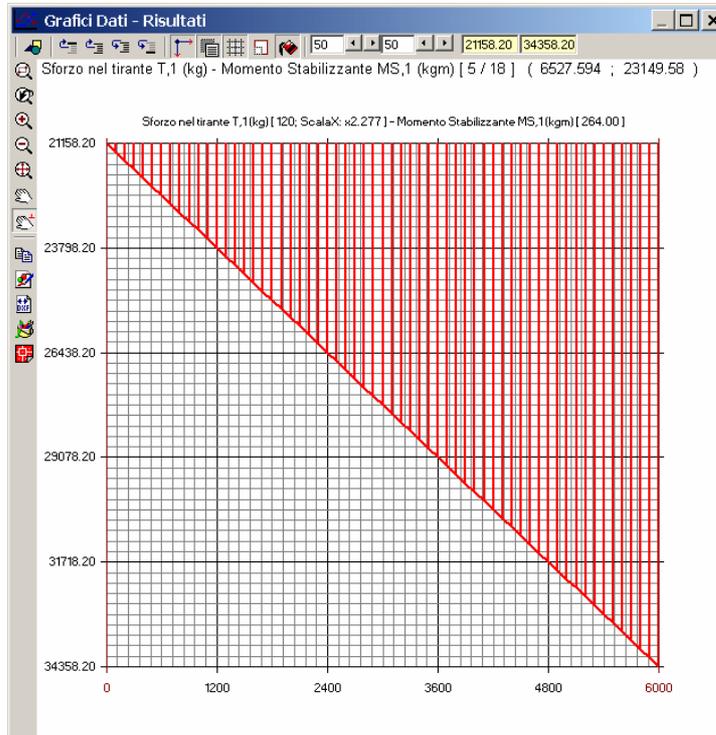


Fig. 14. Grafico Sforzo nel tirante T,1 - Momento Stabilizzante, per la parete bipiano rappresentata in fig. 3 (per la quale è stato presentato, in fig. 7, anche il grafico Sforzo nel tirante - Coefficiente di sicurezza)

In fig. 14 è rappresentato il diagramma che fornisce il momento stabilizzante per una parete bipiano in funzione di un tiro variabile.

L'indicazione: **Scala X: x2.277** presente sopra il quadro grafico, significa che le distanze rilevate lungo l'asse delle ascisse andranno divise per 2.277 per ottenere i valori reali.

[Altre indicazioni presenti in questo grafico sono: 120 per lo sforzo nel tirante (il dato variabile va da 0 a 6000; questo 120 indica che poiché l'intervallo totale (lungo l'asse delle X), rimane suddiviso in 50 parti (come determinato dal valore della Suddivisione lungo X), allora ogni parte vale 120 (kgf, nel caso in esame).

Il valore 264 associato al momento stabilizzante indica invece la quantità corrispondente ad ogni tratto verticale, lungo l'asse Y delle ordinate.

Questi valori sono esattamente rilevabili in CAD, dove il disegno può essere editato dopo aver eseguito l'output su file DXF].

Un valore numerico come 2.277 non è però conveniente per la gestione del diagramma; ad esempio, in un caso di questo tipo è molto importante disporre di una scala che facilita l'uso della linea d'influenza (è noto che l'area del diagramma può essere utilizzata per la determinazione del momento prodotto da un carico distribuito ad estensione variabile, in questo caso lungo l'altezza). Per esempio, sarebbe utile che le ascisse risultassero moltiplicate per un numero intero, poniamo: 3.

Selezionando il pulsante grafico 'Modifica Scala X' si apre la finestra di dialogo rappresentata in fig. 15.

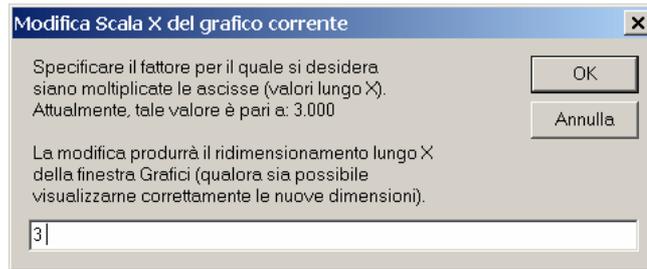


Fig. 15. *Modifica Scala X: specifica del fattore.*

Nella finestra è già proposto il valore decimale più prossimo al valore attuale (in questo caso, 3 è il valore più vicino a 2.277); tale valore può essere modificato a piacere. Confermando il valore 3, il grafico viene ridisegnato e la finestra Grafici opportunamente ridimensionata, ottenendo la configurazione riportata in fig. 16.

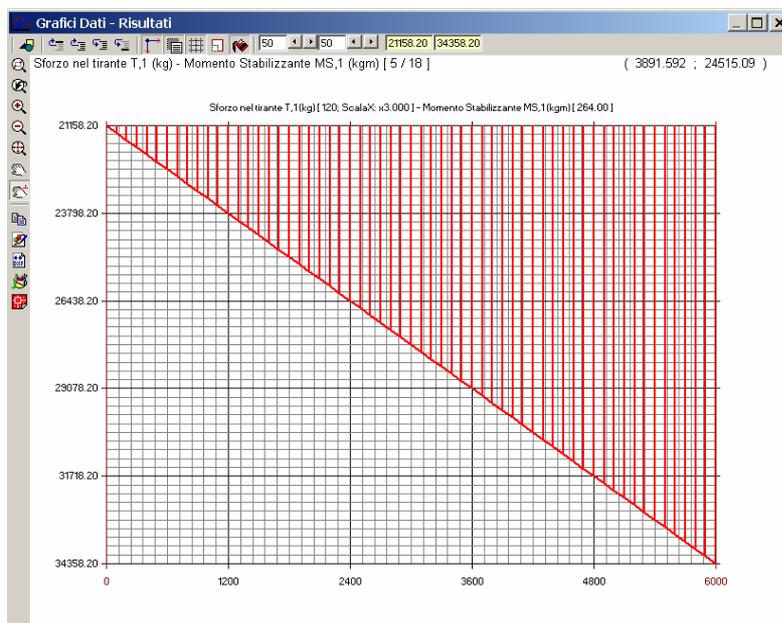


Fig. 16. *Variazione della scala lungo X secondo un fattore più conveniente*



Fig. 17. Output su file DXF del diagramma di fig. 16

Eseguendo adesso l'output su DXF si ottiene un diagramma del tipo rappresentato in fig. 17. Il segmento evidenziato lungo X misura, in CAD, 3600, ossia è pari al reale valore moltiplicato x 3.

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. Se il riempimento è attivo, il pulsante grafico si presenta 'premuto'. Questo pulsante grafico corrisponde all'omonimo comando del menu Esegui.



Suddivisione Ascisse Griglia, Suddivisione Ordinate Griglia.

In queste caselle di testo è possibile specificare il numero di suddivisioni della griglia, sia lungo X, sia lungo Y.

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.



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. Non sono accettati limiti inferiori a quelli massimo e minimo dei valori calcolati. Il comando può essere utile per ottenere un grafico i cui estremi in ordinate siano quelli desiderati, diversi dai valori massimo e minimo calcolati.

Una interessante conseguenza è che in questo modo, ad esempio, le suddivisioni lungo l'asse delle ordinate generano valori più semplici e più utilizzabili per la consultazione del diagramma su CAD.

Diversamente dall'asse delle ordinate, non è invece possibile modificare i limiti dell'asse delle ascisse: questi coincidono obbligatoriamente con i valori di calcolo del 'dato variabile' che origina il 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.



Fig. 18. Barra degli Strumenti laterale della finestra Grafici.

I pulsanti della barra degli strumenti laterale della finestra Grafici dedicati alla gestione della visualizzazione dell'immagine sono i seguenti (in ordine consecutivo): **zoom finestra, zoom precedente, ingrandisci, riduci, ottimizza, spostamento (pan), spostamento (pan) ortogonale:**

 **Copia negli Appunti.** Copia il contenuto della finestra Grafici (il diagramma mostrato) 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.

 **Salva su file BMP.** Crea un file grafico, di estensione BMP, nella sottodirectory: Aedes2009\Pcm\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 diagramma correntemente visualizzato nella finestra Grafici. Per il diagramma corrente, viene proposto un particolare nome di file (identificativo del disegno del grafico) che comunque l'utente può variare a piacere.

 **Salva su file DXF.** Crea un file grafico, di estensione DXF, nella sottodirectory: Aedes2009\Pcm\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 diagramma correntemente visualizzato nella finestra Grafici. Per il diagramma corrente, viene proposto un particolare nome di file (identificativo del disegno del grafico) che comunque l'utente può variare a piacere.

 **Elaborazione files BMP,  Elaborazione files DXF** (corrispondono agli omonimi comandi del menu Esegui). 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 file 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.

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 PC.M-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 PC.M-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

da formare inserendo testi e immagini di PC.M-ESP.

Il contenuto delle finestre di PC.M-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, 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 della finestra Grafici, in alternativa le immagini dei diagrammi possono essere salvate su bitmap, generando files di archivio grafico BMP in Aedes2009\Pcm\Esp\Output\NomeProgetto, e quindi, magari in un secondo tempo, richiamate da Word per l'inserimento nella relazione.

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. paragrafo 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** (tipicamente le linee d'influenza, o i diagrammi di momenti o tagli) 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 PC.M-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 PC.M-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 (a sinistra) e Risultati (a destra); in basso, è la finestra Dati. In pratica, si ripristina la disposizione di finestre presentata all'avvio da PC.M-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 PC.M-ESP IN ALTRE DIRECTORY

PC.M-ESP richiede la directory obbligatoria: Aedes2009\Pcm\Esp. Installazioni diverse produrranno incompatibilità di utilizzo e impossibilità di archiviazione dei files.

B.7.2.3. IMPOSSIBILE APRIRE PIÙ ISTANZE DI PC.M-ESP

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

B.7.3. ELENCO DEI CINEMATISMI DISPONIBILI

Con la versione 2009 di PC.M-ESP vengono forniti in dotazione i seguenti 25 cinematismi (se non diversamente specificato, si tratta di cinematismi fuori piano, cioè in direzione ortogonale al piano della parete):

001. Ribaltamento di parete monopiano
002. Ribaltamento di parete bipiano
003. Ribaltamento di parete a doppia cortina monopiano
004. Ribaltamento di parete a doppia cortina bipiano
005. Ribaltamento composto di parete monopiano
006. Ribaltamento di parete bipiano con cuneo
007. Flessione verticale di parete vincolata ai bordi
008. Flessione verticale di parete vincolata ai bordi con rinforzi in FRP
009. Flessione orizzontale di parete confinata
010. Flessione orizzontale di parete confinata con rinforzi in FRP
011. Cinematismo nel piano di Parete singola
012. Cinematismo nel piano di Parete composta da 2 maschi
013. Cinematismo nel piano di Parete composta da 3 maschi
014. Cinematismo nel piano di Parete composta da 4 maschi
015. Cinematismo nel piano di Parete composta da 5 maschi
016. Parete monopiano con aperture (fuori piano)
017. Parete di 2 piani con aperture (fuori piano)
018. Parete di 3 piani con aperture (fuori piano)
019. Parete di 4 piani con aperture (fuori piano)
020. Parete di 5 piani con aperture (fuori piano)
021. Ribaltamento di Abside cilindrica (fuori piano)
022. Ribaltamento di parete Longitudinale di una chiesa (fuori piano)
023. Ribaltamento di facciata di chiesa a tre navate (fuori piano)
024. Ribaltamento di facciata di chiesa a una navate (fuori piano)
025. Ribaltamento di timpano con formazione di cerniere oblique (fuori piano)

C. ESEMPI APPLICATIVI

C.1. INTRODUZIONE

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

Gli **Esempi di Apprendimento** vengono automaticamente installati sia nella cartella: Aedes2009\Pcm\Esp\Es-Apprendi sia nella cartella Aedes2009\Pcm\Esp\Progetti In tali files vengono proposti alcuni dei più significativi casi riportati nei paragrafi seguenti.

Per consultare gli esempi di apprendimento, nel comando Apri Progetto del menu File della finestra Dati occorre selezionare la cartella corrispondente.

Ci sono 4 gruppi di esempi suddivisi in base alla Normativa seguita per le verifiche:

- Es_2009_Cinem_DM08: esempi secondo NTC08;
 - Es_2009_Cinem_DM96: esempi secondo DM'96;
 - Es_2009_Cinem_DM96_B82: esempi secondo una diversa interpretazione del punto B82 del DM'96, come meglio specificato al punto 5.6.
 - Es_2009_Cinem_OPCM3274: esempi secondo OPCM3274;
- Tre esempi relativi ai casi trattati al punto 5.5 del presente manuale: Esempio_C55_DM08, Esempio_C55_DM96 e Esempio_C55_OPCM3274, trattati secondo i diversi percorsi normativi.
- Altri esempi con NTC08 di cui si tratta nelle pagine seguenti: Parete_2piani, Parete_4piani e Salgari
 - Vari esempi relativi ai cinematismi di chiese ed edifici monumentali Es_Chiesa_DM08.esp , Parete_Long_Chiesa, facciata_chiesa_1_navata, facciata_chiesa_3_navata

Il percorso Aedes2009\Pcm\Esp\Progetti è comunque destinato ad accogliere progressivamente i progetti personali degli Utenti.

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 sono in generale 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 esecuzione del software**, molto importante per convalidare la procedure automatiche di analisi.

C.2. RIBALTAMENTO DI UNA PARETE MONOPIANO

C.2.1. CALCOLO DEL MOLTIPLICATORE DI COLLASSO

RIBALTAMENTO DI PARETE MONOPIANO

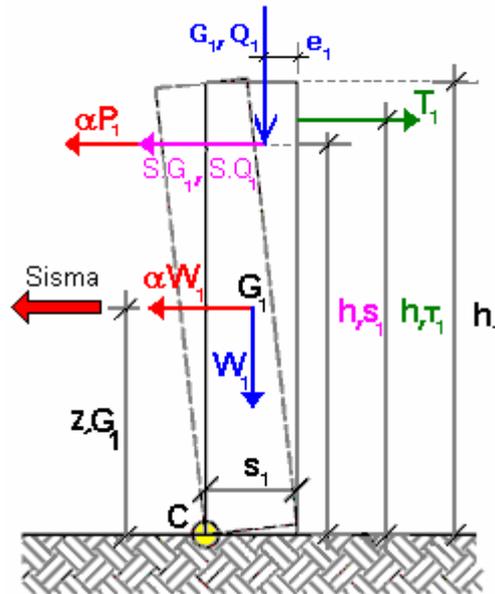


Fig. 19.

I dati del problema sono i seguenti:

a = larghezza parete

z,B = quota della base della parete rispetto alle fondazioni

$s,1$ = spessore parete

$h,1$ = altezza della parete dalla base

$G,1$ = carico permanente da solaio

$Q,1$ = carico variabile da solaio

$e,1$ = eccentricità carichi verticali rispetto allo spigolo interno della parete

$SG,1$ = spinta permanente da solaio

$SQ,1$ = spinta variabile da solaio

$h,S1$ = quota verticale carico da solaio dalla base

$T,1$ = azione stabilizzante dell'eventuale tirante

$h,T1$ = altezza tirante dalla base della parete

$p.s.,1$ = peso specifico della muratura

$W,1$ = peso proprio della parete

$Z,G1$ = quota baricentro dalla base

I carichi permanenti e variabili si combinano diversamente a seconda della Normativa seguita: prendiamo adesso in considerazione le modalità considerate nel primo gruppo ("Cn-00X"), nel secondo ("Cd-00X") e nel quarto ("Co-00X") e cioè rispettivamente secondo NTC08, DM'96 e OPCM 3274. Nel terzo gruppo ("Cb-00X") c'è un'altra interpretazione del DM'96 al riguardo delle combinazioni di carico, che verrà presa in considerazione successivamente (vedi punto 5.7 del manuale)

-NTC08: Carico statico da solaio: $Pstat,1 = G,1 + Q,1$;
 Carico sismico da solaio $P,1 = G,1 + \psi,21 * Q,1 = Pstat,1$
 ($\psi,21$ = coeff. di combinazione NTC08 $\psi,2$ per $Q,1$)

-DM'96: Carico statico da solaio: $P_{stat,1} = G_{,1} + Q_{,1}$;
Carico sismico da solaio: $P_{,1} = G_{,1} + Q_{,1} = P_{stat,1}$;

-OPCM 3274: Carico statico da solaio: $P_{stat,1} = G_{,1} + \psi_{,21} * Q_{,1}$;
Carico sismico da solaio: $P_{,1} = G_{,1} + \psi_{,21} * \phi_{,1} * Q_{,1}$;
($\psi_{,21}$ = coeff. di combinazione OPCM3274 $\psi_{,2}$ per $Q_{,1}$; $\phi_{,1}$ = Coeff. di correlazione OPCM3274 ϕ per $Q_{,1}$)

analogamente avviene per la spinta totale esercitata dal solaio:

- NTC08: $S_{,tot} = SG_{,1} + \psi_{,21} * SQ_{,1}$;

- DM'96: $S_{,tot} = SG_{,1} + SQ_{,1}$;

- OPCM 3274: $S_{,tot} = SG_{,1} + \psi_{,21} * SQ_{,1}$;

A parte i diversi modi di considerare i carichi, il percorso per arrivare al moltiplicatore di collasso è unico per le varie normative.

Il ribaltamento della parete avviene facendo cerniera alla base, sullo spigolo esterno (cerniera C in fig. 1); il cinematismo viene quindi descritto dalla rotazione ϕ attorno alla cerniera C.

Ricordando la formulazione generale del Principio dei Lavori Virtuali applicato ai cinematismi (vedi la Bozza di istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 punto C8D e l'Allegato 11.C all'OPCM 3431/2005):

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

che nel caso in esame, si particolarizza nel seguente modo:

$$\alpha_0 (P_{,1} \cdot \phi \cdot h_{,S1} + W_{,1} \cdot \phi \cdot Z_{,G1}) + (S_{,tot} \cdot \phi \cdot h_{,S1}) - (P_{stat,1} \cdot \phi \cdot e_{,1} + W_{,1} \cdot \phi \cdot s_{,1/2} + T_{,1} \cdot \phi \cdot h_{,T1}) = 0$$

La relazione precedente, semplificando in ϕ , può essere riscritta nella seguente forma (valida nella generalità dei casi):

$$\alpha_0 * \text{MomRib1} + \text{MomRib2} - \text{MomStab} = 0$$

dove:

- MomRib1 = $(P_{,1} \cdot h_{,S1} + W_{,1} \cdot Z_{,G1})$ è il coefficiente moltiplicativo di α_0
- MomRib2 = $S_{,tot} \cdot h_{,S1}$ è la parte del momento ribaltante indipendente da α_0
- MomStab = $(P_{stat,1} \cdot e_{,1} + W_{,1} \cdot s_{,1/2} + T_{,1} \cdot h_{,T1})$ è il momento stabilizzante

Il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_0 = [(P_{stat,1} \cdot e_{,1} + W_{,1} \cdot s_{,1/2} + T_{,1} \cdot h_{,T1}) - (S_{,tot} \cdot h_{,S1})] / (P_{,1} \cdot h_{,S1} + W_{,1} \cdot Z_{,G1})$$

$$= (\text{MomStab} - \text{MomRib2}) / \text{MomRib1}$$

Da qui in poi non ci sono solo differenze riguardanti solo i carichi utilizzati e i relativi coefficienti: i diversi percorsi di verifica si dividono in strade concettualmente diverse.

C.2.2 VERIFICA DI SICUREZZA SECONDO NTC2008 (circolare attuativa punto C8D.2.3)

Calcolato il moltiplicatore di collasso α_0 si deve valutare il valore della massa partecipante al cinematismo, espressa da:

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

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 sismica spettrale (o: accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo) è espressa in generale da:

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* FC} = \frac{\alpha_0 g}{e^* FC}$$

dove:

g è l'accelerazione di gravità;

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

FC è il fattore di confidenza, che nel caso non si tenga conto della resistenza a compressione della muratura deve essere comunque quello relativo al livello di conoscenza LC1

Per l'esempio considerato:

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

In analisi cinematica lineare, la verifica di sicurezza allo Stato Limite di salvaguardia della vita SLV impone che sia:

$$a_{o^*,1} \geq a^*,1$$

questo è equivalente a dire che il:

$$\text{coefficiente di sicurezza } \eta,1 = (a_{o^*,1} / a^*,1) \geq 1$$

dove:

$$a^*,1 = \max \{ a^*,1R ; a^*,1D \}$$

$a^*,1R$ è l'accelerazione spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido
 $= a_{g,rif} \gamma, I S / q$

$a^*,1D$ è l'accelerazione richiesta SLV su sottostante corpo deformabile
 $= a_{g,rif} \gamma, I Se'(T1) (Zb / H, f1) \gamma / q$

In cui:

$a_{g,rif}$ è l'accelerazione al suolo per le verifiche (indicata con a_g punto 3.2.NTC2008) è funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto e della vita di riferimento

γ, I è il Fattore di Importanza (Direttiva PCM 12.10.2007, punto 2.4);

S è il Coeff. di amplificazione locale relativo al terreno (punto 3.2.3.2.1 NTC2008);

q è il fattore di struttura ($= 2$);

$Se'(T1) = Se(T1) / a_{g,rif}$; $Se(T1)$ è lo spettro di risposta elastico SLV definito al punto 3.2.3.2.1. delle NTC, funzione della probabilità di superamento del 63% e il periodo di riferimento VR come definiti al punto 3.2 delle NTC, calcolato per $T1$, primo periodo della struttura nella direzione considerata.

Z,b è l'altezza, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura;

γ è il coefficiente di partecipazione modale che in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto pari a $3N / (2N+1)$. Questo valore deriva dalla formula più generale $\gamma = (\sum M_i Z_i) / (\sum M_i Z_i^2)$, dove le M_i sono le masse di piano che originano la spinta sismica e le Z_i le loro altezze dal sottostante corpo rigido (che può essere il terreno o una struttura considerata come rigidamente connessa col terreno). Questa è la formulazione utilizzata nei cinematicismi Cn 12-15 in cui viene fornito come output (multipiano pareti forate, edifici monumentali e chiese). Nel caso di uguali masse e altezze di piano questa infatti si semplifica nella precedente: nei cinematicismi Cn 1-11 dove γ si trova come dato di ingresso, se viene spuntata l'opzione calcolo automatico, il programma utilizza la formula semplificata, altrimenti l'utente può inserire il valore che desidera direttamente nei dati.

H,f è l'altezza della struttura da fondazioni = $(Z,b + h_1)$

L'Accelerazione al suolo sostenibile SLV è $PGA,DS = \eta,1 a,g,rif$

Si fa presente che nelle NTC08 il valore dello spettro di risposta non è direttamente proporzionale al valore di a,g , ma entrano in gioco anche i parametri F_0 e TC^* , la cui variabilità peraltro è abbastanza limitata. Di questo si dovrebbe tenere conto in caso di verifiche non soddisfatte nella iterazione per la ricerca della accelerazione tale che il coefficiente di sicurezza sia pari ad uno; per semplicità, nella versione attuale di PC.M-ESP si calcola l'accelerazione al suolo sostenibile ipotizzando per F_0 e TC^* un valore costante (pari a quello che ha determinato lo spettro di risposta fornito in input). Per ulteriori approfondimenti si veda il punto 3.4.4.2 del manuale d'uso di PC.E.

ESEMPIO APPLICATIVO NTC08

DATI:

Larghezza del setto: $a = 450$ cm

$Z,b = 300$ cm (parete posta al primo piano [piano 2 di calcolo])

Spessore $s,1 = 40$ cm

Altezza $h,1 = 300$ cm

Carico Permanente $G,1 = 5000$ kgf

Carico Variabile $Q,1 = 2875$ kgf

Eccentricità carico $e,1 = 13.3$ cm

Quota carico da solaio $h,S1 = 300$ cm

Peso specifico muratura p.s.,1 = 1800kg/mc

Peso Proprio Parete 1, $W1 = 9720$ kg

Quota baricentro da base1 $z,G1 = 150$ cm

Acc. al suolo di riferimento $a,g,rif (* g) = 0.25$

Fattore di importanza $\gamma,I = 1$

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche ($S = S_s S_t$): $S = 1$

Spettro elastico SLV adimensionale ($Se(T1) / a,g,rif$): $Se'(T1) = 2.084$

Numero di piani dell'edificio $N = 1$

Coefficiente di partecipazione modale $\gamma = 1.2$

Fattore di Confidenza $FC = 1.35$

VERIFICA:

Ipotesi 1) (Nessun tiro stabilizzante)

Applicando le relazioni sopra riportate, si ha:

$$P_{,stat1} = P_{,1} = 7875 \text{ kgf}$$

$$W_{,1} = 9720 \text{ kgf}$$

$$\alpha_o = (7875 \cdot 0.267 + 9720 \cdot 0.20) / (7875 \cdot 3.00 + 9720 \cdot 1.50) = 0.106$$

$$gM^* = (7875 \cdot 3.00 + 9720 \cdot 1.50)^2 / (7875 \cdot 3.00^2 + 9720 \cdot 1.50^2) = 15738 \text{ kgf}$$

$$e^* = 0.894$$

$$a_{,o}^* \cdot 1 = 0.106 \cdot g / (0.894 \cdot 1.35) = 0.088 \text{ g}$$

$$H_{,f} = 3.00 + 3.00 = 6 \text{ m}$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido:

$$a^*_{,1R} = (a_{,g,rif} \gamma_{,I} S / 2) = 0.25 \cdot 1 \cdot 1 / 2 = 0.125 \text{ g}$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile

$$a^*_{,1D} = (a_{,g,rif} \gamma_{,I} Se'(T1) (Z_b / H_{,f1}) \gamma / 2) = \\ (0.25 \cdot 1 \cdot 2.084 \cdot (300 / 600) \cdot 1.2 / 2) \text{ g} = 0.156 \text{ g}$$

la Massima Acc.spettrale richiesta SLV

$$a^*_{,1} = (\max \{ a^*_{,1R}; a^*_{,1D} \}) = 0.156 \text{ g}$$

Coefficiente di sicurezza SLV

$$\eta_{,1} = a_{,o}^* \cdot 1 / a^*_{,1} = 0.088 / 0.156 = 0.564$$

la verifica di sicurezza pertanto non è soddisfatta

L' accelerazione al suolo sostenibile SLV

$$PGA_{,DS,1} = \eta_{,1} a_{,g,rif} = 0.564 \cdot 0.25 \text{ g} = 0.141 \text{ g}$$

Infatti risulta minore di 0.25 g

Ipotesi 2) (Tirante in sommità)

Inserendo, come prima, dei tiranti nell'edificio in corrispondenza della sommità alla parete in grado di sviluppare una forza di trazione pari a:

$$T_{,1} = 9678 \text{ kgf}$$

si ha adesso:

$$\alpha_{o,fin} = 0.866$$

$$a_{o}^*_{,fin} = 0.866 \cdot g / (0.894 \cdot 1.35) = 0.717 \text{ g}$$

Coefficiente di sicurezza SLV

$$\eta_{,1} = a_{o}^*_{,fin} / a^*_{,1} = 0.717 / 0.156 = 4.59$$

la verifica di sicurezza pertanto non è soddisfatta

L' accelerazione al suolo sostenibile SLV

$$PGA_{,DS,1} = \eta_{,1} \cdot a_{,g,rif} = 4.59 \cdot 0.25 \text{ g} = 1.147 \text{ g}$$

infatti adesso risulta $> 0.25 \text{ g}$

C.2.3 VERIFICA DI SICUREZZA SECONDO DM96

Calcolato il moltiplicatore di collasso α_o per eseguire la verifica secondo il DM'96 si devono considerare

- Il coeff. di amplificazione locale ϵ
- Il coeff. Sismico $C_{,rif} = (\text{Grado Sismicit\`a}-2)/100$
- Il coeff di Protezione I

si deve ricercare il moltiplicatore sismico di riferimento pari a ($\beta = 4$):

$$\alpha_{,rif} = C_{,rif} * \beta * \epsilon * I$$

Il Coefficiente sismico per le verifiche è:

$$C_{,v} = I_{,ps} * C_{,rif}$$

Il Coeff.sismico sopportabile è quindi:

$$C = (\alpha_o / \alpha_{,rif}) * C_{,rif}$$

La verifica risulta soddisfatta se: $C \geq C_{,v}$

ESEMPIO APPLICATIVO DM96

DATI:

I dati geometrici sono quelli già considerati.

Per eseguire la verifica secondo il DM'96 si devono considerare in particolare:

Il coeff. di amplificazione locale $\epsilon = 1.25$

Il coeff. Sismico $C_{,rif} = (\text{Grado Sismicit\`a}-2)/100 = 0.07$

Il coeff di Protezione $I = 1$

si deve ricercare il moltiplicatore sismico di riferimento pari a ($\beta = 4$):

$$\alpha_{,rif} = C_{,rif} * \beta * \epsilon * I = 0.35$$

Il Coefficiente sismico per le verifiche è:

$$C_{,v} = I_{,ps} * C_{,rif} = 1 * 0.07 = 0.07$$

Ipotesi 1) (*Nessun tiro stabilizzante*)

Applicando le relazioni sopra riportate, si ha:

$$P_{stat,1} = P_{,1} = 7875 \text{ kgf}$$

$$W_{,1} = 9720 \text{ kgf}$$

$$\alpha_o = (7875 * 0.267 + 9720 * 0.20) / (7875 * 3.00 + 9720 * 1.50) = 0.106$$

Il Coeff.sismico sopportabile è quindi:

$$C = (\alpha_o / \alpha_{,rif}) * C_{,rif} = (0.106 / 0.35) * 0.07 = 0.021$$

si ha

$$C = 0.021 < C_{,v} = 0.070$$

e quindi la verifica non è soddisfatta

Ipotesi 2) (*Tirante in sommità*)

Inserendo, come prima, dei tiranti nell'edificio in corrispondenza della sommità alla parete in grado di sviluppare una forza di trazione pari a:

$$T_{,1} = 9678 \text{ kgf}$$

si ha adesso:

$$\alpha_{o,fin} = 0.866$$

Il Coeff.sismico sopportabile è quindi:

$$C_{,fin} = (\alpha_o / \alpha_{,rif}) * C_{,rif} = 0.173$$

si ha

$C_{fin} = 0.173 < C,V = 0.070$
e quindi la verifica adesso è soddisfatta.

C.2.4 VERIFICA DI SICUREZZA SECONDO OPCM 3274

Calcolato il moltiplicatore di collasso α_0 per eseguire la verifica secondo l'OPCM3274 si deve valutare il valore della massa partecipante al cinematisimo, espressa, nell'All. 11.C da:

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

che nel caso in esame diventa:

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

e semplificando in φ :

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

Si deve poi calcolare z,P : l'altezza, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle forze peso le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica del meccanismo, in quanto non efficacemente trasmesse ad altre parti dell'edificio;

$$z,P = [W,1 \cdot (z,G1 + z,B) + P,1 \cdot (h,S1 + z,B)] / (P,1+W,1)$$

L'Altezza della struttura da fondazioni è:

$$H,f = (Z,b + h1)$$

L'accelerazione sismica spettrale (α_0 : accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo) è espressa in generale da:

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^*} = \frac{\alpha_0 g}{e^*} \quad (11.C.4)$$

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:

$$a_0^* = \alpha_0 g / e^*$$

$$\text{dove: } e^* = gM^* / (P,1+W,1)$$

In analisi cinematica lineare, la verifica di sicurezza allo Stato Limite Ultimo impone che sia:

$$a_0^* \geq a^*,1$$

dove

$$a^*,1 = (a,g,v S / q) * (1 + 1.5 z,P / H,f)$$

è l'accelerazione dello spettro elastico definito nel punto 3.2.6 dell'Ord.3274, valutata per $T=0$, opportunamente amplificato per considerare la quota della porzione di edificio interessata dal cinematisimo, "q" è il fattore di struttura (= 2)

$$a,g,v = \gamma, I * I,ps * a,g,rif$$

$a_{g,rif}$ è l'accelerazione al suolo per le verifiche definita al punto 3.2.1 dell'Ord. 3274 (indicata con a_g)

S è il Coeff. di amplificazione locale definito al punto 3.2.3;

γ, I è il Fattore di Importanza, I è il coeff. di Protezione.

Si può anche impostare la verifica in questo modo:

$a_{g,DS,1} = (q * a_{0*,1}) / S * (1 + 1.5 z_P / H, f)$ è l'Accelerazione al suolo sopportabile:

questa deve essere maggiore o al limite uguale dell'accelerazione al suolo per le verifiche $a_{g,v}$.

Riassumendo la verifica allo stato limite ultimo secondo l'ordinanza da esito positivo quando il coefficiente di sicurezza

$$\eta = (a_{g,DS,1} / a_{g,v}) = (a_{0*,1} / a^*,1) \geq 1$$

ESEMPIO APPLICATIVO OPCM3274

DATI:

I dati geometrici sono quelli già considerati.

Per l'OPCM3274 in particolare consideriamo che:

L'edificio cui la parete appartiene è posto in zona sismica 2 ($a_{g,rif} = 0.25 g$);

Poniamo inoltre

Coeff. di combinazione $\psi,2$ per $Q,1$: $\psi,21 = 1$

Coeff. di correlazione ϕ per $Q,1$: $\phi,1 = 1$

così da considerare localmente la totalità del carico agente

VERIFICA:

Ipotesi 1) (Nessun tiro stabilizzante)

Applicando le relazioni sopra riportate, si ha:

$$P_{stat1} = P,1 = 7875 \text{ kgf}$$

$$W,1 = 9720 \text{ kgf}$$

$$\alpha_o = (7875 * 0.267 + 9720 * 0.20) / (7875 * 3.00 + 9720 * 1.50) = 0.106$$

$$gM^* = (7875 * 3.00 + 9720 * 1.50)^2 / (7875 * 3.00^2 + 9720 * 1.50^2) = 15738 \text{ kgf}$$

$$e^* = 0.894$$

$$a_o^* = 0.106 * g / 0.894 = 0.118 g$$

$$a_{g,v} = \gamma, I * I_{ps} * a_{g,rif} = 0.250 g$$

$$a^*,1 = (a_{g,v} S / q) * (1 + 1.5 z_P / H, f) = (0.25 * 1.25 / 2) * (1 + 1.5 * (517/600)) g = 0.358 g$$

pertanto

$$(a_o^* = 0.118 g) < (a^*,1 = 0.358 g):$$

l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo è 0.118 g, inferiore all'accelerazione dello spettro elastico valutata per $T=0$, pari a 0.358 g. e quindi la verifica di sicurezza non è soddisfatta

L'accelerazione al suolo sostenibile SLU

$$PGA_{DS,1} = 0.083 g \text{ Infatti risulta minore di } 0.25 g$$

Ipotesi 2) (Tirante in sommità)

Inserendo nell'edificio dei tiranti in corrispondenza della sommità alla parete in grado di sviluppare una forza di trazione pari a:

$$T,1 = 9678 \text{ kgf}$$

si ha adesso un moltiplicatore di collasso pari a:

$$\alpha_{o,fin} = 0.866$$

e una accelerazione di attivazione del cinematismo pari a:

$$a_o^*,fin = 0.866 \text{ g} / 0.894 = 0.968 \text{ g}$$

pertanto

$$(a_o^*,fin = 0.968 \text{ g}) > (a^*,1 = 0.358 \text{ g}):$$

la verifica è soddisfatta.

L' accelerazione al suolo sostenibile SLU

$$a_{g, DS, 1} = PGA_{DS,1} = 0.676 \text{ g} \text{ infatti adesso risulta } > 0.25 \text{ g}$$

C.3.1 ESEMPIO APPLICATIVO: PARETE SU 4 PIANI

Si sviluppa ora un esempio reale, relativo all'edificio riportato in figura seguente. Nella figura sono evidenziate le linee di riferimento per la caratterizzazione geometrica del problema.



Fig. 25.

La schematizzazione geometrica è rappresentata in figura seguente.

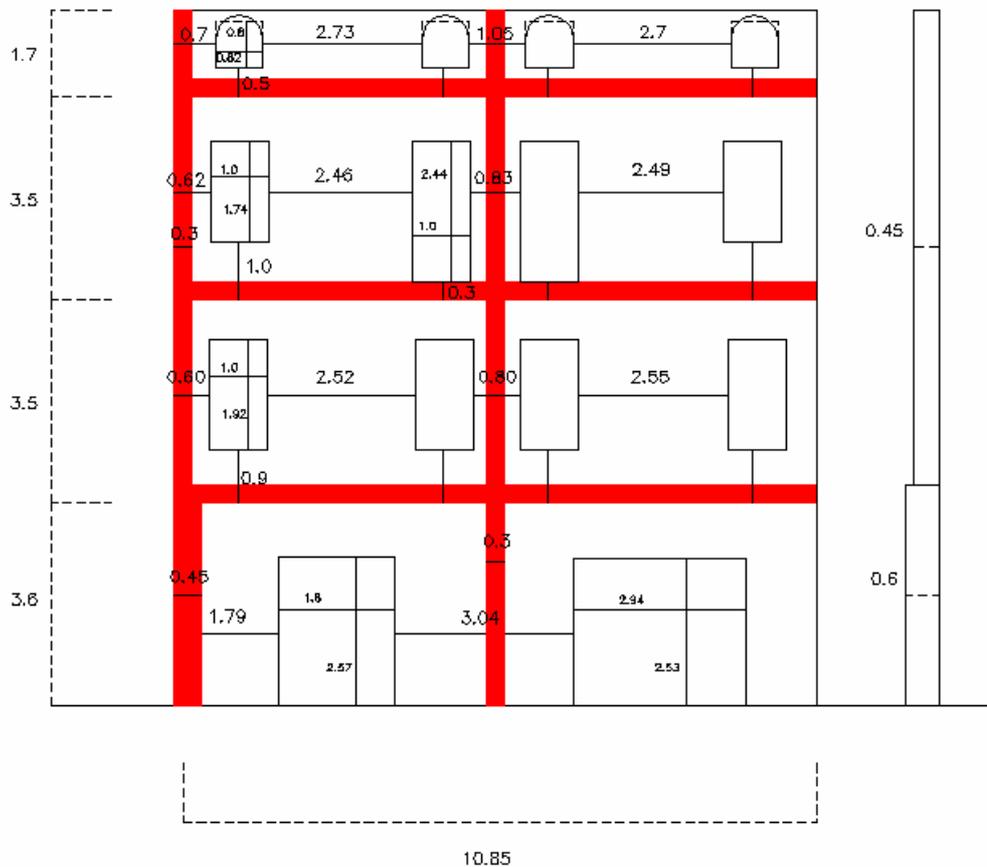


Fig. 26.

Tabella carichi:

luce solaio (comune ai tre livelli): 5.3 m;
 luce copertura: luce massima: 6.5 m (falda triangolare);
 eccentricità: si ipotizzano 7.5 cm rispetto a tutti e quattro i livelli;

- Peso proprio:

peso proprio solaio (comune ai tre livelli): 300 daN/mq;
 peso proprio copertura (mq a terra): 250 daN/mq;

Valore del carico uniformemente distribuito:

$$q_{p,1} = q_{p,2} = q_{p,3} = 795 \text{ daN/ml};$$

$$q_{p,4} = 812.5 \text{ daN/ml};$$

- Carico accidentale:

piano primo: 300 daN/mq (ristorante);
 piani successivi: 200 daN/mq (civile abitazione);
 copertura: 100 daN/mq;

Valore del carico uniformemente distribuito:

$$q_{a,1} = 795 \text{ daN/ml};$$

$$q_{a,2} = q_{a,3} = 530 \text{ daN/ml};$$

$$q_{a,4} = 325 \text{ daN/ml};$$

Coefficienti di riduzione:

piano:	1	2	3	4
ψ_{2i} :	0.6	0.3	0.3	0.2

- Dati dei cunei:

Si considerano due cunei, uno nella parete ortogonale esterna, uno in quella interna;
valore dell'angolo $\phi=20^\circ$;

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

- Altro:

Peso specifico, costante per tutto l'edificio: 1800 daN/mc;

le finestrelle al piano ultimo sono state rettificare secondo il principio dell'area equivalente (approssimazione);

si ipotizza infine che non vi siano tiranti a trattenere la parete e che:

accelerazione al suolo di riferimento $a_g = 0.15 g$,

fattore di importanza sia $\gamma_I = 1$

Spettro elastico SLV adimensionale ($Se(T1) / a_{g,rif}$): $Se'(T1) = 2.084$

coefficiente relativo del terreno $S=1.35$

Fattore di confidenza $FC = 1.35$

L'esempio viene di seguito svolto con PC.M; vedi il file di esempio: *Parete_4piani* fornito con PC.M-ESP, e apribile dal menu File della finestra Input dell'ambiente di PC.M dedicato all'Analisi Cinematica. I dati e i risultati principali sono i seguenti (per avere tutti i risultati disponibili cliccare l'apposito comando nella finestra dati):

* Cinematismo fuori dal piano: 4 piani, fino a 4 aperture per piano [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM08 - Nome file: Cn-019]

DATI:

1°p: Spessore **s,1 (cm) = 60**

1°p: Altezza di piano **Hp,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 (kg) = 8625.75**

1°p: Carico Variabile **Q,1 (kg) = 8625.75**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q1: **$\psi_{2,1} = 0.6$**

1°p: Quota carico da solaio **hS,1 (cm) = 360**

1°p: Peso specifico muratura **p.s.,1 (kg/m³) = 1800**

1°p: Spessore equivalente cuneo **s,c,1 (cm) = 75**

1°p: Angolo di distacco del cuneo **$\theta,1 (^\circ) = 20$**

2°p: Spessore **s,2 (cm) = 45**

2°p: Altezza di piano **Hp,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** (kg) = **8625.75**
 2°p: Carico Variabile **Q,2** (kg) = **8625.72**
 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** (kg/m³) = **1800**
 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 **Hp,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** (kg) = **8625.75**
 3°p: Carico Variabile **Q,3** (kg) = **5750.5**
 Coeff. di combinazione ψ_2 per Q3: **$\psi_{2,3} = 0.3$**
 3°p: Eccentricità carico **e,3** (cm) = **7.5**

3°p: Spinta Permanente **SG,3** (kg) = **350**
 3°p: Peso specifico muratura **p.s.,3** (kg/m³) = **1800**
 3°p: Spessore equivalente cuneo **s,c,3** (cm) = **60**
 3°p: Angolo di distacco del cuneo **θ,3** (°) = **20**
 4°p: Spessore **s,4** (cm) = **45**
 4°p: Altezza di piano **Hp,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** (kg) = **8815.625**
 4°p: Carico Variabile **Q,4** (kg) = **3526.25**
 Coeff. di combinazione $\psi,2$ per Q4: **$\psi,2,4 = 0.2$**
 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** (kg/m³) = **1800**
 4°p: Spessore equivalente cuneo **s,c,4** (cm) = **60**
 4°p: Angolo di distacco del cuneo **θ,4** (°) = **20**
 Acc. al suolo di riferimento **a,g,rif** (*g) = **0.15**
 Fattore di importanza **γ,I** = **1**
 Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche (S = Ss St): **S = 1.35**
 Spettro elastico SLV adimensionale (Se(T1) / a,g,rif): **Se'(T1) = 2.084**
 Fattore di Confidenza **FC** = **1.35**

RISULTATI:

Moltiplicatore di collasso **α,0,1** (o: **λ,1**) = **0.092**
 Coefficiente di partecipazione modale **γ,1** = **1.47**
 Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (*g) = **0.082**
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1R** (*g) = **0.101**
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,1D** (*g) = **0.000**
 Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,1** (*g) = **0.101**
 Coefficiente di sicurezza SLV **η,1** = **0.813**
 Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,1** = **0.122**
 Moltiplicatore di collasso **α,0,2** (o: **λ,2**) = **0.091**

Coefficiente di partecipazione modale $\gamma,2 = 1.35$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0*,2 (*g) = 0.082$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido $a*,2R (*g) = 0.101$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile $a*,2D (*g) = 0.062$

Massima Acc.spettrale richiesta SLV $a*,2 (*g) = 0.101$

Coefficiente di sicurezza SLV $\eta,2 = 0.813$

Accelerazione al suolo sostenibile SLV $PGA,DS,2 = 0.122$

Moltiplicatore di collasso $\alpha,0,3$ (o: $\lambda,3$) = **0.129**

Coefficiente di partecipazione modale $\gamma,3 = 1.22$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0*,3 (*g) = 0.137$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido $a*,3R (*g) = 0.101$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile $a*,3D (*g) = 0.110$

Massima Acc.spettrale richiesta SLV $a*,3 (*g) = 0.110$

Coefficiente di sicurezza SLV $\eta,3 = 1.252$

Accelerazione al suolo sostenibile SLV $PGA,DS,3 = 0.188$

Moltiplicatore di collasso $\alpha,0,4$ (o: $\lambda,4$) = **0.247**

Coefficiente di partecipazione modale $\gamma,4 = 1.04$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0*,4 (*g) = 0.205$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido $a*,4R (*g) = 0.101$

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile $a*,4D (*g) = 0.140$

Massima Acc.spettrale richiesta SLV $a*,4 (*g) = 0.140$

Coefficiente di sicurezza SLV $\eta,4 = 1.464$

Accelerazione al suolo sostenibile SLV $PGA,DS,4 = 0.220$

La schermata di ESP per PC.M riportata in figura seguente mostra la segnalazione della verifica di sicurezza non soddisfatta:

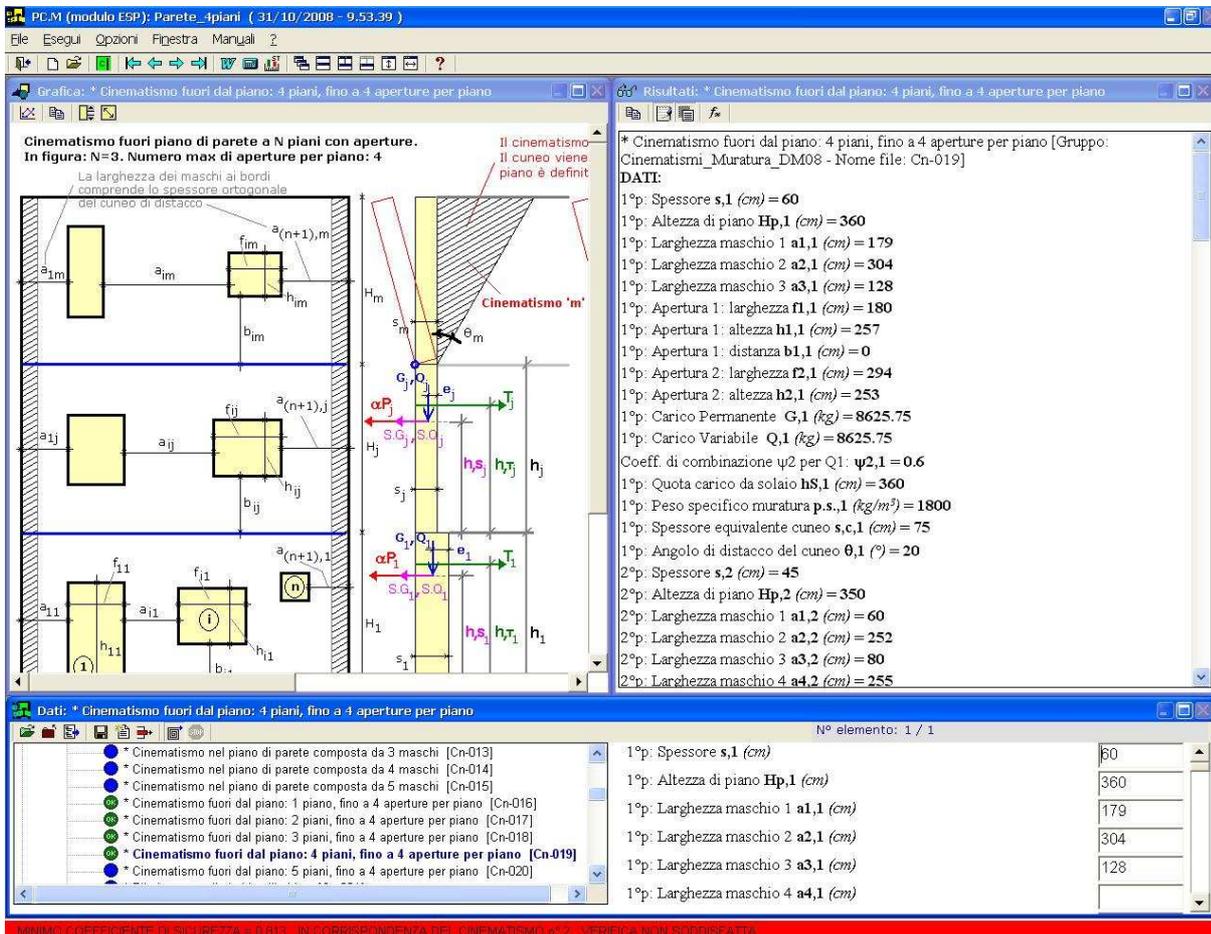


Fig. 27

In basso, l'etichetta in colore rosso indica il cinematicismo più sfavorevole (coefficiente di sicurezza $0.813 < 1.000$, corrispondente al cinematicismo n°2).

Il collegamento fra l'ambiente ESP e PC.M consente un'efficace visualizzazione dei cinematicismi interessanti la parete considerata.

Analizzando la parete corrispondente ad esempio al file: Parete_4piani per PC.M vengono generati appositi files dati contenenti tutti i cinematicismi generati, pari al numero dei piani (4, nel caso in esame). I files generati hanno il seguente nome:

$\backslash Aedes2009 \backslash Pcm \backslash Progetti \backslash Parete_4piani_Cinematismo_j.pcm$, dove $j=1,2,3,4$

Nella medesima cartella vengono inoltre creati alcuni files di appoggio contenenti i risultati (files da non modificare da parte dell'Utente):

$Parete_4piani_Cinematismi.ris, .cn1, .cn2$

Richiamando in PC.M il progetto Parete_4piani_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 cinematicismi generati.

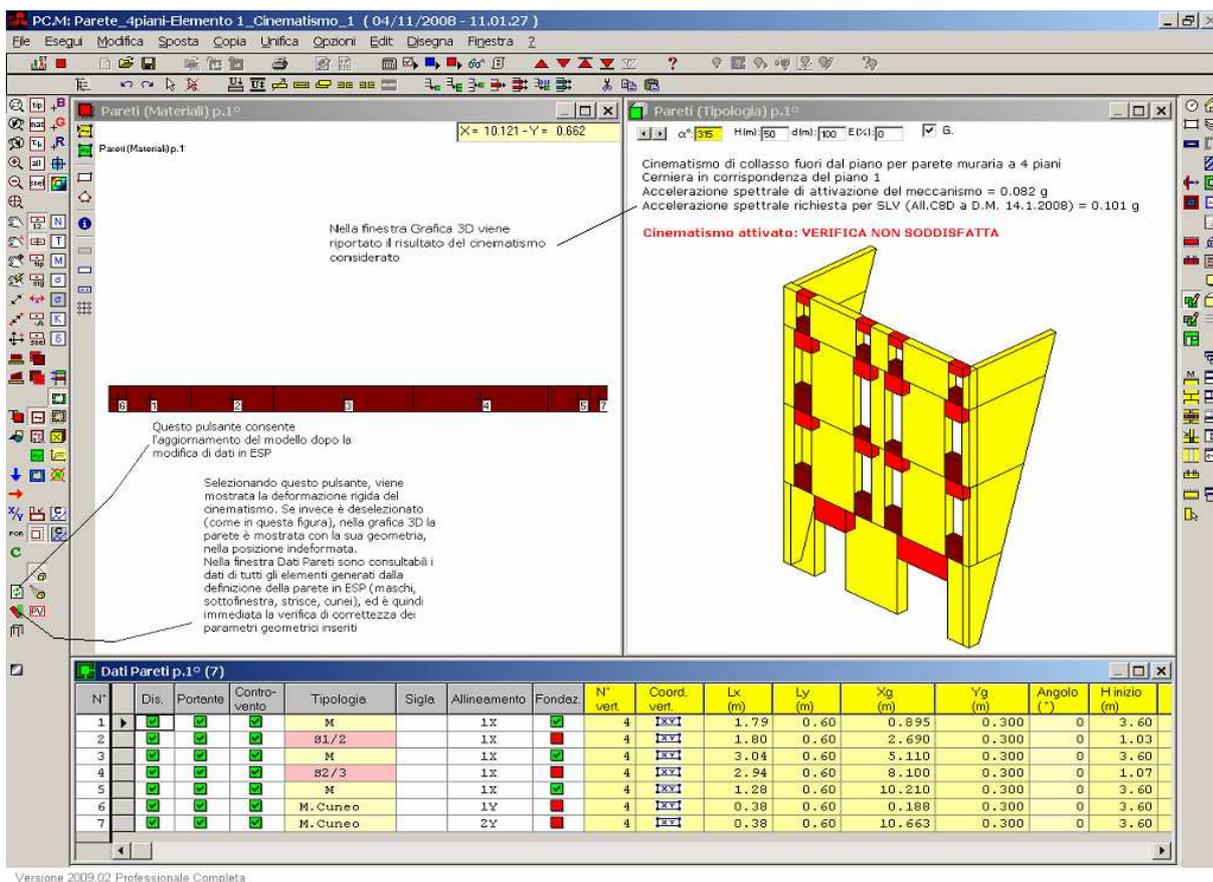


Fig. 28.

Selezionando il nuovo pulsante  della barra degli strumenti, viene mostrata la deformazione rigida del cinematismo (vd. figura seguente). Se invece tale pulsante è deselezionato (come in figura sopra), nella grafica 3D la parete è mostrata con la sua geometria, nella posizione indeformata. 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

Cinematismo di collasso fuori dal piano per parete muraria a 4 piani
Cerniera in corrispondenza del piano 1
Accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo = 0.082 g
Accelerazione spettrale richiesta per SLV (All.C8D a D.M. 14.1.2008) = 0.101 g

Cinematismo attivato: VERIFICA NON SODDISFATTA

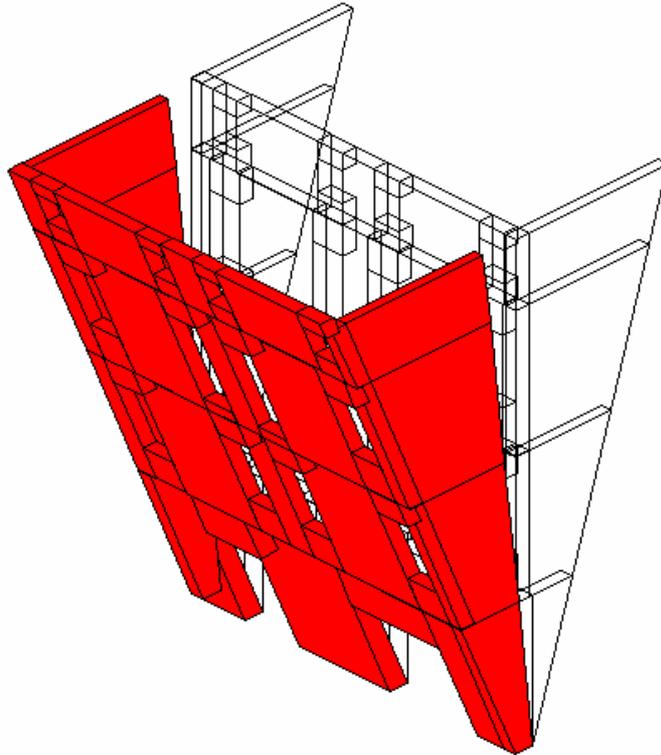


Fig. 29.

La finestra grafica 3D di PC.M visualizza in colore rosso i cinematismi non verificati; in verde, i cinematismi verificati: sono riportati in fig.29 il Cinematismo 1, in fig.30 il Cinematismo 2.

Cinematismo di collasso fuori dal piano per parete muraria a 4 piani
Cerniera in corrispondenza del piano 2
Accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo = 0.082 g
Accelerazione spettrale richiesta per SLV (All.C8D a D.M. 14.1.2008) = 0.101 g

Cinematismo attivato: VERIFICA NON SODDISFATTA

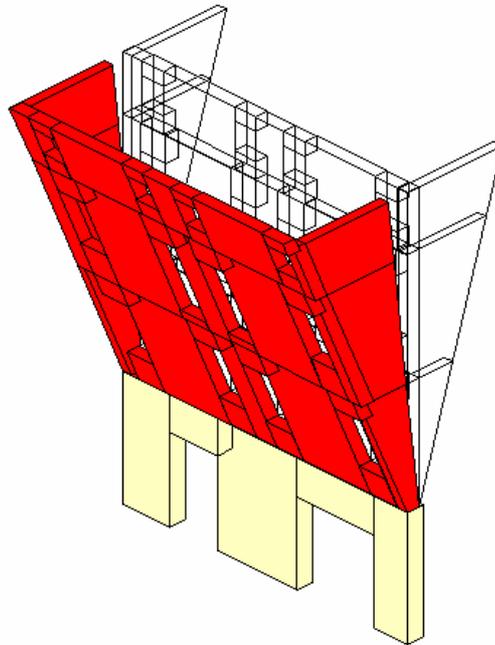


Fig. 30.

Cinematismo di collasso fuori dal piano per parete muraria a 4 piani
Cerniera in corrispondenza del piano 3
Accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo = 0.137 g
Accelerazione spettrale richiesta per SLV (All.C8D a D.M. 14.1.2008) = 0.110 g

Cinematismo non attivato: VERIFICA SODDISFATTA

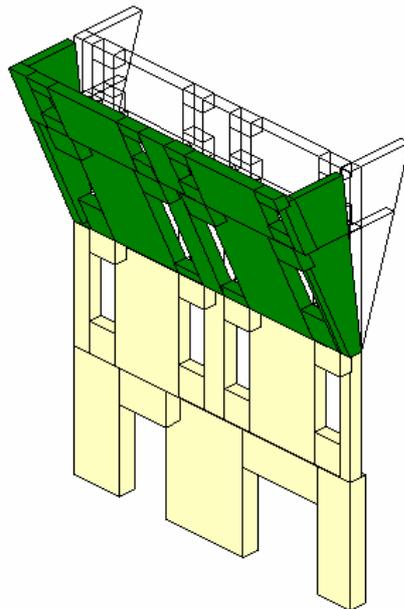


Fig. 31.

in fig.31 il Cinematismo 3, in fig.32 il Cinematismo 4

Cinematismo di collasso fuori dal piano per parete muraria a 4 piani
Cerniera in corrispondenza del piano 4
Accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo = 0.205 g
Accelerazione spettrale richiesta per SLV (All.C8D a D.M. 14.1.2008) = 0.140 g

Cinematismo non attivato: VERIFICA SODDISFATTA

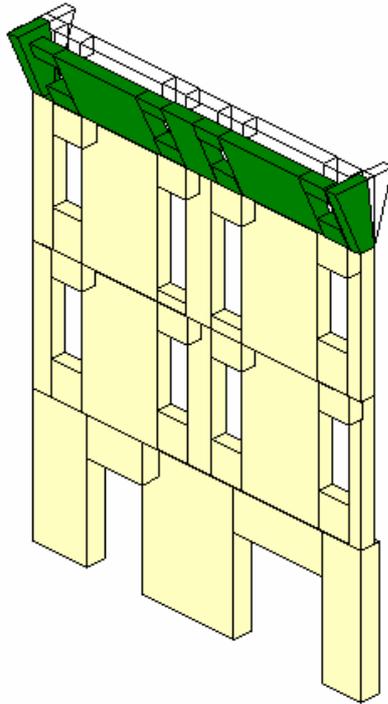


Fig. 32.

Come risulta dall'immagine, il cinematismo relativo al ribaltamento dell'ultimo piano è verificato. Nel caso esaminato, dal punto di vista progettuale, è evidente che la mancata verifica per i cinematismi sottostanti dipende dall'assenza di tiri stabilizzanti. Uno stato di progetto prevederà quindi la realizzazione di adeguati sistemi di tirantaggio. Il comando di Animazione del Cinematismo (menu Animazione della finestra Grafica 3D) permette di rappresentare dinamicamente l'instabilizzazione della struttura.

C.4. ESEMPI DI APPRENDIMENTO

PC.M-ESP, modulo dedicato alle verifiche locali con l'Analisi Cinematica Lineare, contiene 4 gruppi di 'elementi strutturali predefiniti' (= 'cinematismi'):

- 1) Cinematismi_Muratura_DM08,
- 2) Cinematismi_Muratura_DM96,
- 3) Cinematismi_Muratura_DM96_B82
- 4) Cinematismi_Muratura_OPCM3274.

001. Ribaltamento di parete monopiano
002. Ribaltamento di parete bipiano
003. Ribaltamento di parete a doppia cortina monopiano
004. Ribaltamento di parete a doppia cortina bipiano
005. Ribaltamento composto di parete monopiano
006. Ribaltamento di parete bipiano con cuneo
007. Flessione verticale di parete vincolata ai bordi
008. Flessione verticale di parete vincolata ai bordi con rinforzi in FRP
009. Flessione orizzontale di parete confinata
010. Flessione orizzontale di parete confinata con rinforzi in FRP
011. Cinematismo nel piano di Parete singola
012. Cinematismo nel piano di Parete composta da 2 maschi
013. Cinematismo nel piano di Parete composta da 3 maschi
014. Cinematismo nel piano di Parete composta da 4 maschi
015. Cinematismo nel piano di Parete composta da 5 maschi
016. Parete monopiano con aperture (fuori piano)
017. Parete di 2 piani con aperture (fuori piano)
018. Parete di 3 piani con aperture (fuori piano)
019. Parete di 4 piani con aperture (fuori piano)
020. Parete di 5 piani con aperture (fuori piano)
021. Ribaltamento di Abside cilindrica (fuori piano)
022. Ribaltamento di parete Longitudinale di una chiesa (fuori piano)
023. Ribaltamento di facciata di chiesa a tre navate (fuori piano)
024. Ribaltamento di facciata di chiesa a una navate (fuori piano)
025. Ribaltamento di timpano con formazione di cerniere oblique (fuori piano)

Il gruppo 2 è composto dai cinematismi 001,002, 003, 004, 005, 006 e 016, 017, 018, 019, 020, verrà trattato al punto 5.6.

Per l'illustrazione dettagliata di un esempio di apprendimento, si fa riferimento all'edificio denominato Salgari-6 (edificio scolastico esistente in muratura di mattoni pieni), descritto nella documentazione di PC.E, che è stato analizzato con analisi globale di tipo pushover. Nel presente contesto, a titolo illustrativo, interessa una parete (l'asta 2 [nodo 2 - nodo 45] del piano 1 [per cui la quota di base rispetto alle fondazioni si considera 0]), la quale viene sottoposta a verifica locale secondo le NTC2008 con i cinematismi di fig. 33 (analisi limite di parete vincolata ai bordi) e di fig. 34 (cinematismo complanare di parete singola). Si tratta del file di esempio *Salgari.esp* presente nella cartella progetti del modulo Esp.

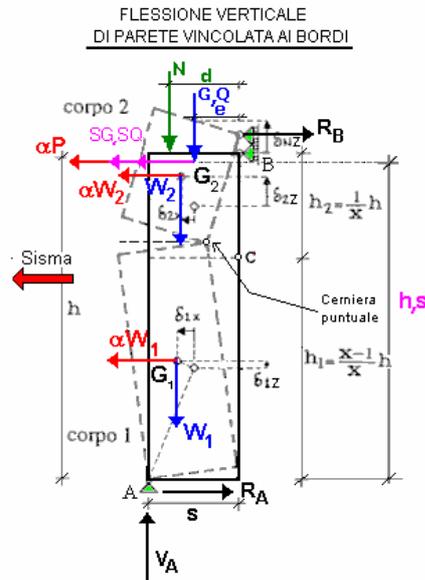


Fig. 33.

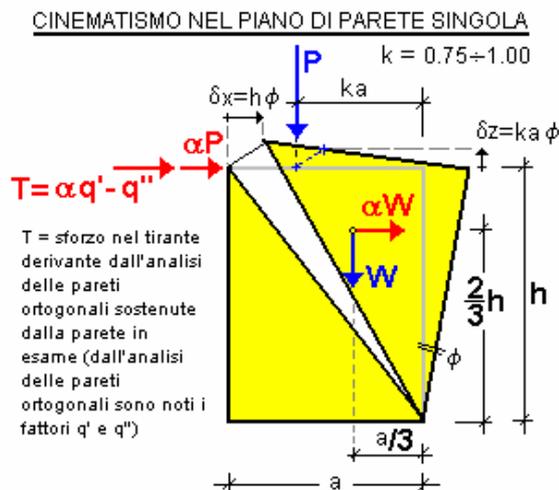


Fig. 34.

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, analogamente alle verifiche a ribaltamento condotte con PC.M, 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.

Le caratteristiche geometriche della parete considerata sono le seguenti:

sezione: $a=290$ cm, $s=45$ cm, $h=463$ cm.

Altri dati del problema: $a, g = 0.25$ g, $S=1.25$.

Spettro elastico SLV adimensionale $Se'(T1) = 2.084$

Numero di piani $N = 1$; Coefficiente di partecipazione modale $\gamma = 1$

Fattore di Confidenza $FC = 1.35$.

Da un'analisi lineare statica (non sismica) si ricava lo sforzo normale in sommità (al nodo 45), pari a: $N = 29049$ kgf, mentre alla base (nodo 2) si ha: $N = 39925$ kgf; la differenza, pari a 10876 kgf, corrisponde al peso proprio della parete ($0.45 \cdot 2.90 \cdot 4.63 \cdot 1800 = 10876$).

Lanciato PC.M, si attivi l'Analisi Cinematica Lineare (finestra Progetto, menu Esegui; barra degli strumenti: ) , che apre il modulo ESP, l'ambiente dedicato appunto a tale analisi.

Il Manuale d'uso di ESP, reperibile nel menu Manuali del modulo ESP stesso, illustra esaurientemente le caratteristiche operative del software; nel presente contesto verranno descritti alcuni dei passaggi fondamentali per l'esecuzione di una tipica verifica di analisi cinematica.

Nella finestra Dati, in basso, si apra l'elenco a discesa:

Cinematismi_Muratura_DM08

e si scelga il cinematismo desiderato, p.es. Analisi limite di parete vincolata ai bordi con rinforzi in FRP [Co-008]. La schermata si presenta ora con l'aspetto di fig. 35.

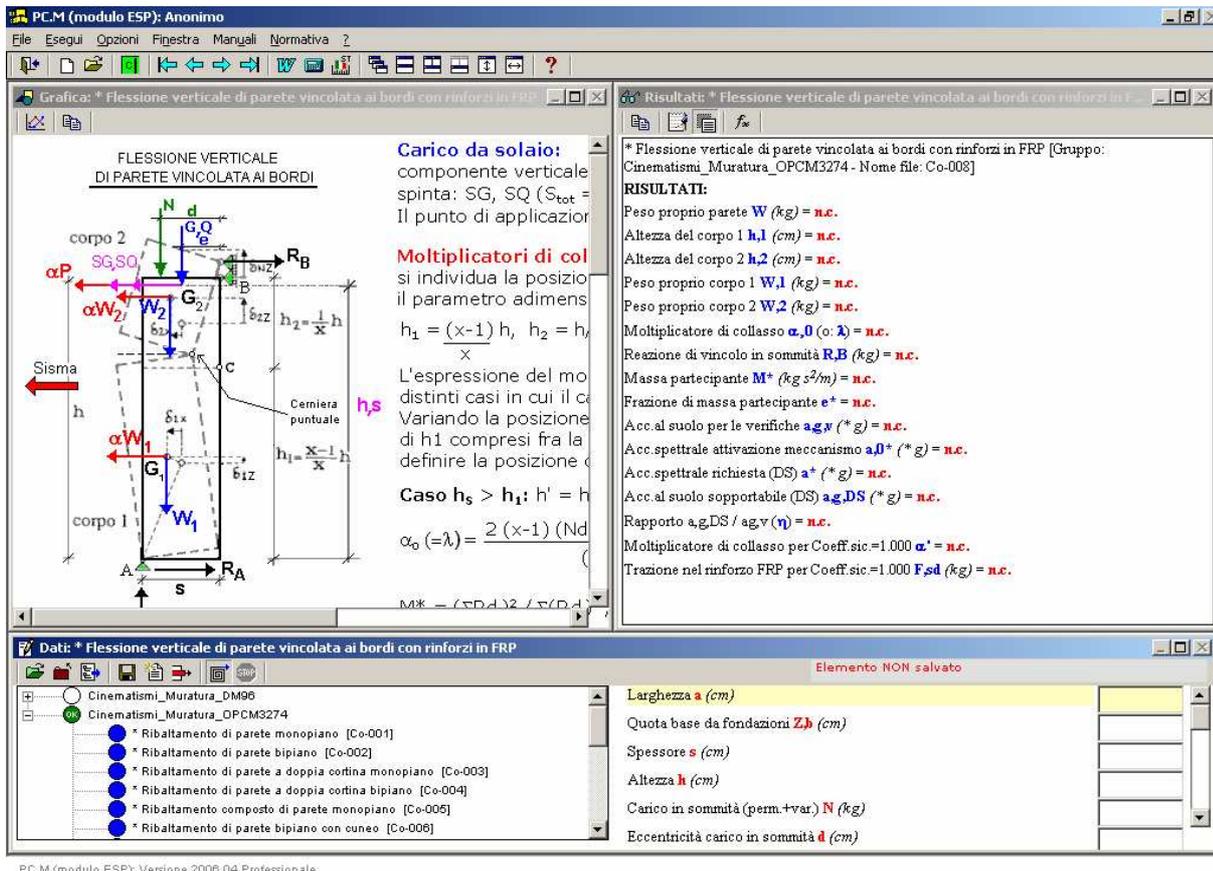


Fig. 35.

In alto a sinistra la figura (fissa) identifica graficamente il cinematismo esaminato e spiega il modello di calcolo e la procedura di verifica; in basso a destra si trova la zona di inserimento dati, mentre sopra sono riportati i risultati, calcolati in tempo reale, cioè interattivamente, con la modifica dei dati.

Si inizi quindi l'inserimento dei dati. Per spostare il cursore verso il basso da un campo dati all'altro, si usi il tasto Tab (che automaticamente conferma il dato inserito), per spostare il cursore verso l'alto si usino contemporaneamente i tasti Shift + Tab.

Si osservi come i risultati si aggiornano automaticamente con il progressivo inserimento dei dati. Immediatamente, quindi, si visualizza il risultato della verifica di sicurezza, espresso anche sottoforma di coefficiente di sicurezza η dato dal rapporto fra l'accelerazione sismica spettrale e l'accelerazione sismica richiesta (affinché la verifica sia soddisfatta occorre che η sia > 1).

I pulsanti della barra degli strumenti della finestra Risultati consentono la rappresentazione completa dei dati insieme ai risultati, e delle formule che definiscono i risultati. Conviene quindi utilizzarli, per visualizzare in modo completo dati e risultati, dopodiché il contenuto della finestra Risultati può essere copiato in memoria (comando Copia negli Appunti del menu Esegui, menu che si attiva facendo clic sulla finestra) e successivamente incollato in un proprio documento (p.es. di Word) destinato alla relazione di calcolo. Anche l'immagine può essere copiata e incollata. In tal modo si ottiene velocemente una relazione professionale come quella riportata qui di seguito:

* Flessione verticale di parete vincolata ai bordi con rinforzi in FRP [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM08 - Nome file: Cn-008]

DATI:

Larghezza **a** (cm) = **290**

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

Altezza **h** (cm) = **463**

Carico in sommità (perm.+var.) **N** (kg) = **29049**

Eccentricità carico in sommità **d** (cm) = **5**

Quota carico da solaio **h,S** (cm) = **0**

Peso specifico muratura **p.s.** (kg/m³) = **1800**

Quota cerniera (0 = calcolo automatico) **h,c** (cm) = **0**

Acc. al suolo di riferimento **a,g,rif** (* g) = **0.25**

Fattore di importanza **γ,I** = **1**

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche (S = Ss St): **S** = **1.25**

Spettro elastico SLV adimensionale (Se(T1) / a,g,rif): **Se'(T1)** = **2.084**

Numero di piani dell'edificio **N** = **1**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1**

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

RISULTATI:

Peso proprio **W** (kg) = **10876**

Altezza del corpo 1 **h,1** (cm) = **360**

Altezza del corpo 2 **h,2** (cm) = **103**

Peso proprio corpo 1 **W,1** (kg) = **8468**

Peso proprio corpo 2 **W,2** (kg) = **2408**

Moltiplicatore di collasso **α,0** (o: **λ**) = **1.177**

Reazione di vincolo in sommità **R,B** (kg) = **-1891**

Massa partecipante **M*** (kg s²/m) = **1109**

Frazione di massa partecipante **e*** = **1.000**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (* g) = **0.872**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1R** (* g) = **0.156**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,1D** (* g) = **0.000**

Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,1** (* g) = **0.156**

Coefficiente di sicurezza SLV **η,1** = **5.580**

Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,1** = **1.395**

Moltiplicatore di collasso per Coeff.sic.=1.000 **α'** = **0.211**

Trazione nel rinforzo FRP per Coeff.sic.=1.000 **F,sd** (kg) = **0**

Per salvare i dati, usare il pulsante grafico della finestra Dati: Salva Elemento corrente, che richiede un nome (p.es. Salgari). Tale nome viene assunto come denominazione del progetto corrente, progetto che sarà riapribile in sessioni di lavoro successive.

Si scelga ora, dall'elenco a discesa, un altro meccanismo di collasso: il cinematismo nel piano di parete singola [Co-011].

Si desidera infatti esaminare la stessa parete dell'esempio precedente, ma sottoposta a cinematismo complanare.

Per casi di questo tipo, vi sono delle grandezze i cui valori sono specificati nei testi di riferimento.

In particolare:

$k = 0.75 - 1.00$ è utilizzato per rappresentare nel piano la posizione del carico in sommità.

Si dovrebbe porre: $k=1.00$ osservando che nella rotazione del pannello attorno al vertice A, il vertice opposto si solleva e il contatto con la porzione superiore del muro si concentra in quel punto. Sperimentalmente, però, sono state osservate deformazioni locali che spostano tale contatto verso il bordo compresso, e convenzionalmente (ma a favore di sicurezza) si può assumere $k=0.75$.

I fattori q' e q'' sono legati al cinematismo studiato per le pareti ortogonali stabilizzate da tiranti il cui tiro viene ricondotto alle pareti reagenti nel piano. Di fatti, nello studio del cinematismo complanare non si può prescindere dall'azione dovuta a tali tiranti, qualora siano presenti.

Vediamo quindi il significato fisico dei fattori q' e q'' , aventi le dimensioni di forza.

Tramite il cinematismo di ribaltamento della parete monopiano (Cn-001) applicato alla parete ortogonale, è possibile calcolare il tiro T^* per cui si abbia coefficiente di sicurezza $\eta=1.00$, cioè il minimo tiro necessario per la stabilità sismica.

Dal principio dei lavori virtuali sappiamo infatti che:

$$\alpha_0 * MomRib1 + MomRib2 - MomStab = 0$$

Il momento stabilizzante può essere riscritto evidenziando la quota parte relativa alla sola muratura e l'altra corrispondente all'azione del tirante:

$$MomStab = M_{Stab\ sola\ mur.} + T * h,T$$

dove in questo caso particolare:

$$M_{Stab\ sola\ mur.} = W*(s,1/2 - x,C) + Pstat,1*(s,1 - x,C - Ecc)$$

$$\text{e quindi: } T^* = [\alpha_0 * MomRib1 + MomRib2 - M_{Stab\ sola\ mur.}] / h,T$$

Qualora risulti $T^* < 0$, ovviamente: $T^* = 0$, e ciò significa che la resistenza sismica propria della parete muraria, grazie all'ampiezza della sua base di appoggio, è sufficiente a garantire la stabilità senza l'intervento del tirante.

Inoltre, per un dato valore del moltiplicatore di collasso α si ha sempre:

$$T = \alpha q' - q''$$

$$\text{dove: } q' = MomRib1 / h,T, \text{ e: } q'' = M_{Stab\ sola\ mur.} - MomRib2 / h,T$$

L'espressione del tiro: $T = \alpha q' - q''$ è particolarmente utile per lo studio del cinematismo della parete complanare alla quale il tirante riporta lo sforzo. Le quantità q' e q'' sono infatti, in tal caso, richieste in input (ovviamente in caso di presenza di tirante).

Per i casi di cinematismo ortogonale di ribaltamento con sommità vincolata da tirante, utilizzando il caso della parete monopiano, ESP fornisce fra i risultati i valori di q' e q'' da usarsi nelle verifiche del cinematismo complanare delle pareti cui i tiranti riportano lo sforzo.

Nel caso dell'esempio, la parete non è interessata da azioni di tiranti provenienti da pareti ad essa ortogonali, e quindi si specificheranno valori nulli: $q'=0$ e $q''=0$.

Completando i dati in input per il cinematismo complanare della parete, si ottiene un coefficiente di sicurezza $\eta,1 = 2.180$.

* Cinematismo nel piano di parete singola [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM08 - Nome file: Cn-011]

DATI:

Larghezza **a** (cm) = **290**

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

Altezza **h** (cm) = **463**

Carico in sommità (perm.+var.) **P** (kg) = **29049**

Coefficiente k (posizione P): **k** = **0.75**

Fattore q' t.c. $T = \alpha q' - q''$: **q'** (kg) = **0**

Fattore q'' t.c. $T = \alpha q' - q''$: **q''** (kg) = **0**

Peso specifico muratura **p.s.** (kg/m^3) = **1800**

Acc. al suolo di riferimento **a,g,rif** (* g) = **0.25**

Fattore di importanza **γ, I** = **1**

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche (S = Ss St): **S** = **1.25**

Spettro elastico SLV adimensionale (Se(T1) / a,g,rif): **Se'(T1)** = **2.084**

Numero di piani dell'edificio **N** = **1**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1**

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

RISULTATI:

Peso proprio cuneo **W** (kg) = **5438**

Peso totale (P + p.p.cuneo W) **Ptot** (kg) = **34487**

Momento Stabilizzante **M_S** (kgm) = **68438.24**

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **M_R** (kgm) = **151282.00**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha, 0$** = **0.452**

Massa partecipante **M*** (kg^2/m) = **3460**

Frazione di massa partecipante **e*** = **0.984**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (* g) = **0.341**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1R** (* g) = **0.156**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,1D** (* g) = **0.000**

Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,1** (* g) = **0.156**

Coefficiente di sicurezza SLV **$\eta, 1$** = **2.180**

Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,1** = **0.545**

Il motore ESP in realtà consente altre interessanti operazioni. Poiché un qualunque dato può essere espresso in formato variabile, è possibile visualizzare i diagrammi di tutti i risultati rispetto al dato variabile.

Può quindi essere interessante, per la parete in esame, determinare per esempio la massima accelerazione a_g che, a parità degli altri parametri, assicura la stabilità della parete.

Al posto del dato: 0.25, si può ad esempio specificare:

0.20,0.50,0.005

che significa: esamina l'insieme di tutti i valori di accelerazione a_g che vanno da 0.25 a 0.50 g, per incrementi di 0.005.

Nella finestra Risultati, i valori si riferiscono all'ultimo processato (0.50 g), ma ora interessa il diagramma di variazione del coefficiente di sicurezza rispetto ad a_g .

Si attivi la finestra Grafica (a sinistra, recante l'immagine del cinematismo) e si scelga da menu Finestra il comando: Grafici Dati-Risultati. Qualora l'immagine sia 'piena' a causa del piccolo incremento utilizzato, si può massimizzare la finestra Grafica, per leggere meglio il grafico.

La barra degli strumenti della finestra 'Grafici Dati-Risultati' consente la navigazione fra tutti i diagrammi (Accelerazione a_g - Risultato generico) prodotti dall'elaborazione.

In particolare, utilizzando il comando del menu Opzioni (si visualizzino i comandi di menu per apprendere il significato dei pulsanti grafici della barra degli strumenti): 'Ultimo Grafico', si visualizza il grafico del coefficiente di sicurezza η in funzione di a_g , riportato in fig. 36.

Si rileva così che il coefficiente diventa 1.00 in corrispondenza di $a_g = 0.60$ g.

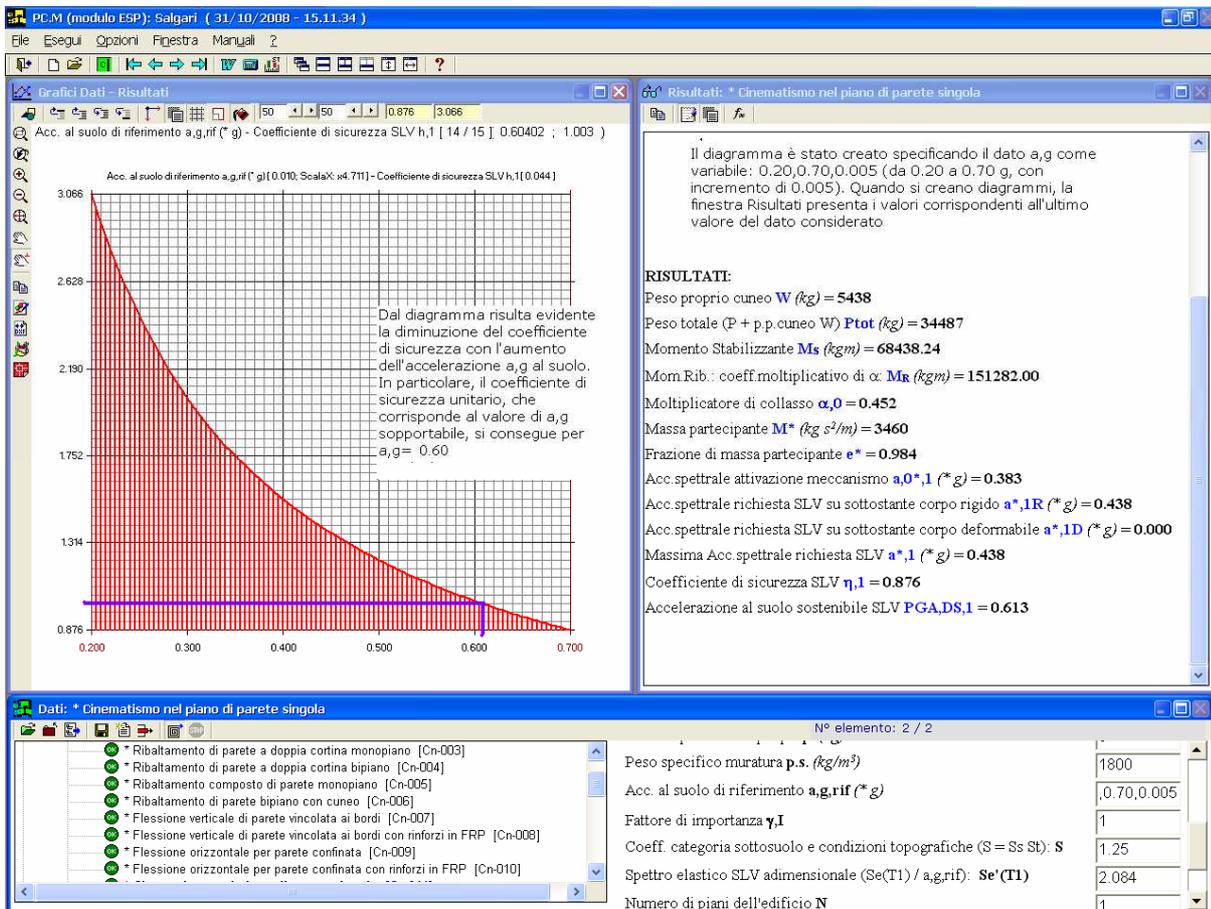


Fig. 36.

Esportando su DXF un diagramma, è possibile rilevare in CAD con esattezza ogni valore desiderato.

L'applicazione di questa tecnica di elaborazione è molto utile per varie altre considerazioni, ad esempio per la ricerca del minimo spessore o del minimo carico in sommità che assicurano la stabilità.

La generazione di grafici dei risultati in dipendenza di un dato variabile è una funzionalità specifica del motore ESP, che nel software PC.S è estesa a problemi strutturali generici.

C.5. ESEMPI E TEST DI VALIDAZIONE

Come ulteriori esempi completamente svolti secondo NTC2008 si riportano i seguenti casi:

C.5.1.) RIBALTAMENTO DI PARETE BIPIANO;

C.5.2.) FLESSIONE VERTICALE DI PARETE VINCOLATA AI BORDI;

C.5.3.) FLESSIONE ORIZZONTALE DI FASCIA MURARIA EFFICACEMENTE CONFINATA.

Si riporta inoltre un caso completamente svolto allo stato attuale e allo stato di progetto secondo NTC08 di una chiesa ad una navata:

C.5.4.) ESEMPIO DI ANALISI DI CHIESA AD UNA NAVATA CON NTC2008.

Riguardo alle normative precedenti le NTC08 si riporta un caso completamente svolto allo stato attuale e allo stato di progetto , secondo DM'96 e OPCM3274, con esempio di compilazione di schede di accompagnamento al Progetto esecutivo della Regione Molise:

C.5.5.) ESEMPIO DI INTERVENTO SU CASO SPECIFICO – STATO ATTUALE E STATO DI PROGETTO – SECONDO DM'96 E OPCM 3274 – COMPILAZIONE SCHEDA DI ACCOMPAGNAMENTO AL PROGETTO ESECUTIVO.

Nella parte finale si trovano:
alcune

C.5.6.) OSSERVAZIONI COMPLEMENTARI; reative alle Normative;

un approfondimento su una particolare interpretazione del DM'96 diversa da quanto seguito precedentemente, con degli esempi completamente svolti:

C.5.7.) OSSERVAZIONI SU DM'96 PUNTO B.8.2: VERIFICHE DEL SECONDO GRUPPO;

Infine riportiamo un test di validazione eseguito con l'OPCM3274

C.5.8.) TEST DI VALIDAZIONE: PARETE SU 2 PIANI.

C.5.1. RIBALTAMENTO DI PARETE BIPIANO

(Esempio tratto da [6], pag.20)

Si tratta di un edificio di due piani la cui geometria è riportata in figura, si vuole valutare la sicurezza al ribaltamento di tutta la parete rispetto alla base.
(vedi File: Es_2009_Cinem_DM08, elemento 2)

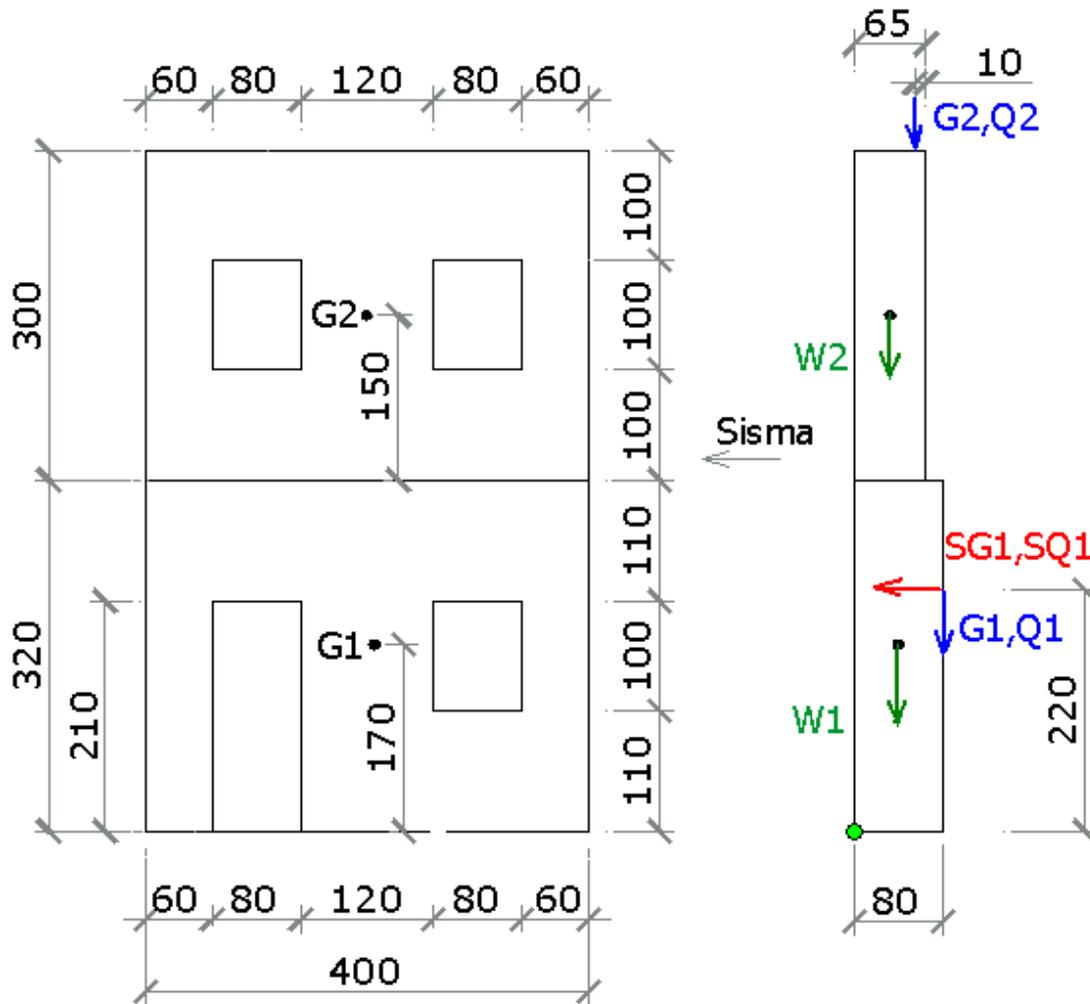


Fig. 37.

PARETE 1 (Piano Terreno)

Larghezza del setto: $a = 400$ cm
 Spessore $s_1 = 80$ cm
 Altezza $h_1 = 320$ cm
 Carico Permanente $G_1 = 4000$ kg
 Carico Variabile $Q_1 = 2700$ kg
 Eccentricità carico $e_1 = 0$
 Spinta Permanente $SG_1 = 2600$ kg
 Spinta Variabile $SQ_1 = 1260$ kg
 Quota carico da solaio $h_{S1} = 220$ cm
 Peso specifico muratura $p.s._1 = 2200$ kg/mc
 Peso Proprio Parete 1, $W_1 = 17960$ kg
 Quota baricentro da base1 $z_{G1} = 170$ cm

PARETE 2 (Piano Primo)

Spessore $s_2 = 65$ cm
 Altezza $h_2 = 300$ cm

Carico Permanente $G,2 = 1500 \text{ kg}$
 Carico Variabile $Q,2 = 700 \text{ kg}$
 Eccentricità carico $e,2 = 10 \text{ cm}$
 Quota carico da solaio $h,S2 = 300 \text{ cm}$
 Peso specifico muratura p.s.,2 = 2200 kg/mc
 Peso Proprio Parete 2, $W2 \text{ (kg)} = 14880 \text{ kg}$
 Quota baricentro da base2 $z,G2 = 150 \text{ cm}$

Calcolo moltiplicatore di collasso α_0

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)

Piano primo:

$$P,1 = G,1 + Q,1 = 4000 + 2700 = 6700 \text{ kg}$$

Piano secondo:

$$P,2 = G,2 + Q,2 = 1500 + 700 = 2200 \text{ kg}$$

$$P_{tot,1} = W,1 + W,2 + P_{stat,1} + P_{stat,2} = 17960 + 14880 + 6700 + 2200 = 41740 \text{ kg}$$

Il moltiplicatore di collasso α_0 è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_0 * MomRib1 + MomRib2 - MomStab = 0$$

dove il momento Stabilizzante è dato da:

$$MomStab = W,1 * (s,1 / 2) + W,2 * (s,2 / 2) + P_{stat,1} * (s,1 - e,1) + P_{stat,2} * (s,2 - e,2) = 17960 * (0.80 / 2) + 14880 * (0.65 / 2) + 6700 * (0.80 - 0) + 2200 * (0.65 - 0.10) = 18590 \text{ kg*m}$$

il coefficiente moltiplicativo di α_0 è dato da:

$$MomRib1 = W,1 * z,G1 + W,2 * (h,1 + z,G2) + P,1 * h,S1 + P,2 * (h,1 + h,S2) = 17960 * 1.70 + 14880 * (3.20 + 1.50) + 6700 * 2.20 + 2200 * (3.20 + 3.00) = 128848 \text{ kg*m}$$

e la parte del momento ribaltante indipendente dal moltiplicatore di collasso è:

$$MomRib2 = (SG,1 + SQ,1) * h,S1 = (2600 + 1260) * 2.20 = 8492 \text{ kg*m}$$

il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_0 = (MomStab - MomRib2) / MomRib1 = (18590 - 8492) / 128848 = 0.078$$

Verifica secondo NTC 2008

Fattore di importanza $\gamma_I = 1$

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche ($S = S_s St$): $S = 1$

Spettro elastico SLV adimensionale ($Se(T1) / a_{g,rif}$): $Se'(T1) = 2.084$

Numero di piani dell'edificio $N = 2$

Coefficiente di partecipazione modale $\gamma = 1.2$

Fattore di Confidenza $FC = 1.35$

Essendo una verifica locale si preferisce considerare la totalità del carico agente, perciò

Si pongono i coefficienti moltiplicativi dei sovraccarichi " $\psi,2i$ " pari a 1.

Piano primo:

$$\text{Carico da solaio: } P,1 = G,1 + \psi,21 * Q,1 = 4000 + 2700 = 6700 \text{ kg}$$

Piano secondo:

$$\text{Carico statico da solaio: } P,2 = G,2 + \psi,22 * Q,2 = 1500 + 700 = 2200 \text{ kg}$$

$$P_{tot,1} = W,1 + W,2 + P_{stat,1} + P_{stat,2} = 17960 + 14880 + 6700 + 2200 = 41740 \text{ kg}$$

Così si può procedere con la procedura di calcolo ricavando:
la Massa partecipante:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}^*,\mathbf{1} &= \text{MomRib1}^2 / g * (W_1 z_{G1}^2 + W_2 (h_1 + z_{G2})^2 + P_1 h_{S1}^2 + P_2 (h_1 + h_{S2})^2 = \\ &= 128848^2 / 9.81 * (17960 * 1.70^2 + 14880 * 4.70^2 + 6700 * 2.20^2 + 2200 * 6.20^2) \\ &= 3401 \text{ kg} * \text{s}^2 / \text{m} \end{aligned}$$

la Frazione di massa partecipante:

$$\mathbf{e}^*,\mathbf{1} = g \mathbf{M}^* / \text{Ptot},\mathbf{1} = 9.81 * 3401 / 41740 = 0.799$$

L' Altezza della struttura da fondazioni:

$$\mathbf{H},\mathbf{f1} = (z_{,B} + h_1 + h_2) = 0 + 320 + 300 = 620 \text{ cm}$$

L'Acc.spettrale attivazione meccanismo:

$$\mathbf{a},\mathbf{0}^*,\mathbf{1} = \alpha_{,0,1} g / (\mathbf{e}^*,\mathbf{1} \text{ FC}) = 0.078 / (0.799 * 1.35) = 0.072 \text{ g}$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido:

$$\mathbf{a}^*,\mathbf{1R} = (a_{,g,rif} \gamma_{,I} S / 2) = 0.25 * 1 * 1 / 2 \text{ g} = 0.125 \text{ g}$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile $\mathbf{a}^*,\mathbf{1D}$ in questo caso è pari a 0 e quindi la Massima Acc.spettrale richiesta SLV $\mathbf{a}^*,\mathbf{1} = (\max \{ \mathbf{a}^*,\mathbf{1R} ; \mathbf{a}^*,\mathbf{1D} \}) = 0.125 \text{ g}$

Coefficiente di sicurezza SLV

$$\eta,\mathbf{1} = a_{,0}^*,\mathbf{1} / \mathbf{a}^*,\mathbf{1} = 0.072 / 0.125 = 0.576$$

Accelerazione al suolo sostenibile SLV

$$\mathbf{PGA},\mathbf{DS},\mathbf{1} = \eta,\mathbf{1} a_{,g,rif} = 0.576 * 0.25 = 0.144$$

Analisi cinematica eseguita con PC.M secondo DM08

Immettendo gli stessi dati nel file Cn-002 del Gruppo Cinematismi_Muratura_DM08 si ottiene (vedi File: Es_2009_Cinem_DM08, elemento 2)

* Ribaltamento di parete bipiano [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM08 - Nome file: Cn-002]

DATI:

Larghezza \mathbf{a} (cm) = **400**

Spessore $\mathbf{s},\mathbf{1}$ (cm) = **80**

Altezza $\mathbf{h},\mathbf{1}$ (cm) = **320**

Carico Permanente $\mathbf{G},\mathbf{1}$ (kg) = **4000**

Carico Variabile $\mathbf{Q},\mathbf{1}$ (kg) = **2700**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q,1: $\psi_2,\mathbf{1} = \mathbf{1}$

Eccentricità carico $\mathbf{e},\mathbf{1}$ (cm) = **0**

Spinta Permanente $\mathbf{S},\mathbf{G1}$ (kg) = **2600**

Spinta Variabile $\mathbf{S},\mathbf{Q1}$ (kg) = **1260**

Quota carico da solaio $\mathbf{h},\mathbf{S1}$ (cm) = **220**

Peso specifico muratura $\mathbf{p.s.},\mathbf{1}$ (kg/m³) = **2200**

Peso Proprio $\mathbf{W},\mathbf{1}$ (kg) = **17960**

Quota baricentro da base 1 $\mathbf{z},\mathbf{G1}$ (cm) = **170**

Spessore $\mathbf{s},\mathbf{2}$ (cm) = **65**

Altezza $\mathbf{h},\mathbf{2}$ (cm) = **300**

Carico Permanente $\mathbf{G},\mathbf{2}$ (kg) = **1500**

Carico Variabile $\mathbf{Q},\mathbf{2}$ (kg) = **700**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q,2: $\psi_2,\mathbf{2} = \mathbf{1}$

Eccentricità carico $\mathbf{e},\mathbf{2}$ (cm) = **10**

Quota carico da solaio $\mathbf{h},\mathbf{S2}$ (cm) = **300**

Peso specifico muratura **p.s.,2** (kg/m^3) = **2200**

Peso Proprio **W,2** (kg) = **14880**

Quota baricentro da base **z,G2** (cm) = **150**

Acc. al suolo di riferimento **a,g,rif** (* g) = **0.25**

Fattore di importanza **γ ,I** = **1**

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche (S = Ss St): **S** = **1**

Spettro elastico SLV adimensionale (Se(T1) / a,g,rif): **Se'(T1)** = **2.084**

Numero di piani dell'edificio **N** = **2**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1.2**

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

RISULTATI:

Carico da solaio **P,1** (kg) = $G,1 + \psi_{2,1} * Q,1$ = **6700**

Peso proprio **W,1** (kg) = $W,1$ = **17960**

Carico da solaio **P,2** (kg) = $G,2 + \psi_{2,2} * Q,2$ = **2200**

Peso proprio **W,2** (kg) = $W,2$ = **14880**

Peso totale **Ptot,1** (kg) = $W,1+P,1 + W,2+P,2$ = **41740**

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C1** (cm) = $2 * Pstat,tot,1 / (a * \sigma,c1)$ = **0.0**

Momento Stabilizzante **M_{s,1}** (kgm) = $W,1 (s,1/2-x,C1) + W,2 (s,2/2-x,C1) + P,1 (s,1-x,C1-e,1) + P,2 (s,2-x,C1-e,2) + T,1 h,T1 + T,2 (h,1+h,T2)$ = **18590.00**

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **M_{R1,1}** (kgm) = $M_{R1,1} = W,1 z,G1 + W,2 (h,1+z,G2) + P,1 h,S1 + P,2 (h,1+h,S2)$, con: $M_{R,1} = \alpha * M_{R1,1} + M_{R2,1}$ = **128848.00**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2,1}** (kgm) = $M_{R2,1} = (S,G1 + \psi_{2,1} * S,Q1) h,S1 + (S,G2 + \psi_{2,2} * S,Q2) (h,1+h,S2)$, con: $M_{R,1} = \alpha * M_{R1,1} + M_{R2,1}$ = **8492.00**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha,0,1$** (o: **$\lambda,1$**) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1}$ = **0.078**

Massa partecipante **M*,1** ($kg s^2/m$) = $M_{R1,1}^2 / (g (W,1 z,G1^2 + W,2 (h,1+z,G2)^2 + P,1 h,S1^2 + P,2 (h,1+h,S2)^2))$ = **3402**

Frazione di massa partecipante **e*,1** = $g M^*,1 / Ptot,1$ = **0.799**

Altezza struttura da fondazioni **H,f1** (cm) = $(Z,b + h,1 + h,2)$ = **620**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (* g) = $\alpha,0,1 g / (e^*,1 FC)$ = **0.073**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1R** (* g) = $(a,g,rif \gamma,I S / 2)$ = **0.125**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,1D** (* g) = $(a,g,rif \gamma,I Se'(T1) (Zb / H,f1) \gamma / 2)$ = **0.000**

Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,1** (* g) = $(\max \{ a^*,1R ; a^*,1D \})$ = **0.125**

Coefficiente di sicurezza SLV **$\eta,1$** = $a,0^*,1 / a^*,1$ = **0.581**

Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,1** = $\eta,1 a,g,rif$ = **0.145**

I risultati coincidono con quanto calcolato precedentemente e con i risultati presenti nell'esempio in bibliografia.

In PC.M inoltre è possibile:

- rimuovere l'ipotesi di resistenza a compressione infinita della muratura e quindi, inserito l'opportuno valore di resistenza, si può considerare l'effetto del relativo arretramento della cerniera verso l'interno.
- utilizzando il file CN-017 relativo al ribaltamento di pareti bipiano con aperture si possono ottenere gli stessi risultati dell'esempio in bibliografia sia per il cinematicismo qui considerato di ribaltamento dell'intera parete con formazione di cerniera al piede sia per il cinematicismo di ribaltamento della sola parete del piano primo con formazione di cerniera all'altezza del solaio intermedio.

C.5.2. FLESSIONE VERTICALE DI PARETE VINCOLATA AI BORDI

(Esempio tratto da [6], pag.33)

(vedi File: Es_2009_Cinem_DM08, elemento 8)

Si vuole valutare la sicurezza rispetto alla formazione di una cerniera orizzontale intermedia nella parete piena riportata in figura, i dati sono in cm.

Dapprima si ricerca il moltiplicatore di collasso e poi si effettuano le verifiche di normativa secondo il DM08

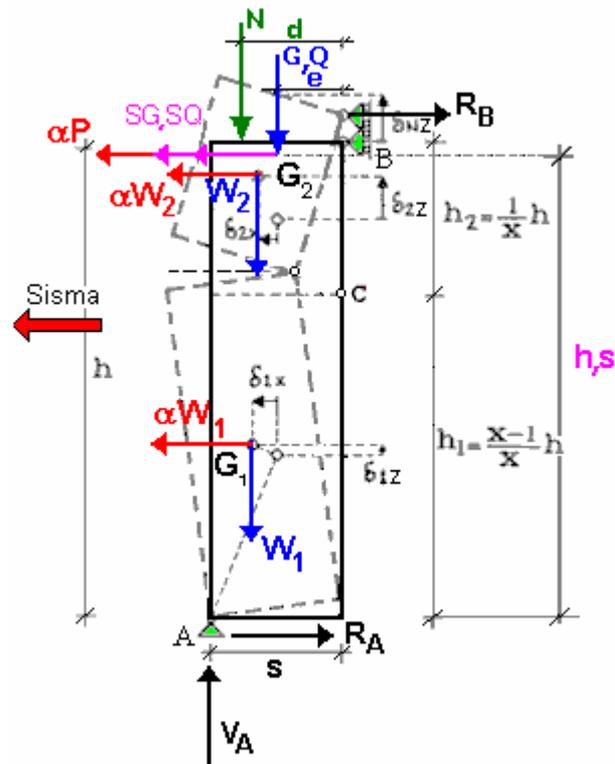


Fig. 38.

DATI:

Larghezza della parete $a = 110$ cm
 Spessore della parete $s = 50$ cm
 Altezza della parete $h = 320$ cm
 Carico in sommità (perm.+var.) $N = 3145$ kg
 Eccentricità carico in sommità $d = 33$ cm
 Carico Permanente da solaio $G = 1200$ kg
 Carico Variabile da solaio $Q = 645$ kg
 Eccentricità carico da solaio $e = 0$ cm
 Spinta Permanente $SG = 700$ kg
 Spinta Variabile $SQ = 360$ kg
 Quota carico da solaio $h,S = 220$ cm
 Peso specifico muratura p.s. = 2200 kg/mc

Calcolo moltiplicatore di collasso α_0

Peso proprio della parete:

$$W = p.s. * (a * s * h) = 2200 * 1.10 * 0.50 * 3.20 = 3872 \text{ kg}$$

Carico totale da solaio:

$$P = G + Q = 1200 + 645 = 1845 \text{ kg}$$

Spinta totale:

$$S_{tot} = SG + SQ = 700 + 360 = 1060 \text{ kg}$$

Peso totale:

$$P_{tot} = N + P + W = 3145 + 1845 + 3872 = 8862 \text{ kg}$$

Per definire la posizione verticale della cerniera occorre introdurre il parametro adimensionale

$$x = (h / h_2)$$

l'espressione del moltiplicatore di collasso varia a seconda che il punto di applicazione del carico orizzontale si trovi al di sopra o al di sotto del punto di formazione della cerniera.

$$\text{Caso } h_s > h_1: h' = h - h_s$$

$$1) \alpha_0 (= \lambda) = \frac{2(x-1)(Nd + Pe - S_{tot} h') + 2s(W + N + P)}{(x-1) \left(\frac{Wh}{x} + 2Ph' \right)}$$

$$\text{Caso } h_s \leq h_1: h' = h_s$$

$$2) \alpha_0 (= \lambda) = \frac{2(x-1)(Nd) + 2s(W + N + P) + 2(Pe - S_{tot} h')}{(x-1) \left(\frac{Wh}{x} + 2Ph' \right)}$$

Variando la posizione della cerniera, cioè considerando tutti i valori di h_1 compresi tra i due estremi $h_1=0$ e $h_1=h$ e calcolando i rispettivi moltiplicatori di collasso si può trovare quello minimo e la posizione h_1 corrispondente.

PC.M fornisce sia il risultato finale, che il grafico del valore del moltiplicatore di collasso in funzione della posizione h_1 .

Nel nostro caso risulta che la cerniera si forma proprio nel punto di applicazione del carico da solaio, si ha cioè:

$$h_1 = h_s = 220 \text{ cm}$$

$$h_2 = h - h_1 = 320 - 220 = 100 \text{ cm}$$

$$x = h / h_2 = 320 / 100 = 3.2$$

pertanto i pesi dei due corpi in cui si divide la parete una volta attivato il cinematismo risultano:

$$W_1 = p.s. * (a*s*h_1) = 2200*(1.10*0.50*2.20) = 2662 \text{ kg}$$

$$W_2 = p.s. * (a*s*h_2) = 2200*(1.10*0.50*1.00) = 1210 \text{ kg}$$

utilizzando la 1) si ottiene il minimo moltiplicatore di collasso:

$$\alpha_0 = (2*(3.20 - 1)*(3145*33) + 2*50*(3872 + 3145 + 1845) + 2*(1845*0 - 1060*220)) / ((3.20 - 1)*(3872*320/3.20) + 2*1845*220) = 0.527$$

Verifica secondo DM08

Fattore di importanza $\gamma_I = 1$

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche ($S = S_s S_t$): $S = 1$

Spettro elastico SLV adimensionale ($Se(T1) / a_{g,rif}$): $Se'(T1) = 2.084$

Numero di piani dell'edificio $N = 2$

Coefficiente di partecipazione modale $\gamma = 1.2$

Fattore di Confidenza $FC = 1.35$

Essendo una verifica locale si preferisce considerare la totalità del carico agente, perciò Si pongono i coefficienti moltiplicativi dei sovraccarichi " ψ_{2i} " pari a 1.

Carico sismico da solaio: $\mathbf{P} = G + \psi_{2i} * Q = 1845 \text{ kg}$

In questo caso l'espressione della Massa partecipante è ($h' = h_s$):

$$\begin{aligned} \mathbf{M}^* &= (P^*h_{,S} + W_{,2}^*h_{,1/2} + W_{,1}^*h_{,1/2})^2 / g^*(P^*h_{,S}^2 + W_{,2}^*(h_{,1/2})^2 + W_{,1}^*(h_{,1/2})^2) \\ &= (1845*2.20 + 1210*2.20/2 + 2662*2.2/2)^2 / 9.81 * (1845*2.20^2 + \\ &\quad 1210*(2.20/2)^2 + 2662*(2.20/2)^2) = 518 \text{ kg*s}^2/m \end{aligned}$$

la Frazione di massa partecipante:

$$\mathbf{e}^* = g * M^* / (P + W) = 9.81*518 / (1845 + 3872) = 0.889$$

L' Altezza della struttura dalle fondazioni:

$$\mathbf{H}_{,f} = (z_{,B} + h) = 0 + 320 = 320 \text{ cm}$$

L'Acc.spettrale attivazione meccanismo:

$$\mathbf{a}_{,0}^*,\mathbf{1} = \alpha_{,0,1} g / (e^*,\mathbf{1} FC) = (0.527 / 0.889 * 1.35) g = 0.439 g$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido:

$$\mathbf{a}^*,\mathbf{1R} = (a_{,g,rif} \gamma_I S / 2) = 0.25 * 1 * 1 / 2 = 0.125 g$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile $\mathbf{a}^*,\mathbf{1D}$ in questo caso è pari a 0 e quindi la Massima Acc.spettrale richiesta SLV $\mathbf{a}^*,\mathbf{1} = (\max \{ \mathbf{a}^*,\mathbf{1R} ; \mathbf{a}^*,\mathbf{1D} \}) = 0.125 g$

Coefficiente di sicurezza SLV

$$\boldsymbol{\eta}_{,1} = a_{,0}^*,\mathbf{1} / a^*,\mathbf{1} = 0.439 / 0.125 = 3.512$$

Accelerazione al suolo sostenibile SLV

$$\mathbf{PGA}_{,DS},\mathbf{1} = \boldsymbol{\eta}_{,1} a_{,g,rif} = 3.512 * 0.25 g = 0.878 g$$

Analisi cinematica eseguita con PC.M

Immettendo gli stessi dati nel file Co-008 del Gruppo Cinematismi_Muratura_DM08 si ottiene (vedi File: Es_2009_Cinem_DM08, elemento 8):

* Flessione verticale di parete vincolata ai bordi con rinforzi in FRP [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM08 - Nome file: Cn-008]

DATI:

Larghezza \mathbf{a} (cm) = **110**

Quota base da fondazioni $\mathbf{Z}_{,b}$ (cm) = **0**

Spessore \mathbf{s} (cm) = **50**

Altezza \mathbf{h} (cm) = **320**

Carico in sommità (perm.+var.) \mathbf{N} (kg) = **3145**

Eccentricità carico in sommità \mathbf{d} (cm) = **33**

Carico Permanente \mathbf{G} (kg) = **1200**

Carico Variabile \mathbf{Q} (kg) = **645**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q: $\psi_2 = 1$
 Spinta Permanente **SG** (kg) = **660**
 Spinta Variabile **SQ** (kg) = **400**
 Quota carico da solaio **h,S** (cm) = **220**
 Peso specifico muratura **p.s.** (kg/m³) = **2200**
 Quota cerniera (0 = calcolo automatico) **h,c** (cm) = **0**
 Acc. al suolo di riferimento **a,g,rif** (* g) = **0.25**
 Fattore di importanza **γ,I** = **1**
 Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche (S = Ss St): **S** = **1**
 Spettro elastico SLV adimensionale (Se(T1) / a,g,rif): **Se'(T1)** = **2.084**
 Numero di piani dell'edificio **N** = **1**
 Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1**
 Fattore di Confidenza **FC** = **1.35**

RISULTATI:

Peso proprio **W** (kg) = p.s. * (a*s*h) = **3872**
 Carico da solaio **P** (kg) = G + ψ_2 * Q = **1845**
 Spinta totale **Stot** (kg) = S,G + ψ_2 * S,Q = **1060**
 Peso totale **Ptot** (kg) = N + P + W = **8862**
 Posizione della cerniera: **x,C** = vd.fig. = **3.200**
 Altezza del corpo 1 **h,1** (cm) = h * (x,C - 1) / x,C = **220**
 Altezza del corpo 2 **h,2** (cm) = h-h,1 = h / x,C = **100**
 Peso proprio corpo 1 **W,1** (kg) = p.s. * (a*s*h,1) = **2662**
 Peso proprio corpo 2 **W,2** (kg) = p.s. * (a*s*h,2) = **1210**
 Moltiplicatore di collasso **$\alpha,0$** (o: **λ**) = vd.fig. = **0.527**
 Reazione di vincolo in sommità **R,B** (kg) = vd.fig. = **452**
 Reazione di vincolo alla base **R,A** (kg) = vd.fig. = **2413**
 Massa partecipante **M*** (kg s²/m) = vd.fig. = **518**
 Frazione di massa partecipante **e*** = g M* / (P+W) = **0.889**
 Altezza struttura da fondazioni **H,f** (cm) = (Z,b + h) = **320**
 Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (* g) = $\alpha,0,1$ g / (e*,1 FC) = **0.439**
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1R** (* g) = (a,g,rif γ,I S / 2) = **0.125**
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,1D** (* g) = (a,g,rif γ,I Se'(T1) (Zb / H,f1) γ / 2) = **0.000**
 Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,1** (* g) = (max { a*,1R ; a*,1D }) = **0.125**
 Coefficiente di sicurezza SLV **$\eta,1$** = a,0*,1 / a*,1 = **3.512**
 Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,1** = $\eta,1$ a,g,rif = **0.878**
 Moltiplicatore di collasso per Coeff.sic.=1.000 **α'** = $\alpha,0$ t.c. C/C,v=1.000 = **0.150**
 Momento sollecitante di progetto **M,sd** (kgm) = vd.fig. = **109.23**
 Sforzo normale sollecitante di progetto **N,sd** (kg) = vd.fig. = **4355**
 Trazione nel rinforzo FRP per Coeff.sic.=1.000 **F,sd** (kg) = vd.fig. = **0**

 Sforzo normale sollecitante di progetto **N,sd** (kg) = vd.fig. = **4355**
 Trazione nel rinforzo FRP per Coeff.sic.=1.000 **F,sd** (kg) = vd.fig. = **0**

Anche in questo caso i risultati coincidono con quanto calcolato precedentemente e con i risultati presenti nell'esempio in bibliografia, a meno degli arrotondamenti.

In PC.M inoltre è possibile:

- imporre la posizione verticale della cerniera e trovare il moltiplicatore di collasso corrispondente;
- nel caso verifica non soddisfatta, trovare le caratteristiche della sollecitazione M_{sd} e N_{sd} nella sezione più sollecitata;
- nell'ipotesi di realizzazione di rinforzo con nastri in FRP ricavare lo sforzo di trazione da assegnare al rinforzo per ottenere un coefficiente di sicurezza pari a 1.

C.5.3. FLESSIONE ORIZZONTALE DI FASCIA MURARIA EFFICACEMENTE CONFINATA

(Esempio tratto da [6], pag.49)

(vedi File: Es_2009_Cinem_DM08, elemento 10)

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.)

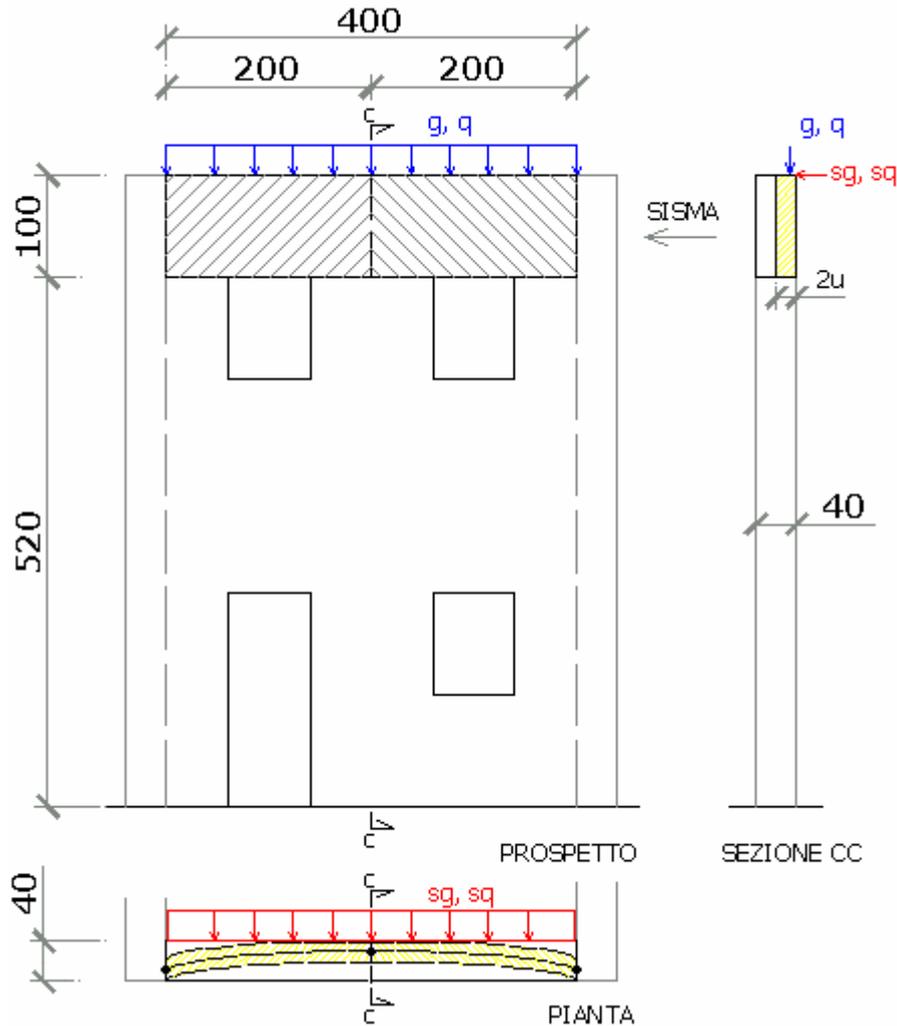


Fig. 39.

DATI

Larghezza della fascia $a = 400$ cm
 Spessore della parete $s = 40$ cm
 Spessore reagente della fascia $s,R = 40$ cm
 Altezza della fascia $h = 100$ cm
 Carico vert. distr. permanente $g = 100$ kg/m
 Carico vert. distribuito variabile $q = 59.6$ kg/m
 Spinta distribuita permanente $sg = 70$ kg/m
 Spinta distribuita variabile $sq = 30$ kg/m
 Peso specifico muratura p.s. = 2200 kg/mc
 Resist. a compressione orizz. muratura $\sigma_{ch} = 9$ kg/cm²

Calcolo moltiplicatore di collasso α_0

Nel caso considerato 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.

Il Peso proprio della fascia è:

$$W = p.s. * (a * s,R * h) = 2200 * 4 * 0.4 * 1 = 3520 \text{ kg}$$

Il peso proprio della fascia per unità di lunghezza è:

$$w = W/a = 3520 / 4 = 880 \text{ kg/m}$$

Per il calcolo del moltiplicatore di collasso è necessaria la definizione dello spessore (= $2 * u$) 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.

La freccia dell'arco compresso risulta quindi essere:

$$f = s,R - 2u = 40 - 20 = 20 \text{ cm}$$

Lo sforzo normale max per l' arco compresso:

$$H_u = 2 \sigma_{ch} * u * h = 2 * 9 * 10 * 100 = 18000 \text{ kg}$$

Il carico verticale totale è:

$$p = g + q = 100 + 59.6 = 159.6 \text{ kg/m}$$

Il carico orizzontale totale:

$$Stot = sg + sq = 70 + 30 = 100 \text{ kg/m}$$

Questa configurazione dei carichi è simmetrica, pertanto la cerniera verticale non potrà che formarsi in mezzeria, quindi la distanza della cerniera dall'estremità è:

$$d,C = 200 \text{ cm}$$

Il moltiplicatore di collasso è pari a:

$$\alpha_0 = (H_u * f - c1) / c2$$

dove:

$$c1 = (a - d,C) / a * (Stot * a^2 / 2 - Stot * (a - d,C) * a / 2) = (400-200) / 400 * (1 * 400^2 / 2 - 1 * (400-200) * 400 / 2) = 20000 \text{ kg*cm}$$

e:

$$c2 = (a - d,C) / a * ((p+w) * a^2 / 2 - (p+w) * (a - d,C) * a / 2) = (400-200) / 400 * ((1.5960 + 8.80) * 400^2 / 2 - (1.5960 + 8.80) * (400-200) * 400 / 2) = 207920 \text{ kg*cm}$$

da cui:

$$\alpha_0 = (H_u * f - c1) / C2 = (18000 * 20 - 20000) / 207920 = 1.635$$

Verifica secondo DM08

Fattore di importanza $\gamma, I = 1$

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche ($S = S_s S_t$): $S = 1$

Spettro elastico SLV adimensionale ($Se(T1) / a_{g,rif}$): $Se'(T1) = 2.084$

Numero di piani dell'edificio $N = 2$

Coefficiente di partecipazione modale $\gamma = 1.2$

Fattore di Confidenza $FC = 1.35$

Essendo una verifica locale si preferisce considerare la totalità del carico agente, perciò Si pongono i coefficienti moltiplicativi dei sovraccarichi " $\psi, 2i$ " pari a 1.

Per eseguire la verifica secondo **OPCM 3274** occorrono:

- il Coeff. di amplificazione locale **S** (indicato con ϵ nel DM'96) = 1
- il Fattore di Importanza γ, I (Coeff. di Protezione **I** nel DM'96) = 1 già indicati per la verifica precedente, con altro nome, come specificato.

Essendo una verifica locale si preferisce considerare la totalità del carico agente, perciò Si pongono i coefficienti moltiplicativi del sovraccarico " $\psi, 2$ " e " ϕ " pari a 1.

Il carico verticale totale è:

$$p = g + \psi, 21 * \phi, 1 * q = 100 + 59.6 = 159.6 \text{ kg/m}$$

Il carico orizzontale totale:

$$Stot = sg + \psi, 21 * sq = 70 + 30 = 100 \text{ kg/m}$$

Così si può procedere con la procedura di calcolo ricavando:

la Massa partecipante:

$$M^* = [(p+w) * d, C^2 / 2 + (p+w) * (a - d, C) * a / 2]^2 / g [(p+w) * d, C * (d, C/2)^2 + (p+w) * (a - d, C) * (d, C / 2)^2] = [(159.60 + 880) * 2^2 / 2 + (159.60 + 880) * (4 - 2) * 2/2]^2 / 9.81 * [(159.60 + 880) * 2 * (2/2)^2 + (159.60 + 880) * (4 - 2) * (2/2)^2] = 424 \text{ kg*s}^2/\text{m}$$

la Frazione di massa partecipante:

$$e^* = g * M^* / (p * a + W) = 9.81 * 424 / (159.60 * 4 + 3520) = 1$$

L' Altezza della struttura da fondazioni:

$$H, f = (z, B + h) = 520 + 100 = 620 \text{ cm}$$

L'Acc.spettrale attivazione meccanismo:

$$a, 0^*, 1 = \alpha, 0, 1 g / (e^*, 1 FC) = (1.635 / 1 * 1.35) g = 1.21 g$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido:

$$a^*, 1R = (a, g, rif \gamma, I S / 2) = 0.25 * 1 * 1 / 2 = 0.125 g$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile

$$a^*, 1D = (a, g, rif \gamma, I Se'(T1) (Zb / H, f1) \gamma / 2) = (0.25 * 1 * 2.084 * (520 / 620) * 1.2 / 2) g = 0.262 g$$

la Massima Acc.spettrale richiesta SLV

$$a^*, 1 = (\max \{ a^*, 1R ; a^*, 1D \}) = 0.262 g$$

Coefficiente di sicurezza SLV

$$\eta, 1 = a, 0^*, 1 / a^*, 1 = 1.21 / 0.262 = 4.620$$

Accelerazione al suolo sostenibile SLV

$$PGA, DS, 1 = \eta, 1 a, g, rif = 4.620 * 0.25 g = 1.155 g$$

Analisi cinematica eseguita con PC.M secondo DM08

Immettendo gli stessi dati nel file Co-010 del Gruppo Cinematismi_Muratura_DM08 si ottiene (vedi File: Es_2009_Cinem_DM08, elemento 10)

* Flessione orizzontale per parete confinata con rinforzi in FRP [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM08 - Nome file: Cn-010]

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** (kg/m) = **100**

Carico vert. distribuito Variabile **q** (kg/m) = **59.6**

Spinta distribuita Permanente **sg** (kg/m) = **70**

Spinta distribuita Variabile **sq** (kg/m) = **30**

Coeff. di combinazione ψ_2 per Q: **$\psi_2 = 1$**

Peso specifico muratura **p.s.** (kg/m³) = **2200**

Distanza cerniera da vincolo sx (0 = calcolo automatico) **d,C** (cm) = **0**

Alt.sez.arco compresso: $2u. u = s / k$ ($k \geq 4$). Fattore **k** = **4**

Resist. a Compressione orizz.($\approx 50\%$ σ_c) **σ_{ch}** (kg/cm²) = **9**

Acc. al suolo di riferimento **a,g,rif** (* g) = **0.25**

Fattore di importanza **γ_I** = **1**

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche ($S = S_s S_t$): **S** = **1**

Spettro elastico SLV adimensionale ($Se(T1) / a,g,rif$): **Se'(T1)** = **2.084**

Numero di piani dell'edificio **N** = **2**

Coefficiente di partecipazione modale **γ** = **1.2**

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

RISULTATI:

Peso proprio fascia **W** (kg) = p.s. * (a*s*h) = **3520**

Freccia dell'arco compresso **f** (cm) = s,R - 2u = **20.0**

Sforzo normale max per arco compresso **H,u** (kg) = 2 $\sigma_{ch} * u * h$ = **18000**

Distanza cerniera da vincolo sx **d,C** (cm) = vd.fig. = **200.0**

Moltiplicatore di collasso **α_0** (o: λ) = vd.fig. = **1.635**

Reazione orizz. vincolo sx **V,A** (kg) = vd.fig. = **722**

Reazione orizz. vincolo dx **V,B** (kg) = vd.fig. = **722**

Massa partecipante **M*** (kg s²/m) = vd.fig. = **424**

Frazione di massa partecipante **e*** = $g M^* / (\sum(G_i + \psi_2 * Q_i) + (g + \psi_2 * q) * a + W)$ = **1.000**

Altezza struttura da fondazioni **H,f** (cm) = (Z,b + h) = **620**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (* g) = $\alpha_0,1 g / (e^*,1 FC)$ = **1.211**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1R** (* g) = (a,g,rif $\gamma_I S / 2$) = **0.125**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,1D** (* g) = (a,g,rif $\gamma_I Se'(T1) (Zb / H,f1) \gamma / 2$) = **0.262**

Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,1** (* g) = (max { a*,1R ; a*,1D }) = **0.262**

Coefficiente di sicurezza SLV **η_1** = $a,0^*,1 / a^*,1$ = **4.620**

Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,1** = $\eta,1$ a.g.rif = **1.155**

Moltiplicatore di collasso per Coeff.sic.=1.000 **α'** = $\alpha,0$ t.c. C/C,v=1.000 = **0.354**

Momento sollecitante di progetto **M,sd** (kgm) = vd.fig. = **935.92**

Trazione nel rinforzo FRP per Coeff.sic.=1.000 **F,sd** (kg) = vd.fig. = **0**

Anche in questo caso i risultati coincidono con quanto calcolato precedentemente e con i risultati presenti nell'esempio in bibliografia.

In PC.M inoltre è possibile:

- considerare la presenza di carichi concentrati (fino a 5) disposti in posizione qualsiasi;
- ricercare la posizione della cerniera che rende minimo il moltiplicatore di collasso;
- nel caso verifica non soddisfatta e nell'ipotesi di realizzazione di rinforzo con nastri in FRP, trovare lo sforzo di trazione da assegnare al rinforzo per ottenere un coefficiente di sicurezza pari a 1.

C.5.4. ESEMPIO DI ANALISI DI CHIESA AD UNA NAVATA CON NTC2008

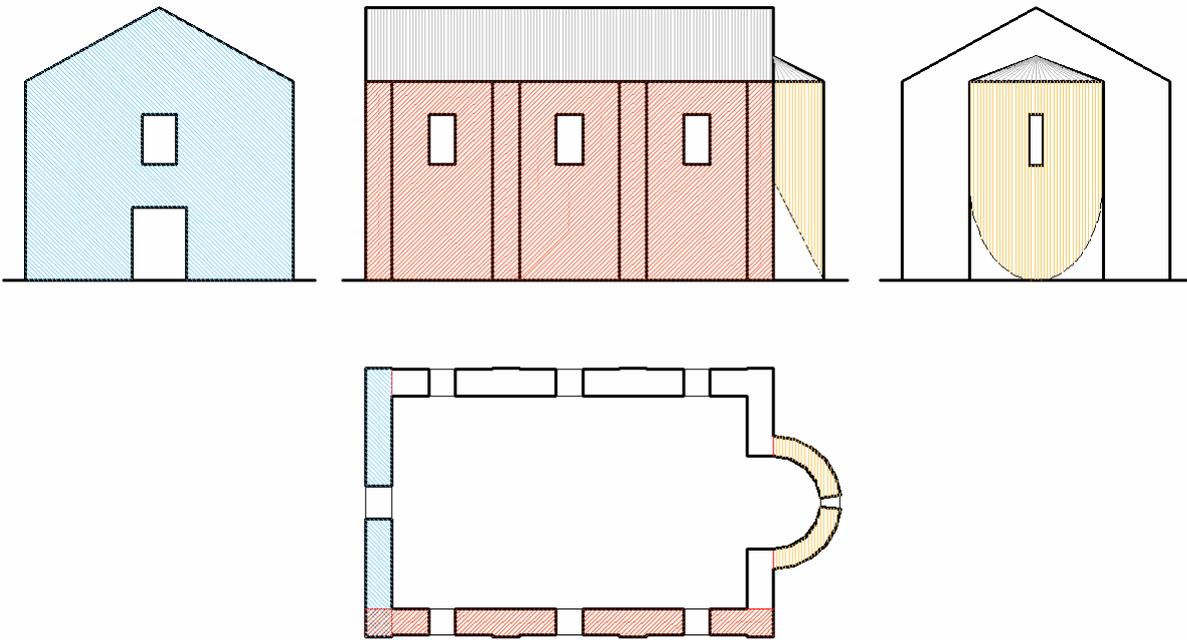


Fig. 45.

Studiamo i meccanismi di ribaltamento rigido fuori del piano della facciata, delle pareti laterali e dell'abside di una chiesa ad una navata.

C.5.4.1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA

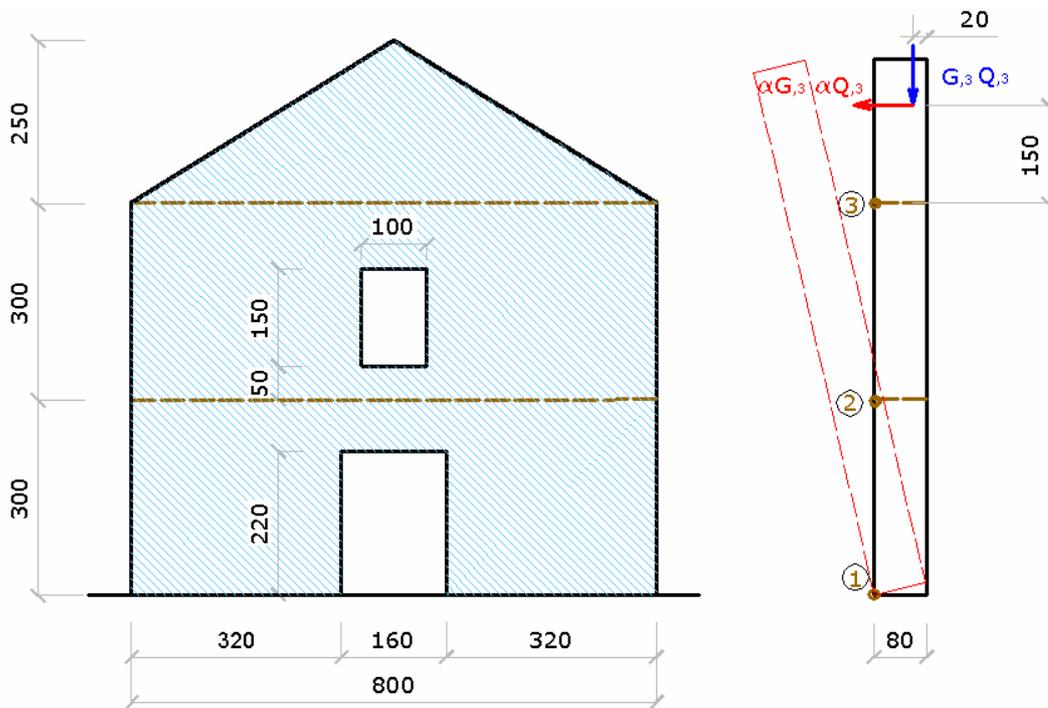


Fig. 46.

Larghezza: $L = 800$ cm

P. 1

Spessore $s,1 = 80$ cm

Altezza $h,1 = 300$ cm

Apertura mezzeria: larghezza $f_{m,1} = 160$ cm

Apertura mezzeria: altezza $h_{m,1} = 220$ cm

Peso specifico muratura $p.s.,1 = 2200$ kg/mc

P. 2

Spessore $s,2 = 80$ cm

Altezza $h,2 = 300$ cm

Apertura mezzeria: larghezza $f_{m,2} = 100$ cm

Apertura mezzeria: altezza $h_{m,2} = 150$ cm

Apertura mezzeria: distanza $b_{m,2} = 50$ cm

Peso specifico muratura $p.s.,2 = 2200$ kg/mc

P. 3

Spessore $s,3 = 80$ cm

Altezza $h,3 = 250$ cm

Carico Permanente $G,3 = 4000$ kg

Carico Variabile $Q,3 = 2000$ kg

Eccentricità carico $e,3 = 20$ cm

Quota carico $h,S3 = 150$ cm

Peso specifico muratura $p.s.,3 = 2200$ kg/mc

Acc. al suolo di riferimento $a_{g,rif} (* g) = 0.25$

Fattore di importanza $\gamma_I = 1$

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche ($S = S_s St$): $S = 1$

Spettro elastico SLV adimensionale ($Se(T1) / a_{g,rif}$): $Se'(T1) = 2.084$

Fattore di Confidenza $FC = 1.35$

Essendo una verifica locale si preferisce considerare la totalità del carico agente, perciò

Si pongono i coefficienti moltiplicativi dei sovraccarichi " $\psi,2i$ " pari a 1.

Calcolo moltiplicatore di collasso α_{o1}

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)

$$W_{,1} = (L * h,1 - f_{m,1} * h_{m,1}) * s,1 * p.s.,1 = (8.00 * 3.00 - 1.60 * 2.20) * 0.8 * 2200 = 36045 \text{ kg}$$

$$W_{,2} = (L * h,2 - f_{m,2} * h_{m,2}) * s,2 * p.s.,2 = (8.00 * 3.00 - 1.00 * 1.50) * 0.8 * 2200 = 39600 \text{ kg}$$

$$W_{,3} = 0.5 * (L * h,1) * s,3 * p.s.,3 = 0.5 * (8.00 * 2.50) * 0.8 * 2200 = 17600 \text{ kg}$$

$$W = W_{,1} + W_{,2} + W_{,3} = 36045 + 39600 + 17600 = 93245 \text{ kg}$$

$$\text{Carico statico da solaio: } P_{,3} = G,3 + \psi_{,23} * Q,3 = 4000 + 2000 = 6000 \text{ kg}$$

Il moltiplicatore di collasso α_{o1} è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_{o1} * \text{MomRib11} + \text{MomRib21} - \text{MomStab1} = 0$$

dove il momento Stabilizzante è dato da:

$$\mathbf{MomStab1} = W,1 * (s,1 / 2) + W,2 * (s,2 / 2) + W,3 * (s,3 / 2) + Pstat,3 * (s,3 - e,3) = 36045 * (0.80 / 2) + 39600 * (0.80 / 2) + 17600 * (0.80 / 2) + 6000 * (0.80 - 0.20) = 93245 * 0.40 + 6000 * 0.6 = 37298 + 3600 = 40898 \text{ kg*m}$$

il coefficiente moltiplicativo di α_0 è dato da:

$$\mathbf{MomRib1} = W,1 * z,G1 + W,2 * (h,1 + z,G2) + W,2 * (h,1 + h,2 + z,G3) + P,3 * (h,1 + h,2 + h,S1) = [(8.00 * 3.00 * 1.5 - 1.60 * 2.20 * 1.10) * 0.8 * 2200] + [(8.00 * 3.00 * 4.50 - 1.00 * 1.50 * 4.25) * 0.8 * 2200] + 17600 * (3.00 + 3.00 + 2.50/3) + 6000 * (3.00 + 3.00 + 1.50) = \mathbf{MomRib(peso\ proprio) + MomRib(carichi) = 355671 + 45000 = 400672 \text{ kg*m}}$$

$$\mathbf{Z,g} = \mathbf{MomRib(peso\ proprio)} / W = 355671 / 93245 = 3.81 \text{ m}$$

e la parte del momento ribaltante indipendente dal moltiplicatore di collasso è:

$$\mathbf{MomRib2} = 0$$

il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_0 = (\mathbf{MomStab} - \mathbf{MomRib2}) / \mathbf{MomRib1} = 40898 / 400672 = 0.102$$

Così si può procedere con la procedura di calcolo ricavando:

la Massa partecipante:

$$\mathbf{M*,1} = \mathbf{MomRib1}^2 / g * [W * z,G^2 + P,3 * (h,1 + h,2 + h,S1)^2] = 400672^2 / 9.81 * [93245 * 3.81^2 + 6000 * 7.5^2] = 9677 \text{ kg*s}^2/\text{m}$$

$$\mathbf{Ptot} = W + P,3 = 93245 + 6000 = 99245 \text{ kg}$$

la Frazione di massa partecipante:

$$\mathbf{e*,1} = g * \mathbf{M*,1} / \mathbf{Ptot,1} = 9.81 * 9677 / 99245 = 0.956$$

L' Altezza della struttura da fondazioni:

$$\mathbf{H,f1} = (z,B + h,1 + h,2) = 300 + 300 + 250 = 850 \text{ cm}$$

L'Acc.spettrale attivazione meccanismo:

$$\mathbf{a,0*,1} = \alpha,0,1 \text{ g} / (e*,1 \text{ FC}) = (0.102 / 0.956 * 1.35) \text{ g} = 0.079 \text{ g}$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido:

$$\mathbf{a*,1R} = (a,g,rif \gamma,I S / 2) = 0.25 * 1 * 1 / 2 = 0.125 \text{ g}$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile

$$\mathbf{a*,1D} = (a,g,rif \gamma,I Se'(T1) (Zb / H,f1) \gamma / 2) = 0$$

la Massima Acc.spettrale richiesta SLV

$$\mathbf{a*,1} = (\max \{ \mathbf{a*,1R}; \mathbf{a*,1D} \}) = 0.125 \text{ g}$$

Coefficiente di sicurezza SLV

$$\mathbf{\eta,1} = a,0*,1 / a*,1 = 0.079 / 0.125 = 0.632$$

Accelerazione al suolo sostenibile SLV

$$\mathbf{PGA,DS,1} = \mathbf{\eta,1} a,g,rif = 0.632 * 0.25 \text{ g} = 0.158 \text{ g}$$

Analisi cinematica eseguita con PC.M

Immettendo gli stessi dati nel file Co-002 del Gruppo Cinematismi_Muratura_DM08 si ottiene (vedi File: Es_Chiesa_C54_DM08, elemento 1)

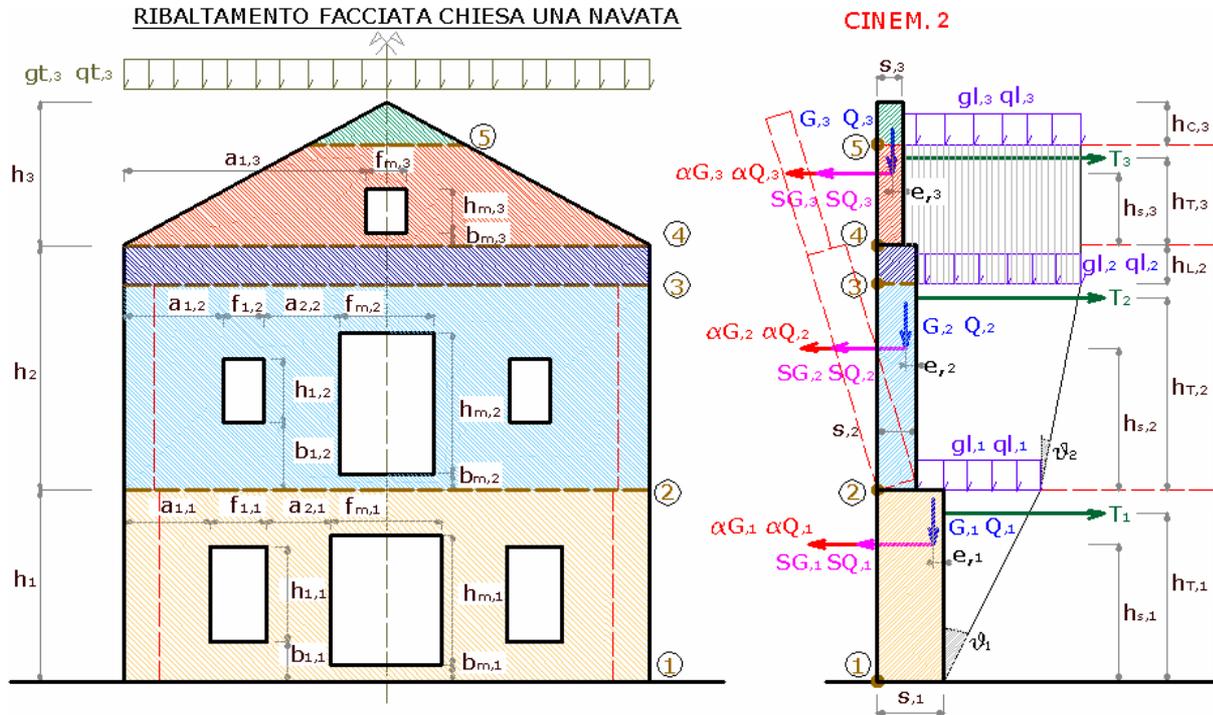


Fig. 47.

* Ribaltamento di facciata di chiesa ad una navata [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM08 - Nome file: Cn-024]

DATI:

- 1°p: Spessore $s_{1,1}$ (cm) = 80
- 1°p: Altezza di piano $H_{p,1}$ (cm) = 300
- 1°p: Larghezza maschio 1 $a_{1,1}$ (cm) = 320
- 1°p: Apertura mezzeria: larghezza $f_{m,1}$ (cm) = 160
- 1°p: Apertura mezzeria: altezza $h_{m,1}$ (cm) = 200
- 1°p: Peso specifico muratura $p.s.,1$ (kg/m^3) = 2200
- 2°p: Spessore $s_{1,2}$ (cm) = 80
- 2°p: Altezza di piano $H_{p,2}$ (cm) = 300
- 2°p: Larghezza maschio 1 $a_{1,2}$ (cm) = 350
- 2°p: Apertura mezzeria: larghezza $f_{m,2}$ (cm) = 100
- 2°p: Apertura mezzeria: altezza $h_{m,2}$ (cm) = 150
- 2°p: Apertura mezzeria: distanza $b_{m,2}$ (cm) = 50
- 2°p: Peso specifico muratura $p.s.,2$ (kg/m^3) = 2200
- 3°p: Spessore $s_{1,3}$ (cm) = 80
- 3°p: Altezza di piano $H_{p,3}$ (cm) = 250
- 3°p: Larghezza maschio 1 $a_{1,3}$ (cm) = 400
- 3°p: Carico Permanente G_3 (kg) = 4000
- 3°p: Carico Variabile Q_3 (kg) = 2000
- Coeff. di combinazione ψ_2 per carichi variabili piano 3°: $\psi_{2,3} = 1$
- 3°p: Eccentricità carico $e_{r,3}$ (cm) = 20
- 3°p: Quota carico da solaio $h_{S,3}$ (cm) = 150

3°p: Peso specifico muratura **p.s.,3** (kg/m^3) = **2200**

Acc. al suolo di riferimento **a,g,rif** (* g) = **0.25**

Fattore di importanza **γ,I** = **1**

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche (S = Ss St): **S** = **1**

Spettro elastico SLV adimensionale (Se(T1) / a,g,rif): **Se'(T1)** = **2.084**

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

RISULTATI:

Altezza della parete **Htot** (m) = **8.50**

Larghezza della parete **L** (m) = **8.00**

Momento Stabilizzante **Ms,1** (kgm) = **41123.20**

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **Mr1,1** (kgm) = **401854.70**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **Mr2,1** (kgm) = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha,0,1$** (o: **$\lambda,1$**) = **0.102**

Massa partecipante **M*,1** ($kg\ s^2/m$) = **9715**

Peso sismico totale **Ptot,1** (kg) = **99808**

Frazione di massa partecipante **e*,1** = **0.955**

Coefficiente di partecipazione modale **$\gamma,1$** = **1.66**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (* g) = **0.079**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1R** (* g) = **0.125**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,1D** (* g) = **0.000**

Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,1** (* g) = **0.125**

Coefficiente di sicurezza SLV **$\eta,1$** = **0.635**

Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,1** = **0.159**

Momento Stabilizzante **Ms,2** (kgm) = **26480.00**

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **Mr1,2** (kgm) = **154526.70**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **Mr2,2** (kgm) = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha,0,2$** (o: **$\lambda,2$**) = **0.171**

Massa partecipante **M*,2** ($kg\ s^2/m$) = **6000**

Peso sismico totale **Ptot,2** (kg) = **63200**

Frazione di massa partecipante **e*,2** = **0.931**

Coefficiente di partecipazione modale **$\gamma,2$** = **1.49**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,2** (* g) = **0.136**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,2R** (* g) = **0.125**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,2D** (* g) = **0.137**

Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,2** (* g) = **0.137**

Coefficiente di sicurezza SLV **$\eta,2$** = **0.997**

Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,2** = **0.249**

Momento Stabilizzante **Ms,3** (kgm) = **10640.00**

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **Mr1,3** (kgm) = **23666.67**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **Mr2,3** (kgm) = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha,0,3$** (o: **$\lambda,3$**) = **0.450**

Massa partecipante **M*,3** ($kg\ s^2/m$) = **2220**

Peso sismico totale **P_{tot,3}** (kg) = **23600**

Frazione di massa partecipante **e^{*},3** = **0.923**

Coefficiente di partecipazione modale **γ,3** = **1.21**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a₀^{*},3** (* g) = **0.361**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a^{*},3R** (* g) = **0.125**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a^{*},3D** (* g) = **0.223**

Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a^{*},3** (* g) = **0.223**

Coefficiente di sicurezza SLV **η,3** = **1.620**

Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,3** = **0.405**

Momento Stabilizzante **M_{s,4}** (kgm) = **10640.00**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α: **M_{R1,4}** (kgm) = **23666.67**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **M_{R2,4}** (kgm) = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **α,0,4** (o: **λ,4**) = **0.450**

Massa partecipante **M^{*},4** (kg s²/m) = **2220**

Peso sismico totale **P_{tot,4}** (kg) = **23600**

Frazione di massa partecipante **e^{*},4** = **0.923**

Coefficiente di partecipazione modale **γ,4** = **1.21**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a₀^{*},4** (* g) = **0.361**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a^{*},4R** (* g) = **0.125**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a^{*},4D** (* g) = **0.223**

Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a^{*},4** (* g) = **0.223**

Coefficiente di sicurezza SLV **η,4** = **1.620**

Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,4** = **0.405**

Momento Stabilizzante **M_{s,5}** (kgm) = **0.00**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α: **M_{R1,5}** (kgm) = **0.00**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **M_{R2,5}** (kgm) = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **α,0,5** (o: **λ,5**) = **0.000**

Massa partecipante **M^{*},5** (kg s²/m) = **0**

Peso sismico totale **P_{tot,5}** (kg) = **0**

Frazione di massa partecipante **e^{*},5** = **0.000**

Coefficiente di partecipazione modale **γ,5** = **0.00**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a₀^{*},5** (* g) = **0.000**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a^{*},5R** (* g) = **0.000**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a^{*},5D** (* g) = **0.000**

Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a^{*},5** (* g) = **0.000**

Coefficiente di sicurezza SLV **η,5** = **0.000**

Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,5** = **0.000**

C.5.4.2. RIBALTAMENTO DELLE PARETI LATERALI

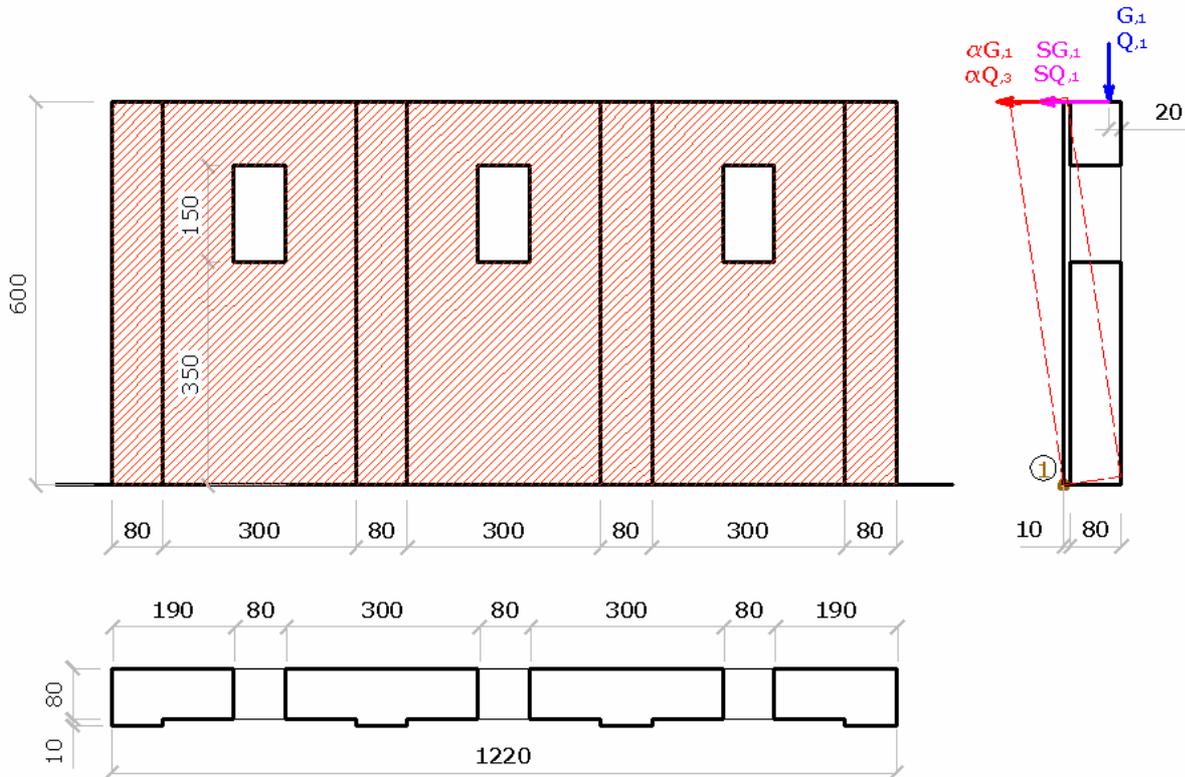


Fig. 48.

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
 Carico Permanente $G_{,1} = 4000$ kg
 Carico Variabile $Q_{,1} = 2000$ kg
 Eccentricità carico $e_{,1} = 20$ cm
 Spinta Permanente $SG_{,1} = 800$ kg
 Spinta Variabile $SG_{,1} = 400$ kg
 Quota carico $h_{,S1} = 600$ cm
 Peso specifico muratura $p.s.,1 = 2200$ kg/mc

Calcolo moltiplicatore di collasso α_{o1}

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)

Larghezza parete: $L = 190 * 2 + 80 * 3 + 300 * 2 = 1220$ cm

Peso parete: $W = (L * h_{,p}) * s_{,1} * p.s.,1 = 12.20 * 6.00 * 0.8 * 2200 = 128832$ kg

Peso porzione mancante finestre $\mathbf{W,f} = 3 * (f * h) * s,1 * p.s.,1 = 3 * (0.80 * 1.50) * 0.8 * 2200 = 6336 \text{ kg}$

Peso Paraste: $\mathbf{W,p} = 4 * (f ,p * h,p) * s,p * p.s.,1 = 4 * (0.80 * 6.00) * 0.01 * 2200 = 4224 \text{ kg}$

$\mathbf{W} = (W - W,f) + W,p = (128832 - 6336) + 4224 = 126720 \text{ kg}$

Carico statico da solaio: $\mathbf{P,1} = G,1 + \psi,21 * Q,1 = 4000 + 2000 = 6000 \text{ kg}$

Il moltiplicatore di collasso α_{o1} è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_{o1} * \text{MomRib11} + \text{MomRib21} - \text{MomStab1} = 0$$

dove il momento Stabilizzante è dato da:

$$\begin{aligned} \mathbf{MomStab1} &= (W - W,f) * (s,p + s,1 / 2) + W,p * (s,p / 2) + Pstat,1 * (s,p + s,1 - e,1) = \\ &= (128832 - 6336) * (0.10 + 0.80 / 2) + 4224 * (0.10 / 2) + 6000 * (0.10 + 0.80 - 0.20) = \\ &= 65659 \text{ kg*m} \end{aligned}$$

il coefficiente moltiplicativo di α_o è dato da:

$$\begin{aligned} \mathbf{MomRib1} &= W * h,p / 2 - W,f * (b + h / 2) + W,p * (h,p / 2) + Pstat,1 * h,S1 = \\ &= 128832 * (6.00 / 2) - 6336 * (3.50 + 1.50 / 2) + 4224 * (6.00 / 2) + 6000 * 6.00 = \\ \mathbf{MomRib}(\text{peso proprio}) + \mathbf{MomRib}(\text{carichi}) &= 372240 + 36000 = 408240 \text{ kg*m} \end{aligned}$$

$$\mathbf{Z,g} = \text{MomRib}(\text{peso proprio}) / W = 372240 / 126720 = 2.94 \text{ m}$$

la parte del momento ribaltante indipendente dal moltiplicatore di collasso è:

$$\mathbf{MomRib2} = (SG,1 + SQ,1) * h,S1 = (800 + 400) * 6.00 = 7200 \text{ kg*m}$$

il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_o = (\text{MomStab} - \text{MomRib2}) / \text{MomRib1} = (65659 - 7200) / 408240 = 0.143$$

$$\mathbf{Ptot} = W + P,1 = 126720 + 6000 = 132720 \text{ kg}$$

la Massa partecipante:

$$\begin{aligned} \mathbf{M*,1} &= \text{MomRib1}^2 / g * (W * Z,g^2 + Pstat,1 * h,S1^2) = \\ &= 408240^2 / 9.81 * (126720 * 2.94^2 + 6000 * 6.00^2) = \\ &= 12956 \text{ kg*s}^2/\text{m} \end{aligned}$$

la Frazione di massa partecipante:

$$\mathbf{e*,1} = g M* / \text{Ptot},1 = 9.81 * 12956 / 132720 = 0.958$$

L' Altezza della struttura da fondazioni:

$$\mathbf{H,f1} = (z,B + h,1) = 0 + 600 = 600 \text{ cm}$$

L'Acc.spettrale attivazione meccanismo:

$$\mathbf{a*,1R} = \alpha_{o,1} g / (e*,1 FC) = (0.143 / 0.958 * 1.35) g = 0.110 \text{ g}$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido:

$$\mathbf{a*,1R} = (a,g,rif \gamma,I S / 2) = 0.25 * 1 * 1 / 2 = 0.125 \text{ g}$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile

$$\mathbf{a*,1D} = (a,g,rif \gamma,I Se'(T1) (Zb / H,f1) \gamma / 2) = 0$$

la Massima Acc.spettrale richiesta SLV

$$\mathbf{a*,1} = (\max \{ \mathbf{a*,1R}; \mathbf{a*,1D} \}) = 0.125 \text{ g}$$

Coefficiente di sicurezza SLV

$$\eta,1 = a,0*,1 / a*,1 = 0.110 / 0.125 = 0.88$$

Accelerazione al suolo sostenibile SLV

$$\mathbf{PGA,DS,1} = \eta,1 a,g,rif = 0.88 * 0.25 \text{ g} = 0.22 \text{ g}$$

Analisi cinematica eseguita con PC.M

Immettendo gli stessi dati nel file Co-002 del Gruppo Cinematismi_Muratura_ DM08 si ottiene (vedi File: Es_Chiesa_C54_ DM08, elemento 2)

RIBALTAMENTO DI PARETE LONGITUDINALE DI UNA CHIESA

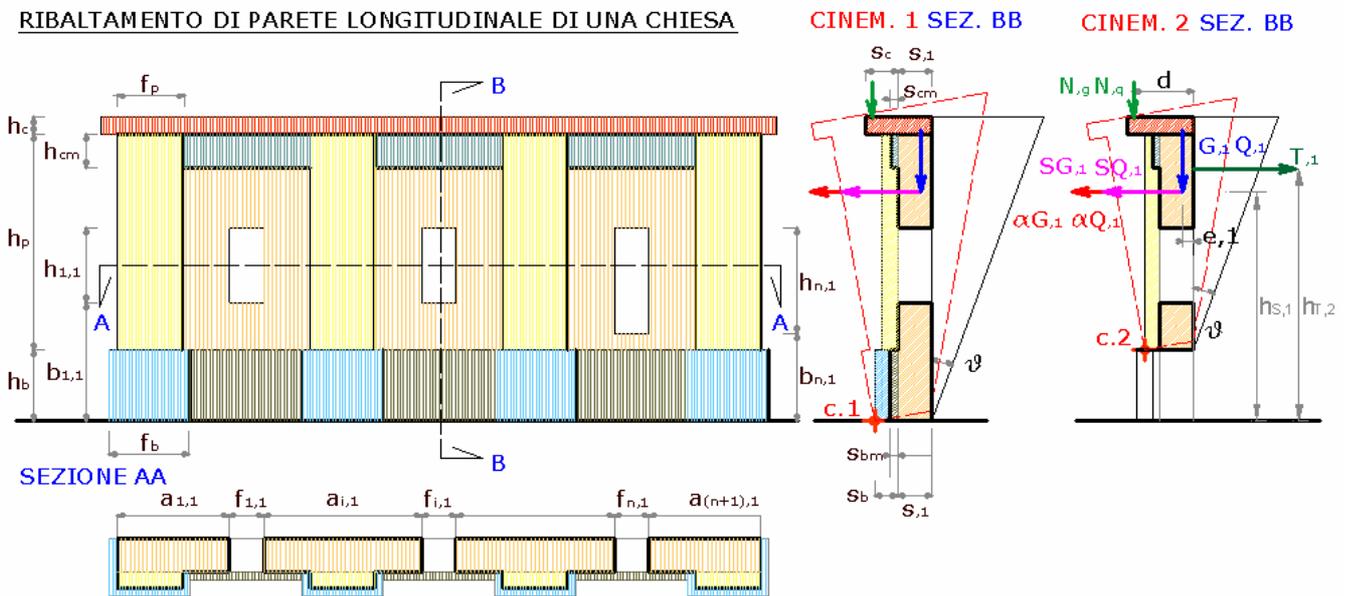


Fig. 49.

* Ribaltamento di parete longitudinale di una chiesa: 1 piano, fino a 7 aperture [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM08 - Nome file: Cn-022]

DATI:

Spessore $s,1$ (cm) = 80

Larghezza maschio 1 $a1,1$ (cm) = 190

Larghezza maschio 2 $a2,1$ (cm) = 300

Larghezza maschio 3 $a3,1$ (cm) = 300

Larghezza maschio 4 $a4,1$ (cm) = 190

Apertura 1: larghezza $f1,1$ (cm) = 80

Apertura 1: altezza $h1,1$ (cm) = 150

Apertura 1: distanza $b1,1$ (cm) = 350

Apertura 2: larghezza $f2,1$ (cm) = 80

Apertura 2: altezza $h2,1$ (cm) = 150

Apertura 2: distanza $b2,1$ (cm) = 350

Apertura 3: larghezza $f3,1$ (cm) = 80

Apertura 3: altezza $h3,1$ (cm) = 150

Apertura 3: distanza $b3,1$ (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 $G,1$ (kg) = 4000

Carico Variabile $Q,1$ (kg) = 2000

Coeff. di combinazione ψ_2 per carichi variabili piano 1°: $\psi_{2,1} = 1$

Eccentricità carico $e,1$ (cm) = 20

Spinta Permanente $SG,1$ (kg) = 800

Spinta Variabile **SQ,1** (kg) = **400**
 Quota carico da solaio **hS,1** (cm) = **600**
 Peso specifico muratura **p.s.,1** (kg/m³) = **2200**
 Acc. al suolo di riferimento **a,g,rif** (* g) = **0.25**
 Fattore di importanza **γ,I** = **1**
 Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche (S = Ss St): **S** = **1**
 Spettro elastico SLV adimensionale (Se(T1) / a,g,rif): **Se'(T1)** = **2.084**
 Fattore di Confidenza **FC** = **1.35**

RISULTATI:

Altezza della parete **Htot** (m) = **6.00**
 Larghezza della parete **L** (m) = **12.20**
 Carico da solaio **P,1** (kg) = **6000**
 Peso totale **Ptot,1** (kg) = **6000**
 Peso proprio solido nel cinematismo **W,1** (kg) = **126720**
 Momento Stabilizzante **Ms,1** (kgm) = **65659.20**
 Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α: **MRi,1** (kgm) = **408240.00**
 Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **MR2,1** (kgm) = **7200.00**
 Moltiplicatore di collasso **α,0,1** (o: **λ,1**) = **0.143**
 Massa partecipante **M*,1** (kg s²/m) = **12978**
 Frazione di massa partecipante **e*,1** = **0.959**
 Coefficiente di partecipazione modale **γ,1** = **1.87**
 Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (* g) = **0.111**
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1R** (* g) = **0.125**
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,1D** (* g) = **0.000**
 Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,1** (* g) = **0.125**
 Coefficiente di sicurezza SLV **η,1** = **0.885**
 Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,1** = **0.221**
 Peso totale **Ptot,2** (kg) = **6000**
 Peso proprio solido nel cinematismo **W,2** (kg) = **104544**
 Momento Stabilizzante **Ms,2** (kgm) = **54888.00**
 Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α: **MRi,2** (kgm) = **387896.00**
 Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **MR2,2** (kgm) = **6000.00**
 Moltiplicatore di collasso **α,0,2** (o: **λ,2**) = **0.126**
 Massa partecipante **M*,2** (kg s²/m) = **11157**
 Frazione di massa partecipante **e*,2** = **0.990**
 Coefficiente di partecipazione modale **γ,2** = **1.64**
 Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,2** (* g) = **0.094**
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,2R** (* g) = **0.125**
 Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile **a*,2D** (* g) = **0.071**
 Massima Acc.spettrale richiesta SLV **a*,2** (* g) = **0.125**
 Coefficiente di sicurezza SLV **η,2** = **0.755**
 Accelerazione al suolo sostenibile SLV **PGA,DS,2** = **0.189**

C.5.4.3. RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE

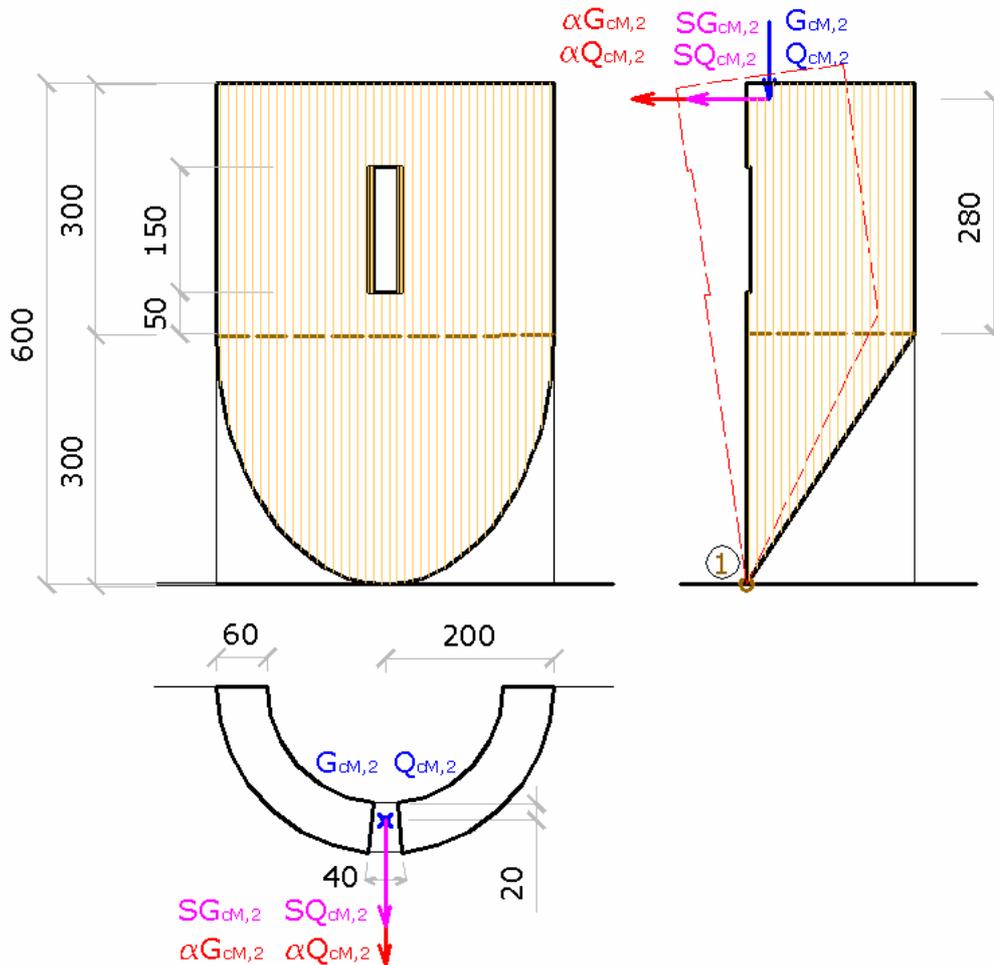


Fig. 50.

Raggio: $R = 200 \text{ cm}$

P. 1

Spessore $s,1 = 60 \text{ cm}$

Altezza $h,1 = 300 \text{ cm}$

Peso specifico muratura $p.s.,1 = 2200 \text{ kg/mc}$

P. 2

Spessore $s,2 = 60 \text{ cm}$

Altezza $h,2 = 300 \text{ cm}$

Apertura mezzeria: larghezza $f_{m,2} = 40 \text{ cm}$

Apertura mezzeria: altezza $h_{m,2} = 150 \text{ cm}$

Apertura mezzeria: distanza $b_{m,2} = 50 \text{ cm}$

Carico Conc. Vert. Mezzeria Permanente $G_{cM,2} = 1500 \text{ kg}$

Carico Conc. Vert. Mezzeria Variabile $G_{cM,2} = 600 \text{ kg}$

Spinta Conc. Vert. Mezzeria Permanente $SG_{cM,2} = 400 \text{ kg}$

Spinta Conc. Vert. Mezzeria Variabile $SG_{cM,2} = 100 \text{ kg}$

Eccentricità carico $e,3 = 20 \text{ cm}$

Quota carico $h,S3 = 280 \text{ cm}$

Peso specifico muratura $p.s.,2 = 2200 \text{ kg/mc}$

Coeff. di amplificazione locale **S** (indicato con ε nel DM'96) = 1

Fattore di Importanza γ, I (Coeff. di Protezione **I** nel DM'96) = 1

Essendo una verifica locale si preferisce considerare la totalità del carico agente, perciò Si pongono i coefficienti moltiplicativi dei sovraccarichi " $\psi_{2,i}$ " e " ϕ_i " pari a 1.

Calcolo moltiplicatore di collasso α_{o1}

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)

$$W_{,1} = (2 * h_{,1} * R) * s_{,1} * p.s.,1 = (2 * 3.00 * 2.00) * 0.6 * 2200 = 15840 \text{ kg}$$

$$W_{,2} = (\pi * R * h_{,2} - h_{m,2} * b_{m,2}) * s_{,2} * p.s.,2 = (\pi * 2.00 * 3.00 - 1.50 * 0.40) * 0.6 * 2200 = 24089 \text{ kg}$$

$$\text{Carico statico da solaio: } P_{stat,2} = G_{,2} + \psi_{,22} * Q_{,2} = 1500 + 600 = 2100 \text{ kg}$$

$$\text{Carico sismico da solaio: } P_{,2} = G_{,2} + \phi_{,2} * \psi_{,22} * Q_{,2} = 1500 + 600 = 2100 \text{ kg}$$

Il moltiplicatore di collasso α_{o1} è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_{o1} * \text{MomRib11} + \text{MomRib21} - \text{MomStab1} = 0$$

dove il momento Stabilizzante è dato da:

$$\begin{aligned} \text{MomStab1} &= W_{,1} * R * (1 - \pi / 4) + (W_{,2} + W_{,f2}) * R * (1 - 2 / \pi) - W_{,f2} * [R * (1 - \\ &\text{sen}(b_{m,2} / 2 R) / (b_{m,2} / 2 R)] + P_{stat,2} * (s_{,2} - e_{,2}) = 15840 * 2.00 * (1 - \pi / 4) + \\ &(24089 + 792) * 2 * (1 - 2 / \pi) - 792 * [2 * (1 - \text{sen}(0.1) / 0.1)] + 2100 * (0.60 - 0.20) = \\ &= 37298 + 3600 = 25718 \text{ kg*m} \end{aligned}$$

il coefficiente moltiplicativo di α_o è dato da:

$$\begin{aligned} \text{MomRib1} &= W_{,1} * h_{,1} * (1 - \pi / 8) + (W_{,2} + W_{,f2}) * (h_{,1} + h_{,2} / 2) - W_{,f2} * (h_{,1} + \\ &b_{m,2} + h_{m,2} / 2) + P_{,2} * (h_{,1} + h_{,S2}) = 15840 * 3.00 * (1 - \pi / 8) + (24089 + 792) * \\ &(3.00 + 3.00 / 2) - 792 * [3.00 + 0.50 + 1.50 / 2] + 2100 * (3.00 + 2.80) = \\ &149638 \text{ kg*m} \end{aligned}$$

e la parte del momento ribaltante indipendente dal moltiplicatore di collasso è:

$$\text{MomRib2} = (SG_{cM,2} + \psi_{,22} * SQ_{cM,2}) * (h_{,1} + h_{,S2}) = (400 + 100) * (3.00 + 2.80) = 2900 \text{ kg*m}$$

il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_o = (\text{MomStab} - \text{MomRib2}) / \text{MomRib1} = (25718 - 2900) / 149638 = 0.152$$

Il peso statico totale

$$P_{,tot} = W_{,1} + W_{,2} + P_{stat,2} = 15840 + 24089 + 2100 = 42029 \text{ kg}$$

la Massa partecipante:

$$\begin{aligned} M^*,1 &= \text{MomRib1}^2 / g * [W_{,1} * h_{,1} * (1 - \pi / 8)^2 + (W_{,2} + W_{,f2}) * (h_{,1} + h_{,2} / \\ &2)^2 - W_{,f2} * (h_{,1} + b_{m,2} + h_{m,2} / 2)^2 + P_{,2} * (h_{,1} + h_{,S2})^2] = \\ &= 149638^2 / 9.81 * [15840 * (3.00 * (1 - \pi / 8))^2 + (24089 + 792) * (3.00 \\ &+ 3.00 / 2)^2 - 792 * [3.00 + 0.50 + 1.50 / 2]^2 + 2100 * (3.00 + 2.80)^2] \\ &= 3725 \text{ kg*s}^2/m \end{aligned}$$

Il peso sismico totale

$$P_{tot,1} = W_{,1} + W_{,2} + P_{sism,2} = 15840 + 24089 + 2100 = 42029 \text{ kg}$$

la Frazione di massa partecipante:

$$e^*,1 = g M^* / P_{tot,1} = 9.81 * 3725 / 42029 = 0.869$$

Il Baricentro dei pesi che generano forze orizzontali:

$$z_{,P1} = \text{MomRib1} / P_{tot,1} = 149638 / 42029 = 356 \text{ cm}$$

L' Altezza della struttura da fondazioni:

$$H, f_1 = (z, B + h, 1 + h, 2) = 0 + 300 + 300 = 600 \text{ cm}$$

L'Acc.spettrale attivazione meccanismo:

$$a^*, 0^*, 1 = \alpha, 0, 1 g / (e^*, 1 FC) = (0.152 / 0.869 * 1.35) g = 0.129 g$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido:

$$a^*, 1R = (a, g, rif \gamma, I S / 2) = 0.25 * 1 * 1 / 2 = 0.125 g$$

L'Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile

$$a^*, 1D = (a, g, rif \gamma, I Se'(T1) (Zb / H, f_1) \gamma / 2) = 0$$

la Massima Acc.spettrale richiesta SLV

$$a^*, 1 = (\max \{ a^*, 1R ; a^*, 1D \}) = 0.125 g$$

Coefficiente di sicurezza SLV

$$\eta, 1 = a, 0^*, 1 / a^*, 1 = 0.129 / 0.125 = 1.032$$

Accelerazione al suolo sostenibile SLV

$$PGA, DS, 1 = \eta, 1 a, g, rif = 0.88 * 0.25 g = 0.258 g$$

Analisi cinematica eseguita con PC.M secondo OPCM 3274

Immettendo gli stessi dati nel file Cn-002 del Gruppo Cinematismi_Muratura_DM08 si ottiene (vedi File: Es_Chiesa_C54_DM08, elemento 3)

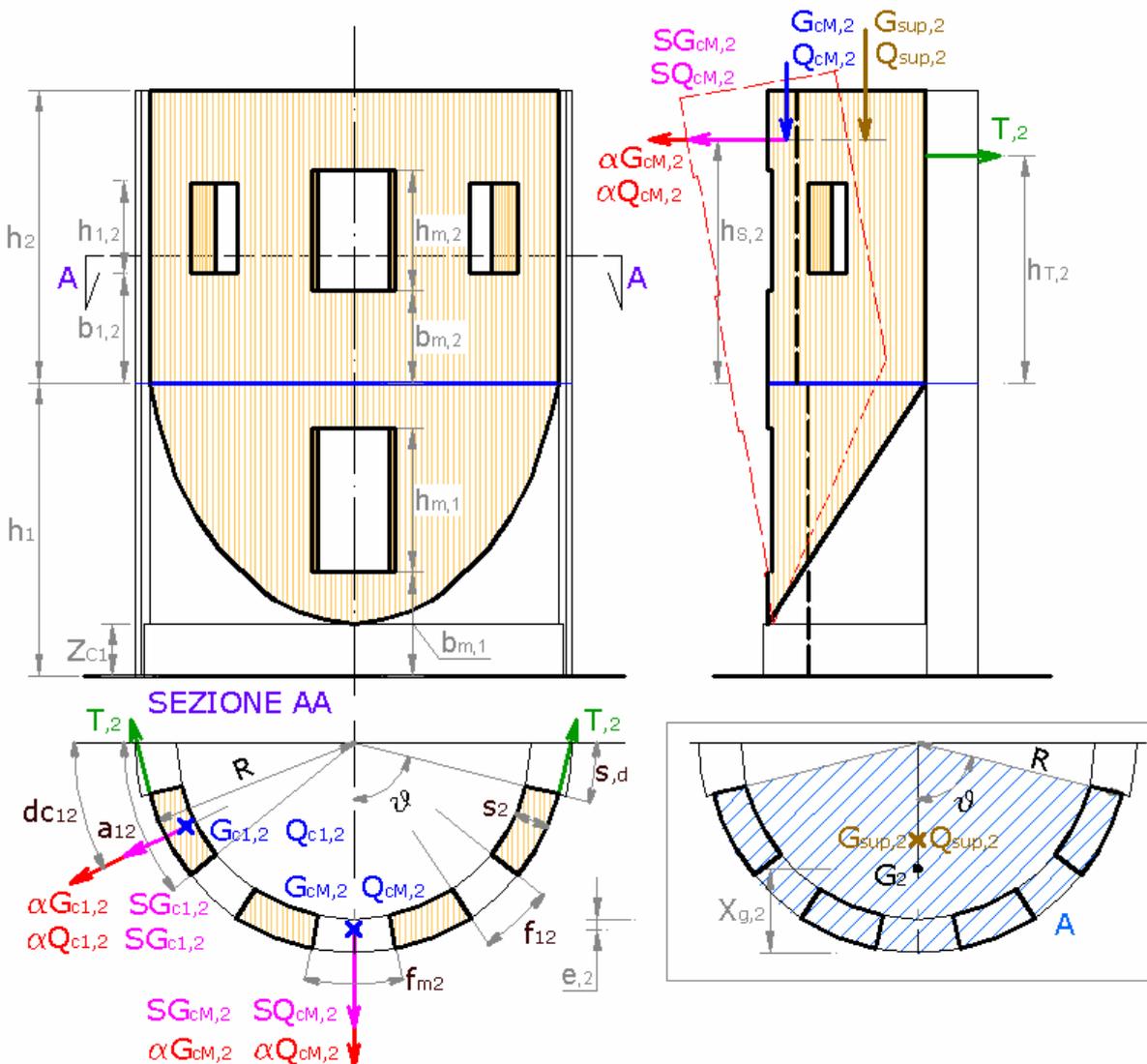


Fig. 51.

* Ribaltamento di abside cilindrica [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM08 - Nome file: Cn-021]

DATI:

Raggio esterno **R** (cm) = **200**

Spessore **s,1** (cm) = **60**

Altezza **h,1** (cm) = **300**

Coeff. di combinazione ψ_2 per carichi variabili piano 1°: **$\psi_{2,1} = 1$**

Peso specifico muratura **p.s.,1** (kg/m³) = **2200**

Spessore **s,2** (cm) = **60**

Altezza **h,2** (cm) = **300**

2°p: Apertura mezzeria: larghezza curvilinea **fm,2** (cm) = **40**

2°p: Apertura mezzeria: altezza **hm,2** (cm) = **150**

2°p: Apertura 1: distanza **bm,2** (cm) = **50**

Coeff. di combinazione ψ_2 per carichi variabili piano 2°: **$\psi_{2,2} = 1$**

Eccentricità carico **e,2** (cm) = **20**

Carico conc. vert. mezzeria Permanente **GcM,2** (kg) = **1500**

Carico conc. vert. mezzeria Variabile **QcM,2** (kg) = **600**

Spinta conc. mezzeria Permanente **SGcM,2** (kg) = **400**

Spinta conc. mezzeria Variabile **SQcM,2** (kg) = **100**

Quota carico da solaio **h,S2** (cm) = **280**

Peso specifico muratura **p.s.,2** (kg/m³) = **2200**

Acc. al suolo di riferimento **a,g,rif** (* g) = **0.25**

Fattore di importanza **$\gamma_I = 1$**

Coeff. categoria sottosuolo e condizioni topografiche (S = Ss St): **S = 1**

Spettro elastico SLV adimensionale (Se(T1) / a,g,rif): **Se'(T1) = 2.084**

Fattore di Confidenza **FC = 1.35**

RISULTATI:

Angolo di apertura settore di distacco abside **2θ** (°) = **180**

Area di carico **A** (mq) = **6**

Carico da solaio **P,1** (kg) = **0**

Peso proprio **W,1** (kg) = **15840**

Carico da solaio **P,2** (kg) = **2100**

Peso proprio **W,2** (kg) = **24089**

Peso totale **P,tot,1** (kg) = **42029**

Momento Stabilizzante **M_S,1** (kgm) = **25718.78**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α : **M_{R1},1** (kgm) = **149639.30**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2},1** (kgm) = **2900.00**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{0,1}$** (o: **$\lambda_{,1}$**) = **0.152**

Massa partecipante **M*,1** (kg s²/m) = **3726**

Frazione di massa partecipante **e*,1** = **0.869**

Coefficiente di partecipazione modale **$\gamma_{,1}$** = **1.47**

Altezza struttura da fondazioni **H,f1** (cm) = **600**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (* g) = **0.130**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo rigido **a*,1R** (* g) = **0.125**

Acc.spettrale richiesta SLV su sottostante corpo deformabile $a^*,1D (* g) = 0.000$

Massima Acc.spettrale richiesta SLV $a^*,1 (* g) = 0.125$

Coefficiente di sicurezza SLV $\eta,1 = 1.039$

Accelerazione al suolo sostenibile SLV $PGA,DS,1 = 0.260$

**C.5.5. ESEMPIO COMPLETO DI STUDIO DI PARETE BIPIANO:
ANALISI STATO ATTUALE E STATO DI PROGETTO CON DM'96 E
OPCM3274; COMPILAZIONE SCHEDE DI ACCOMPAGNAMENTO AL
PROGETTO ESECUTIVO**

(Esempio tratto da [6], pag.20)

(Vedi File: Es_ C55_DM96, Es_ C55_OPCM3274, Es_ C55_DM08)

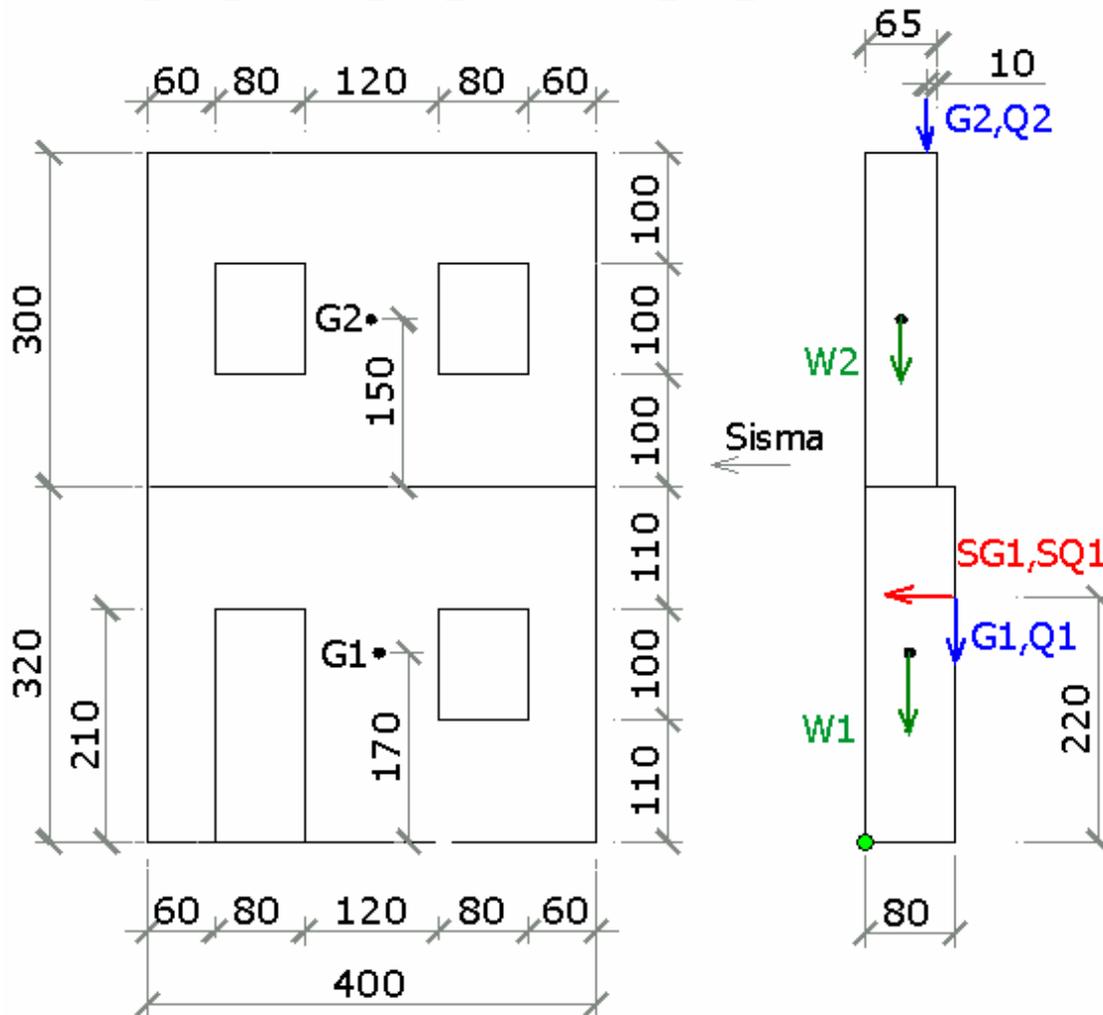


Fig. 40.

PARETE 1 (Piano Terreno)

Larghezza del setto: $a = 400$ cm
 Spessore $s,1 = 80$ cm
 Altezza $h,1 = 320$ cm
 Carico Permanente $G,1 = 4000$ kg
 Carico Variabile $Q,1 = 2700$ kg
 Eccentricità carico $e,1 = 0$
 Spinta Permanente $SG,1 = 2600$ kg
 Spinta Variabile $SQ,1 = 1260$ kg
 Quota carico da solaio $h,S1 = 220$ cm
 Peso specifico muratura $p.s.,1 = 2200$ kg/mc
 Peso Proprio Parete 1, $W,1 = 17960$

PARETE 2 (Piano Primo)

Spessore $s,2 = 65$ cm
 Altezza $h,2 = 300$ cm

Carico Permanente $G,2 = 1500 \text{ kg}$
 Carico Variabile $Q,2 = 700 \text{ kg}$
 Eccentricità carico $e,2 = 10 \text{ cm}$
 Quota carico da solaio $h,S2 = 300 \text{ cm}$
 Peso specifico muratura p.s.,2 = 2200 kg/mc
 Peso Proprio Parete 2, $W,2 \text{ (kg)} = 14880 \text{ kg}$
 Quota baricentro da base2 $z,G2 = 150 \text{ cm}$

Resistenza a compressione orizzontale $\sigma_{ch} = 9 \text{ kg/cm}^2$

C.5.5.1. VERIFICHE SECONDO DM'96

per eseguire tali verifiche sono necessari come ulteriori dati:

- Il Coeff. di amplificazione locale ϵ (indicato con **S** in OPCM 3274) = 1
- Il Coeff. Sismico **C,rif** = (Grado Sismicità-2)/100 = 0.07
- Il Coeff. di Protezione **I** (Fattore di Importanza γ,I in OPCM 3274) = 1
- Il Livello di protezione sismica **I,ps** (≤ 1.00) = 1

Il Coefficiente sismico per le verifiche risulta quindi essere:

$$C,v = I,ps * C,rif = 1 * 0.07 = 0.07$$

STATO ATTUALE (S.A.)

Individuiamo allo stato attuale i seguenti cinematismi di collasso come possibili in seguito a sisma ortogonale alla facciata:

- Ribaltamento semplice di tutta la parete e della sola parete del piano primo;
- Ribaltamento composto, con formazione di cuneo di distacco, di tutta la parete e della sola parete del piano primo;
- Flessione verticale di una fascia piena;
- Flessione orizzontale della fascia orizzontale soprafinestra.

Eseguiamo con i file di PC.M di seguito indicati le relative verifiche: si riportano solo i dati strettamente necessari, colorando in **verde** i coefficienti sismici che risultano maggiori di quello minimo pari in questo caso a 0.07 (verifica soddisfatta), in **rosso** i coefficienti sismici minori di tale valore (verifica non soddisfatta)

-Ribaltamento semplice (S.A.)

Utilizzando il file Cd-017 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_DM96" si ottiene (vedi elemento 1/7 del file "Esempio_C55_DM96" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

(Cinematismo 1 = ribaltamento di tutta la parete intorno alla base)

(Cinematismo 2 = ribaltamento della sola parete del piano primo)

Cinematismo 1: Moltiplicatore di collasso $\alpha,0,1$ (o: $\lambda,1$) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 0.079$

Cinematismo 1: Coeff.sismico sopportabile (DM'96) **C,1** = $(\alpha,0 / \alpha,rif) * C,rif = 0.020$

Cinematismo 1: Coeff. sicurezza (DM'96) **C,sic,1** = $C / C,v = 0.282$

Cinematismo 2: Moltiplicatore di collasso $\alpha,0,2$ (o: $\lambda,2$) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 0.209$

Cinematismo 2: Coeff.sismico sopportabile (DM'96) **C,2** = $(\alpha,0 / \alpha,rif) * C,rif = 0.052$

Cinematismo 2: Coeff. sicurezza (DM'96) **C,sic,2** = $C / C,v = 0.747$

Quindi non è verificata la sicurezza al riguardo della formazione di questi cinematismi.

- Ribaltamento composto (S.A.)

Si considera la formazione in ciascuna delle 2 pareti laterali di un cuneo di distacco con apertura 30° gradi, dello stesso materiale e spessore della parete considerata.

Utilizzando il file Cd-017 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_DM96" si ottiene

(vedi elemento 2/7 del file "Esempio_C55_DM96" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Cinematismo 1: Moltiplicatore di collasso $\alpha_{0,1}$ (o: $\lambda_{1,1}$) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 0.285$

Cinematismo 1: Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C_{,1} = (\alpha_{,0} / \alpha_{,rif}) * C_{,rif} = 0.071$

Cinematismo 1: Coeff. sicurezza (DM'96) $C_{,sic,1} = C / C_{,v} = 1.019$

Cinematismo 2: Moltiplicatore di collasso $\alpha_{0,2}$ (o: $\lambda_{,2}$) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 0.346$

Cinematismo 2: Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C_{,2} = (\alpha_{,0} / \alpha_{,rif}) * C_{,rif} = 0.087$

Cinematismo 2: Coeff. sicurezza (DM'96) $C_{,sic,2} = C / C_{,v} = 1.237$

Quindi è verificata la sicurezza al riguardo della formazione di questi cinematismi.

- Flessione verticale di una fascia piena di larghezza 120 cm (S.A.)

Utilizzando il file Cd-008 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_DM96" si ottiene:

a) considerando che la formazione della cerniera intermedia interessi solo una fascia verticale del piano terreno di larghezza 120 cm e altezza 320 cm (vedi elemento 3/7 del file "Esempio_C55_DM96" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{,0}$ (o: λ) = **1.475**

Moltiplicatore sismico di riferimento $\alpha_{,rif} = C_{,rif} * (\beta \in I)$, $\beta=4 = 0.280$

Coeff.sismico per le verifiche $C_{,v} = l_{ps} * C_{,rif} = 0.070$

Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C = (\alpha_{,0} / \alpha_{,rif}) * C_{,rif} = 0.369$

Coeff. sicurezza (DM'96) $C_{,sic} = C / C_{,v} = 5.266$

b) considerando che la formazione della cerniera intermedia interessi solo una fascia verticale del piano primo di larghezza 120 cm e altezza 300 cm (vedi elemento 4/7 del file "Esempio_C54_DM96" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{,0}$ (o: λ) = **0.913**

Moltiplicatore sismico di riferimento $\alpha_{,rif} = C_{,rif} * (\beta \in I)$, $\beta=4 = 0.280$

Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C = (\alpha_{,0} / \alpha_{,rif}) * C_{,rif} = 0.228$

Coeff. sicurezza (DM'96) $C_{,sic} = C / C_{,v} = 3.259$

Quindi la sicurezza al riguardo della formazione di questi cinematismi è verificata.

- Flessione orizzontale della fascia soprafinestra (S.A.)

Utilizzando il file Cd-010 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_DM96" si ottiene: (vedi elemento 5/7 del file "Esempio_C54_DM96" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Distanza cerniera da vincolo sx $d_{,C}$ (cm) = **200.0**

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{,0}$ (o: λ) = **2.401**

Moltiplicatore sismico di riferimento $\alpha_{,rif} = C_{,rif} * (\beta \in I)$, $\beta=4 = 0.280$

Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C = (\alpha_{,0} / \alpha_{,rif}) * C_{,rif} = 0.600$

Coeff. sicurezza (DM'96) $C_{,sic} = C / C_{,v} = 8.573$

Quindi la sicurezza al riguardo della formazione di questo cinematismo è verificata.

STATO DI PROGETTO (S.P.)

Per mettere in sicurezza l'edificio rispetto al pericolo di un sisma ortogonale alla facciata occorre quindi intervenire con soluzioni in grado di scongiurare:

- il ribaltamento dell'intera parete;
- il ribaltamento della parete del piano primo.

Valutiamo l'intervento di inserimento di tiranti in sommità ad altezza 250 cm dal piano intermedio in grado di esplicare una risultante ultima di trazione pari a 12000 kg e l'inserimento di tiranti intermedi ad altezza 270 cm da terra, in grado anch'essi di sviluppare una forza ultima di 12000 kg. (vd. fig. 41)

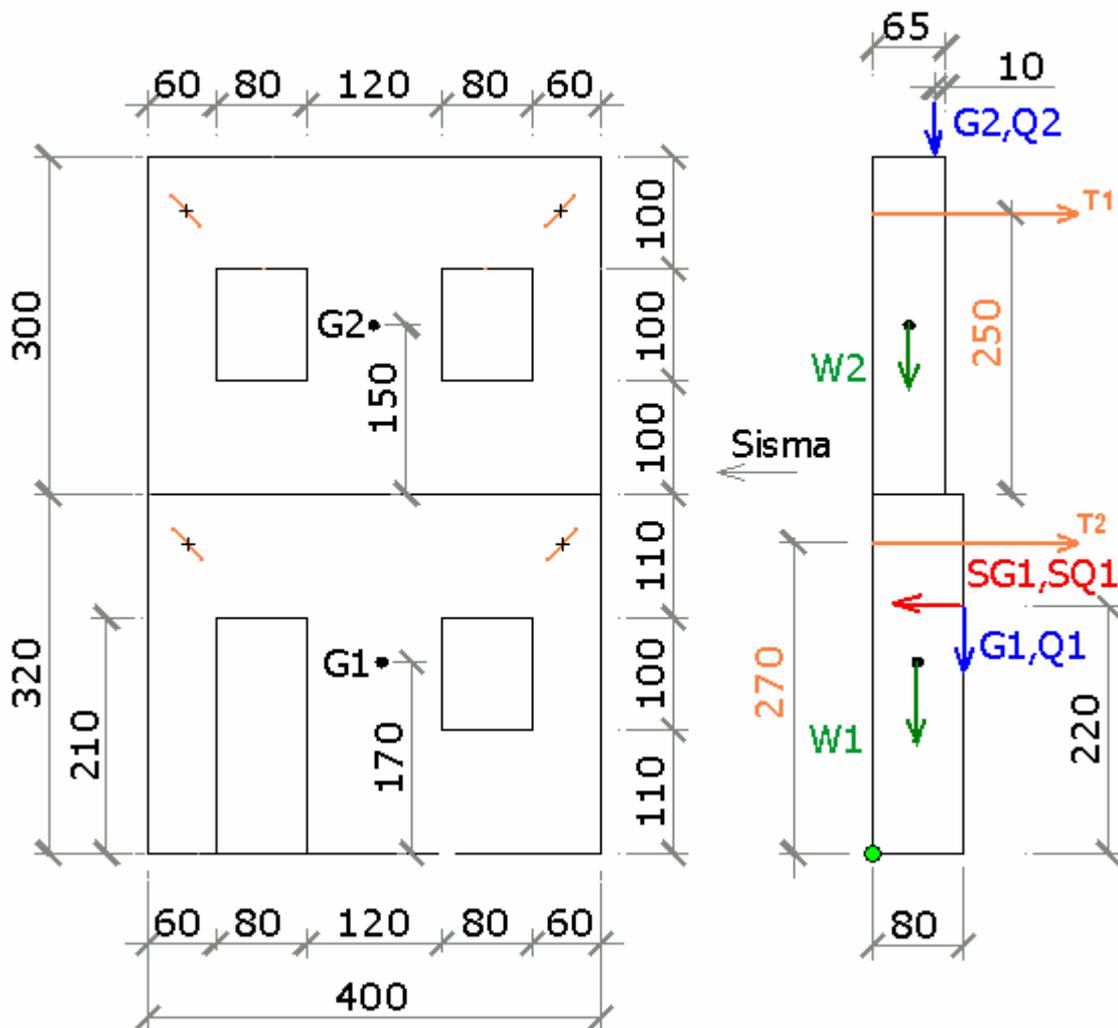


Fig. 41.

Eseguiamo nuovamente le verifiche che non erano soddisfatte allo stato attuale utilizzando i medesimi file di PC.M, inserendo i tiranti:

- Ribaltamento semplice (S.P.)

Utilizzando con i nuovi dati il file Cd-017 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_DM96" si ottiene (vedi elemento 6/7 del file "Esempio_C55_DM96" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Cinematismo 1: Moltiplicatore di collasso $\alpha,0,1$ (o: $\lambda,1$) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 0.861$

Cinematismo 1: Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C,1 = (\alpha,0 / \alpha,rif) * C,rif = 0.215$

Cinematismo 1: Coeff. sicurezza (DM'96) $C,sic,1 = C / C,v = 3.073$

Cinematismo 2: Moltiplicatore di collasso $\alpha,0,2$ (o: $\lambda,2$) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 1.247$

Cinematismo 2: Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C,2 = (\alpha,0 / \alpha,rif) * C,rif = 0.312$

Cinematismo 2: Coeff. sicurezza (DM'96) $C,sic,2 = C / C,v = 4.453$

Quindi adesso è verificata la sicurezza al riguardo della formazione di questi cinematismi.

- Ribaltamento composto (S.P.)

Si considera la formazione nelle pareti laterali di un cuneo di distacco con apertura 30° gradi, dello stesso materiale e spessore della parete considerata.

Utilizzando il file Cd-017 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_DM96" si ottiene (vedi elemento 7/7 del file "Esempio_C55_DM96" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Cinematismo 1: Moltiplicatore di collasso $\alpha,0,1$ (o: $\lambda,1$) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 0.658$

Cinematismo 1: Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C,1 = (\alpha,0 / \alpha,rif) * C,rif = 0.165$

Cinematismo 1: Coeff. sicurezza (DM'96) $C,sic,1 = C / C,v = 2.350$

Cinematismo 1: Moltiplicatore di collasso $\alpha,0,2$ (o: $\lambda,2$) = $(M_S - M_{R2}) / M_{R1} = 1.032$

Cinematismo 1: Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C,2 = (\alpha,0 / \alpha,rif) * C,rif = 0.258$

Cinematismo 1: Coeff. sicurezza (DM'96) $C,sic,2 = C / C,v = 3.685$

Era già verificata la sicurezza al riguardo della formazione di questo cinematismo, adesso la situazione è notevolmente migliorata.

- Flessione verticale di una fascia piena di larghezza 120 cm (S.P.)

Per questo cinematismo già verificato non si hanno cambiamenti, quindi risulta ancora:

Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C = (\alpha,0 / \alpha,rif) * C,rif = 0.228$

Coeff. sicurezza (DM'96) $C,sic = C / C,v = 3.259$

- Flessione orizzontale della fascia soprafinestra (S.P.)

Per questo cinematismo già verificato non si hanno cambiamenti, quindi risulta ancora:

Coeff.sismico sopportabile (DM'96) $C = (\alpha,0 / \alpha,rif) * C,rif = 0.600$

Coeff. sicurezza (DM'96) $C,sic = C / C,v = 8.5$

C.5.5.2. COMPILAZIONE SCHEDE DA ALLEGARE AL PROGETTO ESECUTIVO (DM'96)

La normativa emanata per gli eventi sismici più recenti, a partire dal sisma 1997 in Umbria e Marche, ha previsto la compilazione di schede di accompagnamento ai progetti recanti i valori ottenuti dall'analisi per i coefficienti sismici 'sostenibili' dall'edificio, con confronto fra stato attuale (stato di fatto, o pre-evento, corrispondente all'edificio ricondotto alla sua configurazione originaria, alla quale sono corrisposti i danni rilevati) e stato di progetto (configurazione consolidata per incrementare la capacità antisismica dell'edificio), e con confronto fra valore raggiunto allo stato di progetto e soglia di riferimento secondo classificazione normativa.

Nell'ambito dell'applicazione del DM'96, i coefficienti sostenibili coincidono con i coefficienti sismici C che possono essere incassati dalla struttura: a tali valori, cioè,

corrispondono verifiche di resistenza soddisfatte, mentre per ulteriori incrementi di C uno o più elementi strutturali ha almeno una verifica (fra quelle considerate) non più soddisfatta.

Si riporta di seguito un esempio di compilazione relativo al caso precedente: sono riempiti solo i campi che riguardano le verifiche dei cinatismi.

G.4.2 - VERIFICA SISMICA (in applicazione del D.M. 16/01/96 - Allegato C punto 5.6.5. decreto CD n. 35-2003)

Coefficiente di amplificazione locale S	Coefficiente sismico (relativo alla zona sismica) C	Coefficiente di protezione sismica I	Livello di protezione sismica I.p.s.	Coefficiente sismico per le verifiche C_v
1.00	0.07	1.00	1.00	0.07

Verifica sismica sulla struttura non danneggiata (situazione precedente l'evento sismico)					
TIPO DI VERIFICA	Tipo di analisi (locale/globale)	Livello di verifica	Minimo coefficiente sismico sopportabile C_0	TIPO DI MECCANISMO	coefficiente sismico sopportabile C_0
Verifica di resistenza per azioni nel piano				Ribaltamento semplice	0.020
Verifica di resistenza per azioni fuori dal piano				Ribaltamento composto	0.071
Verifica di resistenza per crisi dei collegamenti				Flessione verticale	0.228
				Flessione orizzontale	0.600

Verifica sismica sulla struttura consolidata (secondo le ipotesi di intervento)					
TIPO DI VERIFICA	Tipo di analisi (locale/globale)	Livello di verifica	Minimo coefficiente sismico sopportabile C_{fin}	TIPO DI MECCANISMO	coefficiente sismico sopportabile C_{fin}
Verifica di resistenza per azioni nel piano				Ribaltamento semplice	0.215
Verifica di resistenza per azioni fuori dal piano				Ribaltamento composto	0.165
Verifica di resistenza per crisi dei collegamenti				Flessione verticale	0.228
				Flessione orizzontale	0.600

Esito delle verifiche sismiche (D.M. 16/01/96)					
TIPO DI VERIFICA	$C_{fin} \geq C_0$	$C_{fin} \geq C_v$	TIPO DI MECCANISMO	$C_{fin} \geq C_0$	$C_{fin} \geq C_v$
Verifica di resistenza per azioni nel piano			Ribaltamento semplice	0.215 > 0.020	0.215 > 0.07
Verifica di resistenza per azioni fuori dal piano			Ribaltamento composto	0.165 > 0.071	0.165 > 0.07
Verifica di resistenza per crisi dei collegamenti			Flessione verticale	0.228 = 0.228	0.228 > 0.07
			Flessione orizzontale	0.600 = 0.600	0.600 > 0.07

Fig. 42.

PRECISAZIONI AL RIGUARDO DELLA ATTUAZIONE INTERVENTI DI RECUPERO POST-SISMA NELLA REGIONE MOLISE

Il calcolo condotto per i meccanismi di collasso (Analisi Cinematica di PC.M) o per l'analisi globale (comportamento a taglio, a pressoflessione nel piano e a pressoflessione fuori piano, analizzato in PC.M) prevede il confronto fra

Coefficiente Sismico sopportabile C (=C,0 allo Stato Attuale e C,fin allo Stato di Progetto);
ed il

Coefficiente Sismico per le Verifiche C,V.

Si definisce Coefficiente Sismico di Riferimento: $C_{,rif} = (S-2)/100$, essendo S il grado di sismicità della zona sismica di ubicazione dell'edificio.

Normalmente: $C_{,V} = C_{,rif}$

tuttavia, in interventi di ricostruzione post-sismica e più in generale ove si voglia consentire un adeguamento calibrato su un livello di azione sismica inferiore rispetto a quello richiesto per edifici nuovi, si 'riduce' il valore del C di riferimento applicandogli un coefficiente <1, detto 'livello di protezione sismica' (l.p.s.), utilizzato per la prima volta nel 1998 (post-sisma Umbria e Marche), pari ad esempio a 0.65 (edifici privati, interventi di ricostruzione post-sisma).

Di conseguenza, si ha:

$$C_{,V} = \text{l.p.s.} * C_{,rif}$$

e quindi ad esempio in zona sismica S=9 ($C_{,rif}=0.07$), con l.p.s. 0.65, si ha:

$$C_{,V} = 0.65 * 0.07 = 0.0455$$

Nel C calcolato (il valore sostenibile per l'edificio, derivante dall'analisi strutturale) confluiscono altri coefficienti correttivi dell'azione sismica:

il coefficiente di fondazione (ϵ) oggi più correttamente identificato come 'fattore di suolo' S (da non confondere col grado di sismicità!);

il coefficiente di protezione (I) oggi chiamato 'fattore di importanza' γ,I :

entrambi possono assumere valori ≥ 1.00 , più esattamente: S è tanto maggiore quanto più probabile è un effetto amplificativo del terreno di fondazione; γ,I è più elevato quanto più importante e strategica è la funzione dell'edificio. Entrambi contribuiscono quindi a diminuire la soglia di sostenibilità dell'azione sismica. A parità, cioè, di sovrastruttura, edifici fondati su terreni meno favorevoli e/o edifici più importanti, subiscono una diminuzione di capacità antisismica.

In PC.M, S e γ,I determinano quindi il valore del C sostenibile (in diminuzione, quando tali coefficienti sono > 1.00).

Si suppone inoltre che l'eventuale coefficiente di amplificazione topografica $S,T > 1$ confluisca nel valore definito per S (ponendo il valore di S in input pari a $S*S,T$).

Compilando le schede di accompagnamento al progetto della Regione Molise si dovrà tenere conto di questa impostazione.

Qualora nella scheda si richieda in ogni caso (cioè anche con $\text{l.p.s.} < 1$): $C_{,V} = C_{,rif}$ occorrerà allora applicare l'eventuale $\text{l.p.s.} < 1$ al calcolo del C sostenibile, dividendo il valore sostenibile calcolato da PC.M per l.p.s.

Si supponga ad esempio che PC.M proponga, per un'analisi a taglio di uno Stato Attuale: $C_{,0} = 0.038 < \text{l.p.s.} * C_{,rif} = 0.0455$ (con $\text{l.p.s.} = 0.65$) da cui si ha un coefficiente di sicurezza: $0.038 / 0.0455 = 0.835 < 1$, verifica non soddisfatta.

Il confronto è identico se il coefficiente l.p.s. viene 'spostato' al termine a sinistra:

$$C_{,0} = 0.038 / \text{l.p.s.} = 0.0585 < C_{,rif} = 0.07$$

Si ottiene infatti, ovviamente, il medesimo coefficiente di sicurezza:

$$0.0585 / 0.07 = 0.835.$$

C.5.5.3. VERIFICHE SECONDO OPCM 3274

Sono necessari come ulteriori dati:

- il Coeff. di amplificazione locale **S** (indicato con ε nel DM'96) = 1
- il Fattore di Importanza **γ, I** (Coeff. di Protezione **I** nel DM'96) = 1
già indicati per la verifica precedente, con altro nome, come specificato.

Nell'ottica di una verifica locale si preferisce considerare la totalità del carico agente e quindi si pongono i coefficienti $\psi_{,2i}$ e $\phi_{,i}$ pari a 1.

- l'accelerazione al suolo di riferimento **$a_{,g,rif}$** = 0.25 g

L'accelerazione al suolo per le verifiche **$a_{,g,v}$** risulta quindi = $\gamma, I * I_{,ps} * a_{,g,rif}$ = 0.25 g

STATO ATTUALE (S.A.)

Non cambiano i cinematismi da studiare:

- Ribaltamento semplice di tutta la parete e della sola parete del piano primo;
- Ribaltamento composto, con formazione di cuneo di distacco di tutta la parete e della sola parete del piano primo;
- Flessione verticale di una fascia piena;
- Flessione orizzontale della fascia orizzontale soprafinestra.

Verifichiamo con PC.M i relativi coefficienti: si riportano in **verde** i valori di accelerazione al suolo sopportabile (**$a_{,g,DS}$**) che risultano maggiori dell'accelerazione al suolo per le verifiche (**$a_{,g,rif}$** = 0.25 g), in **rosso** i valori minori della stessa, che dunque non soddisfano la verifica.

- Ribaltamento semplice (S.A.)

Utilizzando il file Co-017 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_OPCM 3274" si ottiene (vedi elemento 1/7 del file "Esempio_C55_OPCM3274" contenuto nella cartella Apprendi):

(Cinematismo 1 = ribaltamento di tutta la parete intorno alla base)

(Cinematismo 2 = ribaltamento della sola parete del piano primo)

Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{,0,1}$** (o: **$\lambda_{,1}$**) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1}$ = **0.079**

Frazione di massa partecipante **$e^*_{,1}$** = $g M^*_{,1} / P_{tot,1}$ = **0.797**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **$a_{,0^*,1}$** (* g) = $\alpha_{,0,1} g / e^*_{,1}$ = **0.099**

Acc.al suolo sopportabile (DS) **$a_{,g,DS,1}$** (* g) = $(q a_{,0^*,1}) / S / (1 + 1.5 z_{,Pf1} / H_{,f1})$ = **0.113**

Rapporto $a_{,g,DS,1} / a_{,g,v}$ (**$\eta_{,1}$**) = $(a_{,g,DS,1} / a_{,g,v}) = (a_{,0^*,1} / a^*_{,1})$ = **0.454**

Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{,0,2}$** (o: **$\lambda_{,2}$**) = $(M_{S,2} - M_{R2,2}) / M_{R1,2}$ = **0.209**

Frazione di massa partecipante **$e^*_{,2}$** = $g M^*_{,2} / P_{tot,2}$ = **0.919**

Acc.spettrale attivazione meccanismo **$a_{,0^*,2}$** (* g) = $\alpha_{,0,2} g / e^*_{,2}$ = **0.227**

Acc.al suolo sopportabile (DS) **$a_{,g,DS,2}$** (* g) = $(q a_{,0^*,2}) / S / (1 + 1.5 z_{,Pf2} / H_{,f2})$ = **0.208**

Rapporto $a_{,g,DS,2} / a_{,g,v}$ (**$\eta_{,2}$**) = $(a_{,g,DS,2} / a_{,g,v}) = (a_{,0^*,2} / a^*_{,2})$ = **0.833**

Quindi non è verificata la sicurezza al riguardo della formazione di questi cinematismi.

- Ribaltamento composto (S.A.)

Si considera la formazione nelle pareti laterali di un cuneo di distacco con apertura 30° gradi, dello stesso materiale e spessore della parete considerata.

Utilizzando il file Co-017 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_OPCM 3274" si ottiene: (vedi elemento 2/7 del file "Esempio_C55_OPCM3274" contenuto nella cartella Apprendi):

Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{,0,1}$** (o: **$\lambda_{,1}$**) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1}$ = **0.285**

Frazione di massa partecipante $e^*,1 = g M^*,1 / P_{tot,1} = 0.889$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0^*,1 (*g) = \alpha,0,1 g / e^*,1 = 0.321$

Acc.al suolo sopportabile (DS) $a,g,DS,1 (*g) = (q a,0^*,1) / S / (1 + 1.5 z, Pf1 / H, f1) = 0.347$

Rapporto $a,g,DS,1 / ag,v (\eta,1) = (a,g,DS,1 / a,g,v) = (a,0^*,1 / a^*,1) = 1.339$

Moltiplicatore di collasso $\alpha,0,2 (o: \lambda,2) = (M_{S,2} - M_{R2,2}) / M_{R1,2} = 0.346$

Frazione di massa partecipante $e^*,2 = g M^*,2 / P_{tot,2} = 0.942$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0^*,2 (*g) = \alpha,0,2 g / e^*,2 = 0.368$

Acc.al suolo sopportabile (DS) $a,g,DS,2 (*g) = (q a,0^*,2) / S / (1 + 1.5 z, Pf2 / H, f2) = 0.333$

Rapporto $a,g,DS,2 / ag,v (\eta,2) = (a,g,DS,2 / a,g,v) = (a,0^*,2 / a^*,2) = 1.333$

Quindi la sicurezza rispetto alla formazione di questi cinematismi è verificata.

- Flessione verticale di una fascia piena di larghezza 120 cm (S.A.)

Utilizzando il file Co-008 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_OPCM 3274" si ottiene:

a) considerando che la formazione della cerniera intermedia interessi solo una fascia verticale al piano terreno di larghezza 120 cm e altezza 320 cm (vedi elemento 3/7 del file "Esempio_C55_OPCM3274" contenuto nella cartella Apprendi"):

Moltiplicatore di collasso $\alpha,0 (o: \lambda) = vd.fig. = 1.475$

Frazione di massa partecipante $e^* = g M^* / (P+W) = 0.900$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0^* (*g) = \alpha,0 g / e^* = 1.639$

Acc.al suolo sopportabile (DS) $a,g,DS (*g) = (q a,0^*) / S / (1 + 1.5 z, P / H, f) = 1.734$

Rapporto $a,g,DS / ag,v (\eta) = (a,g,DS / a,g,v) = (a,0^* / a^*) = 6.937$

b) considerando che la formazione della cerniera intermedia interessi solo una fascia verticale al piano primo di larghezza 120 cm e altezza 300 cm (vedi elemento 4/7 del file "Esempio_C54_OPCM3274" contenuto nella cartella Apprendi"):

Moltiplicatore di collasso $\alpha,0 (o: \lambda) = vd.fig. = 0.913$

Frazione di massa partecipante $e^* = g M^* / (P+W) = 1.000$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0^* (*g) = \alpha,0 g / e^* = 0.913$

Coefficiente di sicurezza (SL DS) $\eta = a,0^* / a^* = 3.416$

Acc.al suolo sopportabile (DS) $a,g,DS (*g) = (q a,0^*) / S / (1 + 1.5 z, P / H, f) = 0.854$

Rapporto $a,g,DS / ag,v (\eta) = (a,g,DS / a,g,v) = (a,0^* / a^*) = 3.416$

Quindi la sicurezza rispetto alla formazione di questi cinematismi è verificata.

- Flessione orizzontale della fascia soprafinestra (S.A.)

Utilizzando il file Co-010 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_OPCM 3274" si ottiene (vedi elemento 5/7 del file "Esempio_C55_OPCM3274" contenuto nella cartella Apprendi"):

Moltiplicatore di collasso $\alpha,0 (o: \lambda) = 2.401$

Frazione di massa partecipante $e^* = g M^* / [\Sigma(G_i + \psi_2 \phi^* Q_i) + (g + \psi_2 \phi^* q) a + W] = 1.000$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0^* (*g) = \alpha,0 g / e^* = 2.401$

Acc.al suolo sopportabile (DS) $a,g,DS (*g) = (q a,0^*) / S / (1 + 1.5 z, P / H, f) = 1.990$

Rapporto $a,g,DS / ag,v (\eta) = (a,g,DS / a,g,v) = (a,0^* / a^*) = 7.960$

Quindi la verifica rispetto al verificarsi di questo cinematismo è verificata.

STATO DI PROGETTO (S.P.)

Le verifiche secondo OPCM 3274 seppur diverse da quelle effettuate secondo il DM'96 evidenziano i medesimi problemi e quindi si può ipotizzare nello stato di progetto, come nel caso precedente, l' inserimento di tiranti in sommità ad altezza 250 cm dal piano intermedio in grado di esplicare una risultante ultima di trazione pari a 12000 kg e l' inserimento di tiranti intermedi ad altezza 270 cm da terra, in grado anch'essi di sviluppare una forza ultima di 12000 kg ed eseguire le relative verifiche.

Eseguiamo nuovamente le verifiche che non erano soddisfatte allo stato attuale utilizzando i medesimi file di PC.M, inserendo i tiranti:

- Ribaltamento semplice (S.P.)

Utilizzando il file Co-017 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_OPCM 3274" si ottiene (vedi elemento 6/7 del file "Esempio_C55_OPCM3274" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

(Cinematismo 1 = ribaltamento di tutta la parete intorno alla base)

(Cinematismo 2 = ribaltamento della sola parete del piano primo)

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{0,1}$ (o: $\lambda_{,1}$) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1} = 0.861$

Frazione di massa partecipante $e^*,1 = g M^*,1 / P_{tot,1} = 0.797$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a_{0,1} (*g) = \alpha_{0,1} g / e^*,1 = 1.079$

Acc.al suolo sopportabile (DS) $a_{g,DS,1} (*g) = (q a_{0,1}) / S / (1 + 1.5 z_{,Pf1} / H_{,f1}) = 1.237$

Rapporto $a_{g,DS,1} / a_{g,v} (\eta_{,1}) = (a_{g,DS,1} / a_{g,v}) = (a_{0,1} / a^*,1) = 4.950$

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{0,2}$ (o: $\lambda_{,2}$) = $(M_{S,2} - M_{R2,2}) / M_{R1,2} = 1.247$

Frazione di massa partecipante $e^*,2 = g M^*,2 / P_{tot,2} = 0.919$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a_{0,2} (*g) = \alpha_{0,2} g / e^*,2 = 1.357$

Acc.al suolo sopportabile (DS) $a_{g,DS,2} (*g) = (q a_{0,2}) / S / (1 + 1.5 z_{,Pf2} / H_{,f2}) = 1.242$

Rapporto $a_{g,DS,2} / a_{g,v} (\eta_{,2}) = (a_{g,DS,2} / a_{g,v}) = (a_{0,2} / a^*,2) = 4.970$

Quindi adesso è verificata la sicurezza al riguardo della formazione di questi cinematismi.

- Ribaltamento composto (S.P.)

Utilizzando il file Co-017 del Gruppo "Cinematismi_Muratura_OPCM 3274" si ottiene (vedi elemento 7/7 del file "Esempio_C55_OPCM3274" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{0,1}$ (o: $\lambda_{,1}$) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1} = 0.658$

Frazione di massa partecipante $e^*,1 = g M^*,1 / P_{tot,1} = 0.889$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a_{0,1} (*g) = \alpha_{0,1} g / e^*,1 = 0.740$

Acc.al suolo sopportabile (DS) $a_{g,DS,1} (*g) = (q a_{0,1}) / S / (1 + 1.5 z_{,Pf1} / H_{,f1}) = 0.800$

Rapporto $a_{g,DS,1} / a_{g,v} (\eta_{,1}) = (a_{g,DS,1} / a_{g,v}) = (a_{0,1} / a^*,1) = 3.200$

Moltiplicatore di collasso $\alpha_{0,2}$ (o: $\lambda_{,2}$) = $(M_{S,2} - M_{R2,2}) / M_{R1,2} = 1.032$

Frazione di massa partecipante $e^*,2 = g M^*,2 / P_{tot,2} = 0.942$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a_{0,2} (*g) = \alpha_{0,2} g / e^*,2 = 1.095$

Acc.al suolo sopportabile (DS) $a_{g,DS,2} (*g) = (q a_{0,2}) / S / (1 + 1.5 z_{,Pf2} / H_{,f2}) = 0.993$

Rapporto $a_{g,DS,2} / a_{g,v} (\eta_{,2}) = (a_{g,DS,2} / a_{g,v}) = (a_{0,2} / a^*,2) = 3.971$

Risultava già verificata la sicurezza al riguardo della formazione di questo cinematismo.

- Flessione orizzontale della fascia soprafinestra (S.P.)

Per questo cinematismo già verificato non si hanno cambiamenti, quindi risulta ancora:
Moltiplicatore di collasso $\alpha,0$ (o: λ) = **2.401**

Frazione di massa partecipante $e^* = g M^* / [\Sigma(G_i + \psi_2 \phi^* Q_i) + (g + \psi_2 \phi^* q)^* a + W] = **1.000**$

Acc.spettrale attivazione meccanismo $a,0^* (* g) = \alpha,0 g / e^* = **2.401**$

Acc.al suolo sopportabile (DS) $a,g,DS (* g) = (q a,0^*) / S / (1 + 1.5 z,P / H,f) = **1.990**$

Rapporto $a,g,DS / a,g,v (\eta) = (a,g,DS / a,g,v) = (a,0^* / a^*) = **7.960**$

C.5.5.4. COMPILAZIONE SCHEDE DA ALLEGARE AL PROGETTO ESECUTIVO (OPCM 3274)

In applicazione dell'OPCM3274 e s.m.i., il percorso operativo è concettualmente analogo quello relativo al D.M.'96, ma il parametro di riferimento è l'accelerazione al suolo (a,g o PGA), anziché il coefficiente sismico C .

Il calcolo condotto per i meccanismi di collasso (Analisi Cinematica di PC.M) o per l'analisi globale (comportamento a taglio, a pressoflessione nel piano e a pressoflessione fuori piano, analizzato in PC.E) prevede il confronto fra

Accelerazione al suolo sopportabile a,g ($=a,g,0$ allo Stato Attuale e a,g,fin allo Stato di Progetto) (corrisponde al valore che determina la soglia di passaggio fra verifica soddisfatta e non; in Analisi Cinematica, tale soglia corrisponde all'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo) ed il

Accelerazione al suolo di verifica a,g,V

Si definisce Accelerazione al suolo di Riferimento: a,g,rif il valore previsto dalla vigente zonizzazione sismica; per esempio, salvo dati locali, in zona 2: $a,g,rif = 0.25 g$.

Normalmente: $a,g,V = a,g,rif$

tuttavia, in interventi di ricostruzione post-sismica e più in generale ove si voglia consentire un adeguamento calibrato su un livello di azione sismica inferiore rispetto a quello richiesto per edifici nuovi, si 'riduce' il valore di a,g,rif applicandogli un coefficiente <1 , detto 'livello di protezione sismica' (l.p.s.), pari ad esempio a 0.65 (edifici privati, interventi di ricostruzione post-sisma). Inoltre, il valore di a,g,rif viene incrementato dell'eventuale fattore di importanza γ,I :

Di conseguenza, si ha:

$$a,g,V = \gamma,I * l,ps * a,g,rif$$

e quindi ad esempio con $a,g,rif = 0.25 g$, con l.p.s. 0.65 e $\gamma,I = 1.00$, si ha:

$$a,g,V = 1.00 * 0.65 * 0.25 = 0.1625$$

Nell'accelerazione al suolo sopportabile a,g calcolata (il valore sostenibile per l'edificio, derivante dall'analisi strutturale) confluisce il fattore di suolo S , direttamente presente nella formulazione dello spettro di risposta (a differenza di g,I che in questo contesto confluisce nel termine di confronto $[a,g,V]$ anziché nel termine calcolato, diversamente rispetto all'ambito D.M.'96).

Si suppone inoltre che l'eventuale coefficiente di amplificazione topografica $S,T > 1$ confluisca nel valore definito per S (ponendo il valore di S in input pari a $S*S,T$).

Compilando le schede di accompagnamento al progetto della Regione Molise si dovrà tenere conto di questa impostazione.

Qualora nella scheda si richieda in ogni caso (cioè anche con l.p.s. <1): $a,g,V = a,g,rif$ occorrerà allora applicare gli eventuali l.p.s. <1 e $\gamma,I>1$ al calcolo dell' a,g sostenibile, dividendo il valore calcolato per l.p.s. e per γ,I .

Una volta effettuate tutte le verifiche è possibile compilare le schede di accompagnamento al progetto esecutivo. Si riporta come esempio un estratto dalle schede della Regione Molise - Decreto n.10 del 25 gennaio 2006 relativo alle verifiche secondo OPCM 3274: sono compilati solo i campi che riguardano le verifiche dei cinematismi.

AEDES: PC.M-ESP, Versione 2009. Analisi Cinematica. C. Esempi Applicativi

REGIONE MOLISE - Decreto n.10 del 25 gennaio 2006
 Approvazione "Protocollo di Progettazione per gli Interventi su Immobili Privati per la Ricostruzione Post-Sisma redatti in attuazione della Direttiva Tecnica del C.T.S. approvata con Decreto Commissariale n. 35/2005"
 PARTE I - EDIFICI IN MURATURA
 Scheda di accompagnamento al progetto esecutivo di ricostruzione (Scheda P.E.R.)
 (file: 1-SCHEDA-PER.xls)

G.4.1 - VERIFICA SISMICA (in conformità all'Ordinanza del PCM n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i.)

Coefficiente di amplificazione locale S	Fattore di importanza della struttura γ_i	Accelerazione di picco al suolo di riferimento $a_{g,rif}$	Livello di protezione sismica l.p.s.	Accelerazione sismica di verifica su roccia $a_{g,v}$
1.00	1.00	0.25	1.00	0.25

Verifica sismica sulla struttura non danneggiata (situazione precedente l'evento sismico)						
TIPO DI VERIFICA	Tipo di analisi (locale/globale)	Livello di verifica	Accelerazione spettrale (stato limite DL) S_a (DL)	Accelerazione spettrale (stato limite DS) S_a (DS)	Accelerazione di picco su roccia (stato limite DL) $a_{g,0}$ (DL)	Accelerazione di picco su roccia (stato limite DS) $a_{g,0}$ (DS)
Verifica di resistenza per azioni nel piano						
Verifica di resistenza per azioni fuori dal piano						
Verifica di resistenza per crisi dei collegamenti						
TIPO DI MECCANISMO	Localizzazione del macroelemento	Moltiplicatore di collasso minimo α_0	Frazione di massa partecipante e^*	Accelerazione spettrale a_0^*	Accelerazione di picco su roccia (stato limite DL) $a_{g,0}$ (DL)	Accelerazione di picco su roccia (stato limite DS) $a_{g,0}$ (DS)
Ribaltamento semplice		0.079	0.797	0.099 g		0.113 g
Ribaltamento composto		0.346	0.942	0.368 g		0.333 g
Flessione verticale		0.913	1.000	0.913 g		0.854 g
Flessione orizzontale		2.401	1.000	2.401 g		1.990 g

Fig. 43.

Verifica sismica sulla struttura consolidata (secondo le ipotesi di intervento)						
TIPO DI VERIFICA	Tipo di analisi (locale/globale)	Livello di verifica	Accelerazione spettrale (stato limite DL) S_a (DL)	Accelerazione spettrale (stato limite DS) S_a (DS)	Accelerazione di picco su roccia (stato limite DL) $a_{g,fin}$ (DL)	Accelerazione di picco su roccia (stato limite DS) $a_{g,fin}$ (DS)
Verifica di resistenza per azioni nel piano						
Verifica di resistenza per azioni fuori dal piano						
Verifica di resistenza per crisi dei collegamenti						
TIPO DI MECCANISMO	Localizzazione del macroelemento	Moltiplicatore di collasso minimo α_0	Frazione di massa partecipante e^*	Accelerazione spettrale a_0^*	Accelerazione di picco su roccia (stato limite DL) $a_{g,fin}$ (DL)	Accelerazione di picco su roccia (stato limite DS) $a_{g,fin}$ (DS)
Ribaltamento semplice		0.861	0.797	1.079 g		1.237 g
Ribaltamento composto		0.658	0.889	0.740 g		0.800 g
Flessione verticale		0.913	1.000	0.913 g		0.854 g
Flessione orizzontale		2.401	1.000	2.401 g		1.990 g

PARAMETRI DI CONVERSIONE DELL'ACCELERAZIONE SPETTRALE IN ACCELERAZIONE DI PICCO AL SUOLO (PGA)				
STATO LIMITE	Partecipazione modale α_{PM}	Amplificazione spettrale α_{AD}	Capacità dissipative α_{DS}	Coefficiente di struttura α_{DUT}
Danno Leggero (DL)				
Danno Severo (DS)				

Esito delle verifiche sismiche (Ordinanza del PCM n. 3274 del 20/03/2003)			
TIPO DI VERIFICA	$a_{g,fin}$ (DL) $\geq a_{g,0}$ (DL)	$a_{g,fin}$ (DS) $\geq a_{g,0}$ (DS)	$a_{g,fin}$ (DS) $\geq a_{g,v}$
Verifica di resistenza per azioni nel piano			
Verifica di resistenza per azioni fuori dal piano			
Verifica di resistenza per crisi dei collegamenti			
TIPO DI MECCANISMO	$a_{g,fin}$ (DL) $\geq a_{g,0}$ (DL)	$a_{g,fin}$ (DS) $\geq a_{g,0}$ (DS)	$a_{g,fin}$ (DS) $\geq a_{g,v}$
Ribaltamento semplice		1.237 g > 0.113 g	1.237 g > 0.250 g
Ribaltamento composto		0.800 g > 0.333 g	0.800 g > 0.250 g
Flessione verticale		0.854 g = 0.854 g	0.854 g > 0.250 g
Flessione orizzontale		1.990 g = 1.990 g	1.990 g > 0.250 g

Fig. 44.

C.5.6. OSSERVAZIONI COMPLEMENTARI

Si ricorda che le tre parti relative a:
Verifica di resistenza per azioni nel piano,
Verifica di resistenza per azioni fuori dal piano,
Verifica di resistenza per crisi dei collegamenti,
possono essere analizzate con l'analisi globale di PC.M (secondo il DM'96)
o di PC.E (secondo l'OPCM 3274).

- Secondo il DM'96, PC.M fornisce tutti i risultati in termini di coefficienti C sostenibili, in modo del tutto analogo a quanto già previsto dalla normativa di ricostruzione antisismica adottata dalle Regioni Umbria e Marche a seguito del sisma 1997 (norme facenti capo alle direttive di applicazione della legge 61/98).

- Secondo l'OPCM 3274, PC.E fornisce i risultati necessari per la compilazione delle schede, secondo il seguente schema riassuntivo:
- l'analisi globale lineare dà i risultati relativi verifica di resistenza per azioni nel piano e quella per azioni fuori del piano (condotte secondo il punto 4.9 dell'OPCM 3274) separatamente;
- l'analisi pushover (globale non lineare) fornisce i risultati di a, g (o PGA, DS) che possono essere assunti come riepilogativi delle azioni nel piano e fuori dal piano, dal momento che lo schema 3D viene risolto e sottoposto a verifica considerando per ogni parete sia il contributo complanare che quello ortogonale al proprio piano; se comunque si desidera enucleare il risultato della pressoflessione ortogonale condotta secondo il punto 4.9 dell'OPCM 3274, esso dovrà essere tratto dai risultati dell'analisi lineare.

La verifica di resistenza per crisi dei collegamenti è implicita nelle verifiche dei meccanismi locali qualora ad es. gli sforzi di ancoraggio delle catene siano stati adeguatamente calibrati in base alle capacità resistenti della muratura. Non si devono cioè specificare tiri stabilizzanti superiori alle capacità di ancoraggio della muratura e del dispositivo stesso di ancoraggio.

Un'utility finalizzata al calcolo degli sforzi di ancoraggio è presente in PC.M (finestra Dati Pareti) e viene fornita anche come elemento predefinito di PC.M-ESP (gruppo: 'Varie_Murature', affiancato ai due gruppi dei cinematismi)

In PC.M, tradizionalmente, la verifica a ribaltamento rigido (che è di fatto una verifica a meccanismo di collasso, e in tal senso potrebbe anche essere bypassata dall'esecuzione dettagliata delle varie verifiche per meccanismi di collasso) viene condotta considerando l'idoneità degli ancoraggi, e quindi in tal senso può essere utilizzata per definire la 'resistenza per crisi dei collegamenti'.

In uno Stato Attuale, peraltro, i collegamenti potrebbero essere anche assenti, per cui in tal caso la compilazione dei campi relativi alla crisi per collegamenti non avverrà.

In sintesi:

preso atto che:

le verifiche locali per meccanismi di collasso devono necessariamente essere eseguite, e che se ne riporteranno in scheda i risultati secondo modalità precedentemente illustrate,

pertanto:

qualora in tali verifiche si sia cautelati, nei valori dei parametri utilizzati allo stato attuale e/o allo stato di progetto, nei confronti degli ancoraggi degli elementi resistenti (p.es. utilizzando tiri stabilizzanti che rispettino comunque le verifiche del capochiave di catene, o di punzonamento della muratura, o di delaminazione del rinforzo in FRP), si può considerare superflua la compilazione dei campi relativi alla crisi per collegamenti.

Per avvalorare questa posizione, si consideri che la determinazione dell'input sismico sostenibile (sia esso C secondo DM'96 o a, g secondo OPCM3274) non può che derivare dall'analisi della struttura nella sua completezza, sia essa una porzione locale (la parete vista come meccanismo di collasso locale), sia essa la struttura complessiva (analisi globale dell'organismo murario delle pareti nel suo insieme). In altre parole, non è possibile 'estrarre' un sotto-elemento (tipo la catena) per ricavarne un valore di C o a, g : la funzione della catena viene appunto correttamente descritta inserendone l'effetto nell'ambito dell'analisi della parete muraria (p.es. il cinematismo di ribaltamento), ed è da questa analisi che si ricava il valore di C o a, g .

C.5.7: OSSERVAZIONI SU DM'96 PUNTO B.8.2: VERIFICHE DEL SECONDO GRUPPO

Le verifiche cinematiche non compaiono esplicitamente nel D.M.'96: questo permette diverse possibilità di interpretazione in merito soprattutto al punto B.8.2 riguardante le combinazioni di carico.

Tale norma infatti affronta solo verifiche di resistenza trattando, nello spirito degli stati limite, sollecitazioni di calcolo e tensioni di confronto: le sollecitazioni di progetto ottenute amplificando le sollecitazioni derivanti dai carichi vengono confrontate con le resistenze di calcolo.

Le verifiche cinematiche invece non chiamano in causa la resistenza: sono verifiche di stabilità, il cui scopo è la valutazione del moltiplicatore di collasso, ossia la stima di quanta percentuale di carico verticale può essere applicata in direzione orizzontale garantendo la stabilità della struttura, vista come corpo rigido.

In questa ottica, non trattandosi di una verifica di resistenza, si potrebbe concludere che per l'analisi cinematica il punto B.8.2 del D.M.'96 non è pertinente.

Questo è l'approccio che è stato seguito fino a questo punto nel presente manuale, per quanto riguarda le analisi secondo DM'96: infatti si sono introdotti i carichi statici da solaio senza coefficienti di amplificazione: $P_{,i} = G_{,i} + Q_{,i}$ (eventualmente, con $Q_{,i} = 0$ se si vogliono considerare solo i permanenti) e si è considerata la conseguente azione orizzontale pari a: $\alpha_0 P_{,i} = \alpha_0 * (G_{,i} + Q_{,i})$.

I cinematismi del primo gruppo (Cd-00X) seguono questa linea.

L'unica formulazione specifica per l'analisi cinematica nelle Normative attualmente in vigore è quella riportata nell'OPCM 3431/2005 (All. 11.C). In questa i pesi propri e i permanenti portati non cambiano di intensità se considerati come carichi verticali o come originanti spinte orizzontali, infatti il generico carico statico proveniente da solaio è del tipo: $P_{stat,i} = G_{,i} + \psi_{,2i} * Q_{,i}$, la spinta sismica da esso originata è: $P_{,i} = G_{,i} + \phi_{,i} * \psi_{,2i} * Q_{,i}$. La differenza è legata solo al coefficiente di correlazione $\phi_{,i}$, definito per tenere conto di masse contemporaneamente presenti ai diversi piani. Tale coefficiente, peraltro, potrebbe essere ignorato in sede di verifica locale, ponendolo direttamente = 1. Questo è il tipo di analisi consentita dai cinematismi del terzo gruppo (Co-00X). Questa norma quindi ci sembra giustificare l'interpretazione descritta precedentemente in merito al DM'96.

E' comunque vero che nella Legge 61, o meglio nei suoi documenti attuativi (Criteri di Calcolo delle Regioni Umbria e Marche), nonché nel Commentario ANIDIS al DM'96 [7], il carico statico da solaio è combinato con i coefficienti di cui al punto.B.8.2 del DM'96: $P_{stat} = \gamma_G * G_{,i} + \gamma_Q * \psi_{,0i} * Q_{,i}$; mentre è considerata come relativa azione orizzontale: $\alpha_0 P_{,i} = \alpha_0 * (G_{,i} + Q_{,i})$. I pesi propri e permanenti portati in conto varierebbero cioè se computati come carichi verticali agenti o come carichi originanti azioni orizzontali.

Ciò sembra poco in linea con lo spirito di un'analisi locale di stabilità di equilibrio, comunque i cinematismi del gruppo (Cb-00X) permettono di seguire questo percorso, introducendo nei calcoli i coefficienti amplificativi γ_G e γ_Q .

Si riporta di seguito un esempio relativo a questa impostazione tratto dal Commentario.

C.5.7.1. ESEMPIO DI ANALISI SECONDO DM'96 PUNTO B.8.2: RIBALTAMENTO DI PARETE BIPIANO

(Esempio tratto da [7], pag.13.37)

Si vuole valutare la sicurezza rispetto al ribaltamento fuori dal piano di una parete bipiano sollecitata da una azione sismica ortogonale alla facciata, rispetto alla formazione di una cerniera alla base della parete inferiore (Cinematismo A) e rispetto alla formazione di una cerniera alla base della parete superiore (Cinematismo B).

Si effettuano le verifiche combinando carichi e sovraccarichi secondo il punto B.8.2. del DM'96.

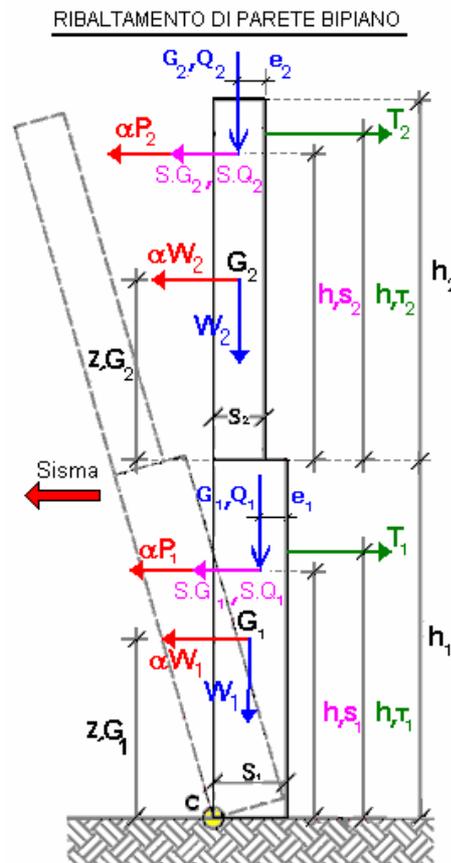


Fig. 45.

PARETE 1 (Piano Terreno)

Larghezza del setto: $a = 100$ cm
 Spessore $s_{,1} = 60$ cm
 Altezza $h_{,1} = 330$ cm
 Carico Permanente $G_{,1} = 359$ kg
 Carico Variabile $Q_{,1} = 446$ kg
 Eccentricità carico $e_{,1} = 15$ cm
 Quota carico da solaio $h_{,S1} = 330$ cm
 Peso specifico muratura $p.s.,1 = 2000$ kg/mc

PARETE 2 (Piano Primo)

Spessore $s_{,2} = 40$ cm
 Altezza $h_{,2} = 330$ cm
 Carico Permanente $G_{,2} = 141$ kg

Carico Variabile $Q,2 = 162 \text{ kg}$
 Eccentricità carico $e,2 = 5 \text{ cm}$
 Quota carico da solaio $h,S2 = 330 \text{ cm}$
 Peso specifico muratura p.s.,2 = 2000 kg/mc

Combinazione di carico 1 ($\gamma,G = 1.4$; $\gamma,Q = 1.5$)

Cinematismo A: ribaltamento intera parete.

- Calcolo moltiplicatore di collasso α_{o1A}

Dapprima si considera la seguente combinazione dei coefficienti moltiplicativi dei carichi, secondo il punto B.8.2 del DM'96 per le azioni statiche:

Coefficiente moltiplicativo dei pesi propri: $\gamma,G = 1.4$;

Coefficiente moltiplicativo dei sovraccarichi variabili: $\gamma,Q = 1.5$.

Il coefficiente di combinazione $\psi,01$ è assunto pari a 0.7.

Si hanno dunque i seguenti carichi:

Piano primo

Peso Proprio: $W,1 = p.s.,1 * (a * s,1 * h,1) = 2000 * (1 * 0.60 * 3.30) = 3960 \text{ kg}$

Carico statico da solaio: $Pstat,1 = \gamma,G * G,1 + \gamma,Q * \psi,01 * Q,1 = 1.4 * 359 + 1.5 * 0.7 * 446 = 970.9 \text{ kg}$

Carico sismico da solaio: $P,1 = G,1 + Q,1 = 359 + 446 = 805 \text{ kg}$

Piano secondo

Peso Proprio: $W,2 = p.s.,2 * (a * s,2 * h,2) = 2000 * (1 * 0.40 * 3.30) = 2640 \text{ kg}$

Carico statico da solaio: $Pstat,2 = \gamma,G * G,2 + \gamma,Q * \psi,02 * Q,2 = 1.4 * 141 + 1.5 * 0.7 * 162 = 367.5 \text{ kg}$

Carico sismico da solaio: $P,2 = G,2 + Q,2 = 141 + 162 = 303 \text{ kg}$

La parete inoltre non è considerata come infinitamente resistente a compressione, ma con una resistenza a compressione pari a $\sigma,c = 10 \text{ kg/cm}^2$, quindi si calcola la relativa distanza della cerniera dal lembo esterno:

Posiz.cerniera da spigolo esterno: $x,C1 = 2 * (\gamma,G * W,1 + \gamma,G * W,2 + Pstat,1 + Pstat,2) / (a * \sigma,c) = 2 * (1.4 * 3960 + 1.4 * 2640 + 970.9 + 367.5) / (100 * 10) = 21.16 \text{ cm}$

Il moltiplicatore di collasso α_{o1A} è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_{o1A} * MomRib11 + MomRib21 - MomStab1 = 0$$

dove il momento Stabilizzante è dato da:

$$MomStab1 = \gamma,G * W,1 * (s,1 / 2 - x,C1) + \gamma,G * W,2 * (s,2 / 2 - x,C1) + Pstat,1 * (s,1 - e,1 - x,C1) + Pstat,2 * (s,2 - e,2 - x,C1) = 1.4 * 3960 * ((0.60 / 2) - 0.2116) + 1.4 * 2640 * ((0.40 / 2) - 0.2116) + 970.9 * (0.60 - 0.15 - 0.2116) + 367.5 * (0.40 - 0.05 - 0.2116) = 729.54 \text{ kg*m}$$

il coefficiente moltiplicativo di α_{o1A} è dato da:

$$MomRib11 = \gamma,G * W,1 * (h,1 / 2) + \gamma,G * W,2 * (h,1 + h,2 / 2) + P,1 * h,S1 + P,2 * (h,1 + h,S2) = 3960 * (3.30 / 2) + 2640 * (3.30 + 3.30 / 2) + 805 * 3.30 + 303 * (3.30 + 3.30) = 24258.3 \text{ kg*m}$$

Poiché non ci sono spinte statiche orizzontali, la parte del momento ribaltante indipendente dal moltiplicatore di collasso in questo caso è nulla:

$$MomRib21 = (\gamma,G * S,G1 + \gamma,q * \psi,01 * S,Q1) h,S1 + (\gamma,G * S,G2 + \gamma,q * \psi,02 * S,Q2) (h,1 + h,S2) = 0$$

il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_{01A} = (\text{MomStab1} - \text{MomRib21}) / \text{MomRib11} = (729.54 - 0) / 24258.3 = 0.030$$

Verifica secondo DM'96

Per eseguire la verifica secondo il DM'96 consideriamo come ulteriori dati:

- Il coeff. di amplificazione locale ϵ (indicato con **S** in OPCM 3274) = 1
- Il coeff. Sismico **C_{rif}** = (Grado Sismicità-2)/100 = 0.07
- Il coeff di Protezione **I** (Fattore di Importanza γ ,**I** in OPCM 3274) = 1
- Il livello di protezione sismica **I_{ps}** = 1

il Moltiplicatore sismico di riferimento risulta quindi ($\beta = 4$):

$$\alpha_{rif} = C_{rif} * \beta * \epsilon * I = 0.07 * 4 * 1 * 1 = 0.28$$

Il Coefficiente sismico per le verifiche è:

$$C_v = I_{ps} * C_{rif} = 1 * 0.07 = 0.07$$

Il Coeff.sismico sopportabile è quindi:

$$C = (\alpha_{01A} / \alpha_{rif}) * C_{rif} = (0.030 / 0.28) * 0.07 = 0.0075$$

Il Coefficiente di sicurezza (DM'96) risulta:

$$C_{Sic96} = C / C_v = 0.0075 / 0.07 = 0.107$$

Analisi cinematica eseguita con PC.M

Immettendo gli stessi dati nel file Cb-002 del secondo Gruppo, Cinematismi_Muratura_DM96_B82 si ottiene: (vedi elemento 1/4 del file "Es_2009_DM96_B82" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Ribaltamento di parete bipiano [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM96_B82 - Nome file: Cb-002]

DATI:

Larghezza **a** (cm) = **100**

Spessore **s,1** (cm) = **60**

Altezza **h,1** (cm) = **330**

Carico Permanente **G,1** (kg) = **359**

Carico Variabile **Q,1** (kg) = **446**

Coeff. ψ_0 per Q,1 (B.8.2, D.M.'96): **$\psi_{0,1} = 0.7$**

Eccentricità carico **e,1** (cm) = **15**

Quota carico da solaio **h,S1** (cm) = **330**

Peso specifico muratura **p.s.,1** (kg/m³) = **2000**

Peso Proprio **W,1** (kg) = **3960**

Quota baricentro da base 1 **z,G1** (cm) = **165**

Resistenza a Compressione **σ_{c1}** (kg/cm²) = **10**

Spessore **s,2** (cm) = **40**

Altezza **h,2** (cm) = **330**

Carico Permanente **G,2** (kg) = **141**

Carico Variabile **Q,2** (kg) = **162**

Coeff. ψ_0 per Q,2 (B.8.2, D.M.'96): **$\psi_{0,2} = 0.7$**

Eccentricità carico **e,2** (cm) = **5**

Quota carico da solaio **h,S2** (cm) = **330**

Peso specifico muratura **p.s.,2** (kg/m³) = **2000**

Peso Proprio **W,2** (kg) = **2640**

Quota baricentro da base 2 **z,G2** (cm) = **165**

Coeff. amplificazione locale **S** (ϵ in D.M.'96) = **1**
 Coeff. sismico (D.M.'96) **C_{rif}** = (Grado Sismicità-2)/100 = **0.07**
 Fattore di Importanza **γ ,I** (Coeff. protezione **I** in D.M.'96) = **1**
 Livello di protezione sismica **I_{ps}** (<=1.00) = **1**
 Coeff. carichi permanenti (B.8.2, D.M.'96) **γ ,g** = **1.4**
 Coeff. carichi permanenti (B.8.2, D.M.'96) **γ ,q** = **1.5**

RISULTATI:

Carico statico da solaio **Pstat,1** (kg) = γ ,g * G,1 + γ ,q * ψ 0,1 * Q,1 = **971**
 Carico sismico da solaio **P,1** (kg) = G,1 + Q,1 = **805**
 Peso proprio **W,1** (kg) = p.s.,1 * (a * s,1 * h,1) = **3960**
 Carico statico da solaio **Pstat,2** (kg) = γ ,g * G,2 + γ ,q * ψ 0,2 * Q,2 = **368**
 Carico sismico da solaio **P,2** (kg) = G,2 + Q,2 = **303**
 Peso proprio **W,2** (kg) = p.s.,2 * (a * s,2 * h,2) = **2640**
 Peso statico totale **Pstat,tot,1** (kg) = γ ,g * W,1 + Pstat,1 + γ ,g * W,2 + Pstat,2 = **10578**
 Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C1** (cm) = 2 * Pstat,tot,1 / (a * σ ,c1) = **21.2**
 Momento Stabilizzante **M_S,1** (kgm) = γ ,g * W,1 (s,1/2-x,C1) + γ ,g * W,2 (s,2/2-x,C1) + Pstat,1 (s,1-x,C1-e,1) + Pstat,2 (s,2-x,C1-e,2) + T,1 h,T1 + T,2 (h,1+h,T2) = **729.88**
 Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **M_{R1},1** (kgm) = M_{R1},1 = W,1 z,G1 + W,2 (h,1+z,G2) + P,1 h,1 + P,2 (h,1+h,S2), con: M_R,1 = α * M_{R1},1 + M_{R2},1 = **24258.30**
 Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2},1** (kgm) = M_{R2},1 = (γ ,g * S,G1 + γ ,q * ψ 0,1 * S,Q1) h,S1 + (γ ,g * S,G2 + γ ,q * ψ 0,2 * S,Q2) (h,1+h,S2), con: M_R,1 = α * M_{R1},1 + M_{R2},1 = **0.00**
 Moltiplicatore di collasso **α ,0,1** (o: **λ ,1**) = (M_S,1 - M_{R2},1) / M_{R1},1 = **0.030**
 Moltiplicatore sismico di riferimento **α ,rif** = C_{rif} * (β ϵ I), β =4 = **0.280**
 Momento Ribaltante sismico di riferimento **M_R,rif,1** (kgm) = α ,rif * M_{R1},1 + M_{R2},1 = **6792.32**
 Coeff.sismico per le verifiche **C_v** = I_{ps} * C_{rif} = **0.070**
 Coeff.sismico sopportabile (D.M.'96) **C,1** = (α ,0,1 / α ,rif) * C_{rif} = **0.008**
 Coeff. sicurezza (D.M.'96) **C_{sic},1** = C,1 / C_v = **0.107**

I risultati coincidono con quanto ricavato precedentemente e il moltiplicatore di collasso risulta coincidente con quanto riportato nell'esempio in bibliografia, a meno degli arrotondamenti.

Cinematismo B: ribaltamento parete superiore.

- **Calcolo moltiplicatore di collasso α_{01B}**

Posiz.cerniera da spigolo esterno: **x,C2** = 2 * (γ ,G * W,2 + Pstat,2) / (a * σ ,c) = 2 * (1.4 * 2640 + 367.5) / (100 * 10) = **8.13 cm**

Il moltiplicatore di collasso **α_{01B}** è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_{01B} * \text{MomRib12} + \text{MomRib22} - \text{MomStab2} = 0$$

dove il momento Stabilizzante è dato da:

$$\text{MomStab2} = \gamma$$
,G * W,2 * (s,2 / 2 - x,C2) + Pstat,2 * (s,2 - e,2 - x,C2) = 1.4 * 2640 * ((0.40 / 2) - 0.081) + 367.5 * (0.40 - 0.05 - 0.081) = 538.68 kg*m

il coefficiente moltiplicativo di **α_{01B}** è dato da:

$$\mathbf{MomRib12} = W_{,2} * (h_{,2} / 2) + P_{,2} * (h_{,S2}) = 2640 * (3.30 / 2) + 303 * 3.30 = 5355.9 \text{ kg*m}$$

Anche in questo caso questo caso è:

$$\mathbf{MomRib22} = \gamma_{,G} * S_{,G2} + \gamma_{,Q} * \psi_{0,2} * S_{,Q2} (h_{,1} + h_{,S2}) = 0$$

il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_{o1B} = (\mathbf{MomStab2} - \mathbf{MomRib22}) / \mathbf{MomRib12} = (538.68 - 0) / 5355.9 = 0.101$$

Verifica secondo DM'96

Il Coeff.sismico sopportabile è quindi:

$$\mathbf{C} = (\alpha_{o1B} / \alpha_{,rif}) * C_{,rif} = (0.101 / 0.28) * 0.07 = 0.025$$

Il Coefficiente di sicurezza (DM'96) risulta:

$$\mathbf{C,Sic96} = C / C_{,V} = 0.02525 / 0.07 = 0.357$$

Analisi cinematica eseguita con PC.M secondo DM'96 punto B.8.2 (Cinematismi Gruppo 2)

Immettendo gli stessi dati nel file Cb-001 del secondo Gruppo, Cinematismi_Muratura_DM96_B82 si ottiene: (vedi elemento 2/4 del file "Es_2009_DM96_B82" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Ribaltamento di parete monopiano [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM96_B82 - Nome file: Cb-001]

DATI:

Larghezza **a** (cm) = **100**

Spessore **s,1** (cm) = **40**

Altezza **h,1** (cm) = **330**

Carico Permanente **G,1** (kg) = **141**

Carico Variabile **Q,1** (kg) = **162**

Coeff. ψ_0 per Q,1 (B.8.2, D.M.'96): **$\psi_{0,1} = 0.7$**

Eccentricità carico **e,1** (cm) = **5**

Quota carico da solaio **h,S1** (cm) = **330**

Peso specifico muratura **p.s.,1** (kg/m³) = **2000**

Peso Proprio **W,1** (kg) = **2640**

Quota baricentro **z,G1** (cm) = **165**

Resistenza a Compressione **$\sigma_{,c1}$** (kg/cm²) = **10**

Coeff. amplificazione locale **S** (ϵ in D.M.'96) = **1**

Coeff. sismico (D.M.'96) **C,rif** = (Grado Sismicità-2)/100 = **0.07**

Fattore di Importanza **$\gamma_{,I}$** (Coeff. protezione **I** in D.M.'96) = **1**

Livello di protezione sismica **l,ps** (<=1.00) = **1**

Coeff. carichi permanenti (B.8.2, D.M.'96) **$\gamma_{,g}$** = **1.4**

Coeff. carichi permanenti (B.8.2, D.M.'96) **$\gamma_{,q}$** = **1.5**

RISULTATI:

Carico statico da solaio **Pstat,1** (kg) = $\gamma_{,g} * G_{,1} + \gamma_{,q} * \psi_{0,1} * Q_{,1} = \mathbf{368}$

Carico sismico da solaio **P,1** (kg) = $G_{,1} + Q_{,1} = \mathbf{303}$

Peso proprio **W,1** (kg) = $p.s.,1 * (a * s_{,1} * h_{,1}) = \mathbf{2640}$

Peso statico totale **Pstat,tot,1** (kg) = $\gamma_{,g} * W_{,1} + Pstat_{,1} = \mathbf{4064}$

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C1** (cm) = $2 * Pstat_{,tot,1} / (a * \sigma_{,c1}) = \mathbf{8.1}$

Momento Stabilizzante **M_{s,1}** (kgm) = $\gamma_{,g} * W_{,1} (s_{,1}/2 - x_{,C1}) + Pstat_{,1} (s_{,1} - x_{,C1} - e_{,1}) + T_{,1} h_{,T1} = \mathbf{537.58}$

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : $M_{R1,1} (kgm) = M_{R1,1} = (W,1 z, G1 + P,1 h, S1)$, con: $M_{R,1} = \alpha * M_{R1,1} + M_{R2,1} = 5355.90$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : $M_{R2,1} (kgm) = M_{R2,1} = (\gamma, g * S, G1 + \gamma, q * \psi, 0,1 * S, Q1) h, S1$, con: $M_{R,1} = \alpha * M_{R1,1} + M_{R2,1} = 0.00$

Moltiplicatore di collasso $\alpha, 0,1$ (o: $\lambda, 1$) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1} = 0.100$

Moltiplicatore sismico di riferimento $\alpha, rif = C, rif * (\beta \epsilon I)$, $\beta=4 = 0.280$

Momento Ribaltante sismico di riferimento $M_{R, rif, 1} (kgm) = \alpha, rif * M_{R1,1} + M_{R2,1} = 1499.65$

Coeff.sismico per le verifiche $C, v = I, ps * C, rif = 0.070$

Coeff.sismico sopportabile (D.M.'96) $C, 1 = (\alpha, 0,1 / \alpha, rif) * C, rif = 0.025$

Coeff. sicurezza (D.M.'96) $C, sic, 1 = C, 1 / C, v = 0.358$

I risultati coincidono con quanto ricavato precedentemente e il moltiplicatore di collasso risulta coincidente con quanto riportato nell'esempio in bibliografia, a meno degli arrotondamenti.

Combinazione di carico 2 ($\gamma, G = 1; \gamma, Q = 0$)

Cinematismo A: ribaltamento intera parete.

- Calcolo moltiplicatore di collasso α_{02A}

Si considera adesso la seguente combinazione per le azioni statiche dei coefficienti moltiplicativi dei carichi (punto B.8.2 del DM'96):

Coefficiente moltiplicativo dei pesi propri: $\gamma, G = 1$;

Coefficiente moltiplicativo dei sovraccarichi variabili: $\gamma, Q = 0$.

Si hanno dunque i seguenti carichi:

Piano primo

Peso Proprio: $W, 1 = p, s, 1 * (a * s, 1 * h, 1) = 2000 * (1 * 0.60 * 3.30) = 3960$ kg

Carico statico da solaio: $Pstat, 1 = \gamma, G * G, 1 + \gamma, Q * \psi, 01 * Q, 1 = 359 + 0 = 359$ kg

Carico sismico da solaio: $P, 1 = G, 1 + Q, 1 = 359 + 446 = 805$ kg

Piano secondo

Peso Proprio: $W, 2 = p, s, 2 * (a * s, 2 * h, 2) = 2000 * (1 * 0.40 * 3.30) = 2640$ kg

Carico statico da solaio: $Pstat, 2 = \gamma, G * G, 2 + \gamma, Q * \psi, 02 * Q, 2 = 141 + 0 = 141$ kg

Carico sismico da solaio: $P, 2 = G, 2 + Q, 2 = 141 + 162 = 303$ kg

Posiz.cerniera da spigolo esterno: $x, C1 = 2 * (W, 1 + W, 2 + Pstat, 1 + Pstat, 2) / (a * \sigma, c) = 2 * (3960 + 2640 + 359 + 141) / (100 * 10) = 14.2$ cm

Il moltiplicatore di collasso α_{02A} è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_{02A} * MomRib11 + MomRib21 - MomStab1 = 0$$

dove il momento Stabilizzante è dato da:

$$MomStab1 = \gamma, G * W, 1 * (s, 1 / 2 - x, C1) + \gamma, G * W, 2 * (s, 2 / 2 - x, C1) + Pstat, 1 * (s, 1 - e, 1 - x, C1) + Pstat, 2 * (s, 2 - e, 2 - x, C1) = 3960 * ((0.60 / 2) - 0.142) + 2640 * ((0.40 / 2) - 0.142) + 359 * (0.60 - 0.15 - 0.142) + 141 * (0.40 - 0.05 - 0.142) = 918.7$$
 kgm

il coefficiente moltiplicativo di α_{02A} è dato da:

$$MomRib11 = W, 1 * (h, 1 / 2) + W, 2 * (h, 1 + h, 2 / 2) + P, 1 * h, S1 + P, 2 * (h, 1 + h, S2) = 3960 * (3.30 / 2) + 2640 * (3.30 + 3.30 / 2) + 805 * 3.30 + 303 * (3.30 + 3.30) = 24258.3$$
 kg*m

Poiché non ci sono spinte statiche orizzontali, la parte del momento ribaltante indipendente dal moltiplicatore di collasso in questo caso è nulla:

$$\text{MomRib21} = (\gamma, G * S, G1 + \gamma, q * \psi_{0,1} * S, Q1) h, S1 + (\gamma, G * S, 21 + \gamma, q * \psi_{0,2} * S, Q2) (h, 1 + h, S2) = 0$$

il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_{0,2A} = (\text{MomStab1} - \text{MomRib21}) / \text{MomRib11} = (918.7 - 0) / 24258.3 = 0.038$$

Verifica secondo DM'96

Il Coeff.sismico sopportabile è quindi:

$$C = (\alpha_{0,2A} / \alpha_{,rif}) * C_{,rif} = (0.038 / 0.28) * 0.07 = 0.0095$$

Il Coefficiente di sicurezza (DM'96) risulta:

$$C_{,Sic96} = C / C_{,V} = 0.0095 / 0.07 = 0.136$$

Analisi cinematica eseguita con PC.M secondo DM'96 punto B.8.2 (Cinematismi Gruppo 2)

Immettendo gli stessi dati nel file Cb-002 del secondo Gruppo, Cinematismi_Muratura_DM96_B82 si ottiene: (vedi elemento 3/4 del file "Es_2009_DM96_B82" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Ribaltamento di parete bipiano [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM96_B82 - Nome file: Cb-002]

DATI:

Larghezza **a** (cm) = **100**

Spessore **s,1** (cm) = **60**

Altezza **h,1** (cm) = **330**

Carico Permanente **G,1** (kg) = **359**

Carico Variabile **Q,1** (kg) = **446**

Eccentricità carico **e,1** (cm) = **15**

Quota carico da solaio **h,S1** (cm) = **330**

Peso specifico muratura **p.s.,1** (kg/m³) = **2000**

Peso Proprio **W,1** (kg) = **3960**

Quota baricentro da base 1 **z,G1** (cm) = **165**

Resistenza a Compressione **σ,c1** (kg/cm²) = **10**

Spessore **s,2** (cm) = **40**

Altezza **h,2** (cm) = **330**

Carico Permanente **G,2** (kg) = **141**

Carico Variabile **Q,2** (kg) = **162**

Eccentricità carico **e,2** (cm) = **5**

Quota carico da solaio **h,S2** (cm) = **330**

Peso specifico muratura **p.s.,2** (kg/m³) = **2000**

Peso Proprio **W,2** (kg) = **2640**

Quota baricentro da base 2 **z,G2** (cm) = **165**

Coeff. amplificazione locale **S** (ε in D.M.'96) = **1**

Coeff. sismico (D.M.'96) **C,rif** = (Grado Sismicità-2)/100 = **0.07**

Fattore di Importanza **γ,I** (Coeff. protezione **I** in D.M.'96) = **1**

Livello di protezione sismica **I,ps** (<=1.00) = **1**

Coeff. carichi permanenti (B.8.2, D.M.'96) **γ,g** = **1**

Coeff. carichi permanenti (B.8.2, D.M.'96) **γ,q** = **0**

RISULTATI:

Carico statico da solaio **Pstat,1** (kg) = γ,g * G,1 + γ,q * ψ_{0,1} * Q,1 = **359**

Carico sismico da solaio **P,1** (kg) = G,1 + Q,1 = **805**

Peso proprio **W,1** (kg) = p.s.,1 * (a * s,1 * h,1) = **3960**

Carico statico da solaio **Pstat,2** (kg) = $\gamma_g * G,2 + \gamma_q * \psi_{0,2} * Q,2 = 141$

Carico sismico da solaio **P,2** (kg) = G,2 + Q,2 = **303**

Peso proprio **W,2** (kg) = p.s.,2 * (a * s,2 * h,2) = **2640**

Peso statico totale **Pstat,tot,1** (kg) = $\gamma_g * W,1 + Pstat,1 + \gamma_g * W,2 + Pstat,2 = 7100$

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C1** (cm) = $2 * Pstat,tot,1 / (a * \sigma_{c1}) = 14.2$

Momento Stabilizzante **M_{S,1}** (kgm) = $\gamma_g * W,1 (s,1/2-x,C1) + \gamma_g * W,2 (s,2/2-x,C1) + Pstat,1 (s,1-x,C1-e,1) + Pstat,2 (s,2-x,C1-e,2) + T,1 h,T1 + T,2 (h,1+h,T2) = 918.70$

Mom.Rib.: coeff.multiplicativo di α : **M_{R1,1}** (kgm) = $M_{R1,1} = W,1 z,G1 + W,2 (h,1+z,G2) + P,1 h,1 + P,2 (h,1+h,S2)$, con: $M_{R,1} = \alpha * M_{R1,1} + M_{R2,1} = 24258.30$

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α : **M_{R2,1}** (kgm) = $M_{R2,1} = (\gamma_g * S,G1 + \gamma_q * \psi_{0,1} * S,Q1) h,S1 + (\gamma_g * S,G2 + \gamma_q * \psi_{0,2} * S,Q2) (h,1+h,S2)$, con: $M_{R,1} = \alpha * M_{R1,1} + M_{R2,1} = 0.00$

Moltiplicatore di collasso **$\alpha_{0,1}$** (o: **$\lambda,1$**) = $(M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1} = 0.038$

Moltiplicatore sismico di riferimento **α_{rif}** = $C_{rif} * (\beta \in I)$, $\beta=4 = 0.280$

Momento Ribaltante sismico di riferimento **M_{R,rif,1}** (kgm) = $\alpha_{rif} * M_{R1,1} + M_{R2,1} = 6792.32$

Coeff.sismico per le verifiche **C_v** = $l_{ps} * C_{rif} = 0.070$

Coeff.sismico sopportabile (D.M.'96) **C₁** = $(\alpha_{0,1} / \alpha_{rif}) * C_{rif} = 0.009$

Coeff. sicurezza (D.M.'96) **C_{sic,1}** = $C,1 / C,v = 0.135$

I risultati coincidono con quanto ricavato precedentemente e il moltiplicatore di collasso risulta coincidente con quanto riportato nell'esempio in bibliografia, a meno degli arrotondamenti.

Cinematismo B: ribaltamento parete superiore.

- Calcolo moltiplicatore di collasso α_{02B}

Posiz.cerniera da spigolo esterno: **x,C2** = $2 * (W,2 + Pstat,2) / (a * \sigma_c) = 2 * (2640 + 141) / (100 * 10) = 5.562$ cm

Il moltiplicatore di collasso α_{02B} è la soluzione dell'equazione:

$$\alpha_{02B} * MomRib12 + MomRib22 - MomStab2 = 0$$

dove il momento Stabilizzante è dato da:

$$MomStab2 = \gamma_g * W,2 * (s,2 / 2 - x,C2) + Pstat,2 * (s,2 - e,2 - x,C2) = 640 * ((0.40 / 2) - 0.05562) + 141 * (0.40 - 0.05 - 0.05562) = 422.67 \text{ kg*m}$$

il coefficiente moltiplicativo di α_{02B} è dato da:

$$MomRib12 = W,2 * (h,2 / 2) + P,2 * (h,S2) = 2640 * (3.30 / 2) + 303 * 3.30 = 5355.9 \text{ kg*m}$$

Anche in questo caso questo caso è:

$$MomRib22 = \gamma_g * S,G2 + \gamma_q * \psi_{0,2} * S,Q2 (h,1+h,S2) = 0$$

il moltiplicatore di collasso pertanto è uguale a:

$$\alpha_{02B} = (MomStab2 - MomRib22) / MomRib12 = (422.67 - 0) / 5355.9 = 0.079$$

Verifica secondo DM'96

Il Coeff.sismico sopportabile è quindi:

$$C = (\alpha_{02B} / \alpha_{rif}) * C_{rif} = (0.079 / 0.28) * 0.07 = 0.01975$$

Il Coefficiente di sicurezza (DM'96) risulta:

$$C_{Sic96} = C / C,v = 0.01975 / 0.07 = 0.282$$

Analisi cinematica eseguita con PC.M secondo DM'96 punto B.8.2 (Cinematismi Gruppo 2)

Immettendo gli stessi dati nel file Cb-001 del secondo Gruppo, Cinematismi_Muratura_DM96_B82 si ottiene: (vedi elemento 4/4 del file "Es_2009_DM96_B82" contenuto nella cartella "PCM/ESP/ES-Apprendi"):

Ribaltamento di parete monopiano [Gruppo: Cinematismi_Muratura_DM96_B82 - Nome file: Cb-001]

DATI:

Larghezza **a** (cm) = **100**

Spessore **s,1** (cm) = **40**

Altezza **h,1** (cm) = **330**

Carico Permanente **G,1** (kg) = **141**

Carico Variabile **Q,1** (kg) = **162**

Eccentricità carico **e,1** (cm) = **5**

Quota carico da solaio **h,S1** (cm) = **330**

Peso specifico muratura **p.s.,1** (kg/m³) = **2000**

Peso Proprio **W,1** (kg) = **2640**

Quota baricentro **z,G1** (cm) = **165**

Resistenza a Compressione **σ,c1** (kg/cm²) = **10**

Coeff. amplificazione locale **S** (ε in D.M.'96) = **1**

Coeff. sismico (D.M.'96) **C,rif** = (Grado Sismicità-2)/100 = **0.07**

Fattore di Importanza **γ,I** (Coeff. protezione **I** in D.M.'96) = **1**

Livello di protezione sismica **l,ps** (<=1.00) = **1**

Coeff. carichi permanenti (B.8.2, D.M.'96) **γ,g** = **1**

Coeff. carichi permanenti (B.8.2, D.M.'96) **γ,q** = **0**

RISULTATI:

Carico statico da solaio **Pstat,1** (kg) = γ,g * G,1 + γ,q * ψ0,1 * Q,1 = **141**

Carico sismico da solaio **P,1** (kg) = G,1 + Q,1 = **303**

Peso proprio **W,1** (kg) = p.s.,1 * (a * s,1 * h,1) = **2640**

Peso statico totale **Pstat,tot,1** (kg) = γ,g * W,1 + Pstat,1 = **2781**

Posiz.cerniera da spigolo esterno **x,C1** (cm) = 2 * Pstat,tot,1 / (a * σ,c1) = **5.6**

Momento Stabilizzante **M_{S,1}** (kgm) = γ,g * W,1 (s,1/2 - x,C1) + Pstat,1 (s,1 - x,C1 - e,1) + T,1 h,T1 = **422.67**

Mom.Rib.: coeff.moltiplicativo di α: **M_{R1,1}** (kgm) = M_{R1,1} = (W,1 z,G1 + P,1 h,S1), con: M_{R,1} = α * M_{R1,1} + M_{R2,1} = **5355.90**

Mom.Rib.: contributo non dipendente da α: **M_{R2,1}** (kgm) = M_{R2,1} = (γ,g * S,G1 + γ,q * ψ0,1 * S,Q1) h,S1, con: M_{R,1} = α * M_{R1,1} + M_{R2,1} = **0.00**

Moltiplicatore di collasso **α,0,1** (o: **λ,1**) = (M_{S,1} - M_{R2,1}) / M_{R1,1} = **0.079**

Moltiplicatore sismico di riferimento **α,rif** = C,rif * (β ε I), β=4 = **0.280**

Momento Ribaltante sismico di riferimento **M_{R,rif,1}** (kgm) = α,rif * M_{R1,1} + M_{R2,1} = **1499.65**

Coeff.sismico per le verifiche **C,v** = l,ps * C,rif = **0.070**

Coeff.sismico sopportabile (D.M.'96) **C,1** = (α,0,1 / α,rif) * C,rif = **0.020**

Coeff. sicurezza (D.M.'96) **C,sic,1** = C,1 / C,v = **0.282**

I risultati coincidono con quanto ricavato precedentemente e il moltiplicatore di collasso risulta coincidente con quanto riportato nell'esempio in bibliografia, a meno degli arrotondamenti.

C.5.8. TEST DI VALIDAZIONE: PARETE SU 2 PIANI

CINEMATISMI DI COLLASSO FUORI DAL PIANO IN EDIFICI IN MURATURA A N PIANI

Il cinematismo che viene valutato, seguendo l'OPCM 3274, 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) Prima impostazione 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:

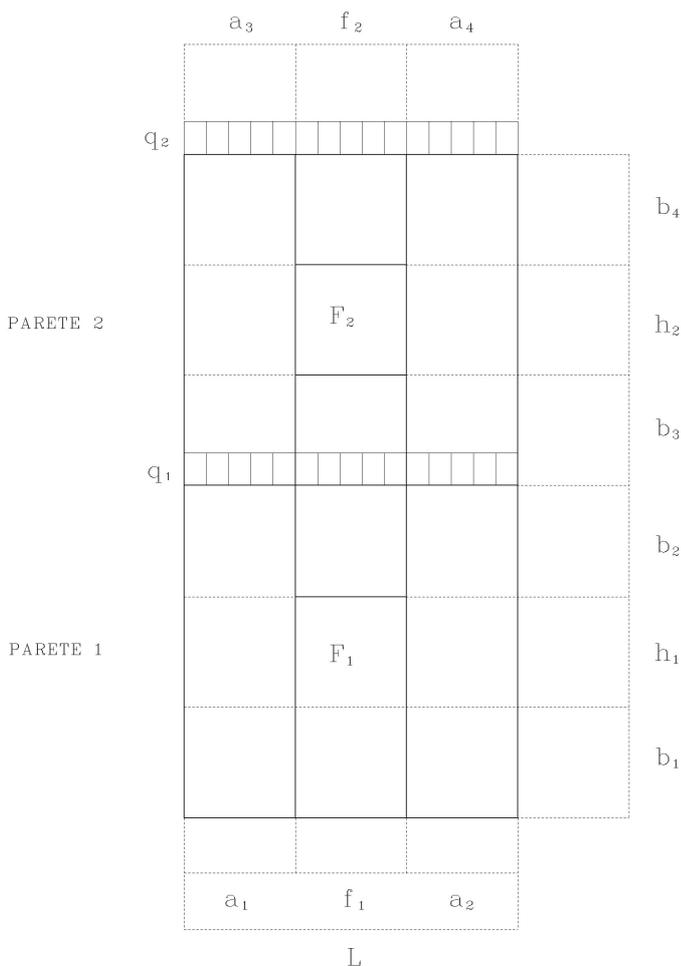


Fig. 20 a

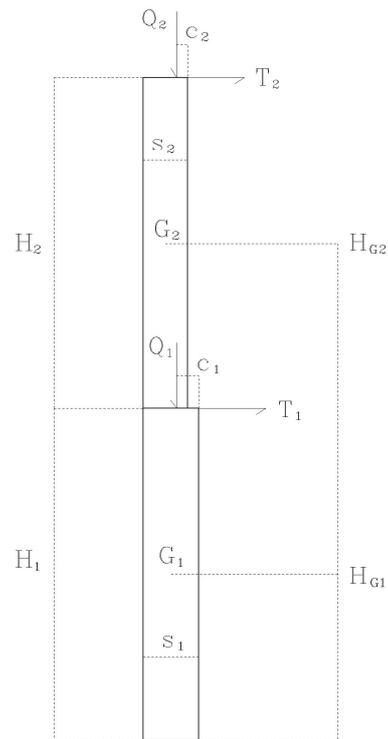


Fig. 20 b

Inserito 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.

Il set delle forze agenti è dunque costituito 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 φ ;
- Resistenza di 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. La cerniera può formarsi in corrispondenza di un generico interpiano. Si calcolano N moltiplicatori, e quindi il valore minimo.

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 pian 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, purchè 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 21. L'angolo φ , opportuno per la valutazione dell'ampiezza del cuneo, è dato dall'utente.

(In figura 2 l'angolo è marcato con θ)

Nella valutazione dei cunei si considerano anche le componenti rettangolari formate dalle riseghe di piano presenti tra le pareti (vedi figura 21).

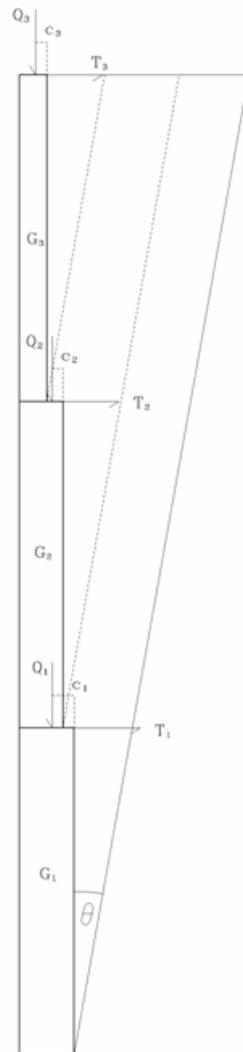


Fig. 21.

Descrizione del procedimento

La valutazione dei moltiplicatori viene svolta imponendo l'equilibrio limite tra le forze ribaltanti e quelle stabilizzanti, senza introdurre alcun limite di resistenza del materiale. La fase di verifica viene svolta secondo la nuova normativa antisismica, di cui in particolare al punto 11.C.8 (secondo la 3431-05): si assume dunque una verifica allo stato limite ultimo, secondo quanto previsto per l'analisi cinematica lineare: "verifica semplificata con fattore di struttura q"; si pone:

$$a_0^* \geq \frac{a_g S}{q} \left(1 + 1.5 \frac{Z}{H} \right) \quad (a_0^*, a_g \text{ espressi in frazione di } g)$$

ove $q=2$; a_g e S sono dati di input; H è valutata come l'altezza di tutta la parete (supponendo la quota-terreno spiccata direttamente dalle fondazioni); Z è l'altezza del baricentro delle forze peso P_i che svolgono azione orizzontale.

La valutazione di a_0^* avviene secondo i punti 11.C.3-5:

$$a_0^* = \frac{\lambda \sum P_i}{P^*} = \frac{\lambda}{e^*} \quad \text{con} \quad P^* = \frac{(\sum P_i \delta_i)^2}{\sum (P_i \delta_i^2)}$$

λ i moltiplicatori calcolati in precedenza, δ gli spostamenti virtuali orizzontali delle forze P_i definiti dal cinematismo.

b) Generalizzazione del cinematismo

Il cinematismo 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 messo a punto per PC.M 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 cinematismo 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 si possono attribuire i coefficienti ψ_2 e ϕ previsti al punto 3.3 dell'OPCM 3431/2005. Ricordiamo che ψ_2 si applica nella valutazione del contributo dato dal carico variabile sia al carico verticale, sia alla massa sismica; il coefficiente ϕ viene invece applicato al carico variabile per la sola valutazione della massa sismica.

Il tiro 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.

Il cinematismo generalizzato è rappresentato in figura seguente.

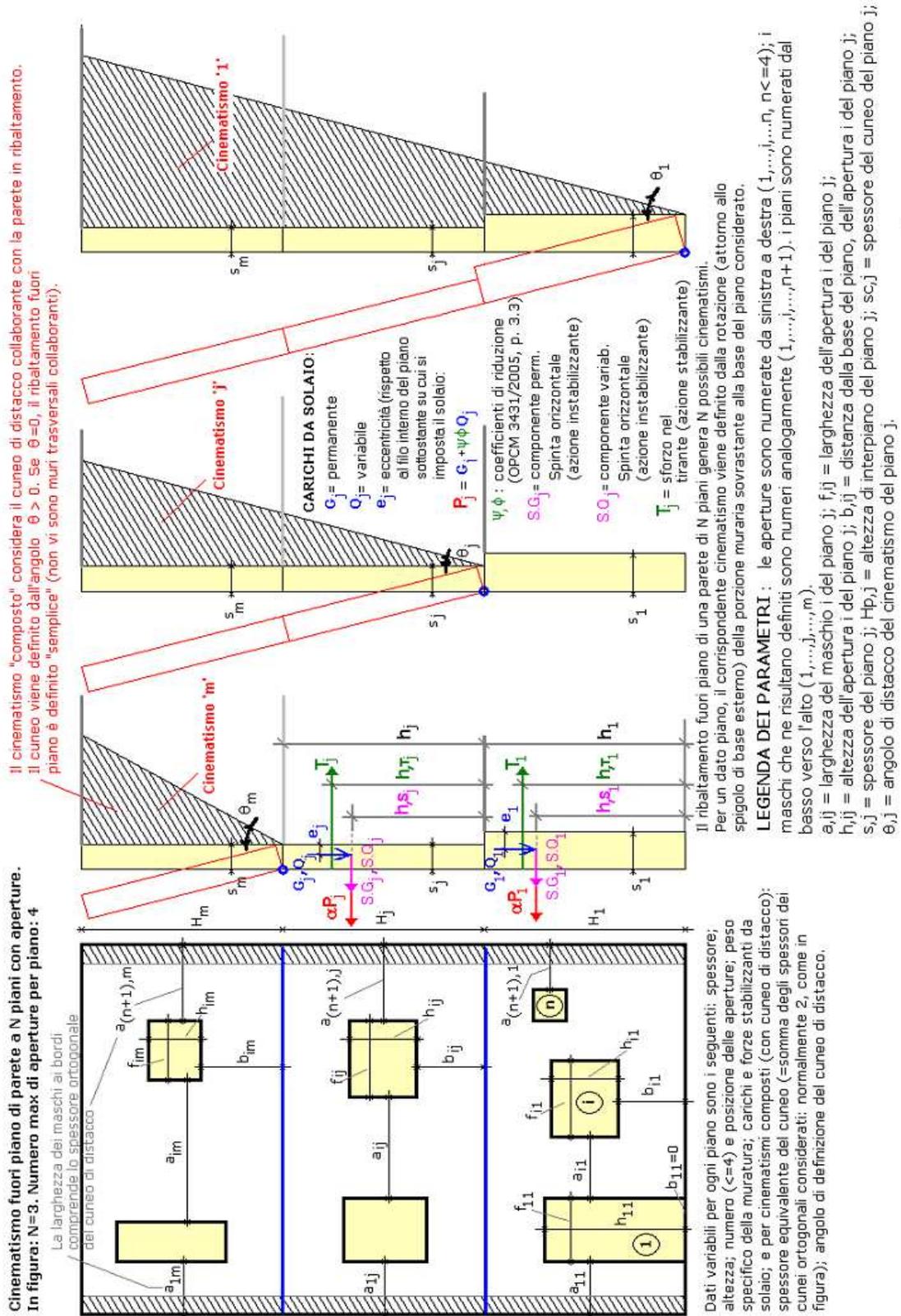


Fig. 22

I test di validazione riportati ai paragrafi seguenti si riferiscono: il primo (p. C.3.1) al cinematismo semplice; il secondo (p. C.3.2) al cinematismo generalizzato. In PC.M è

implementato direttamente il cinematismo generalizzato, che ovviamente comprende in sé il caso più semplice.

Si considera un edificio di due piani la cui geometria è riportata in figura 23 (i dati sono inseriti in kg e cm):

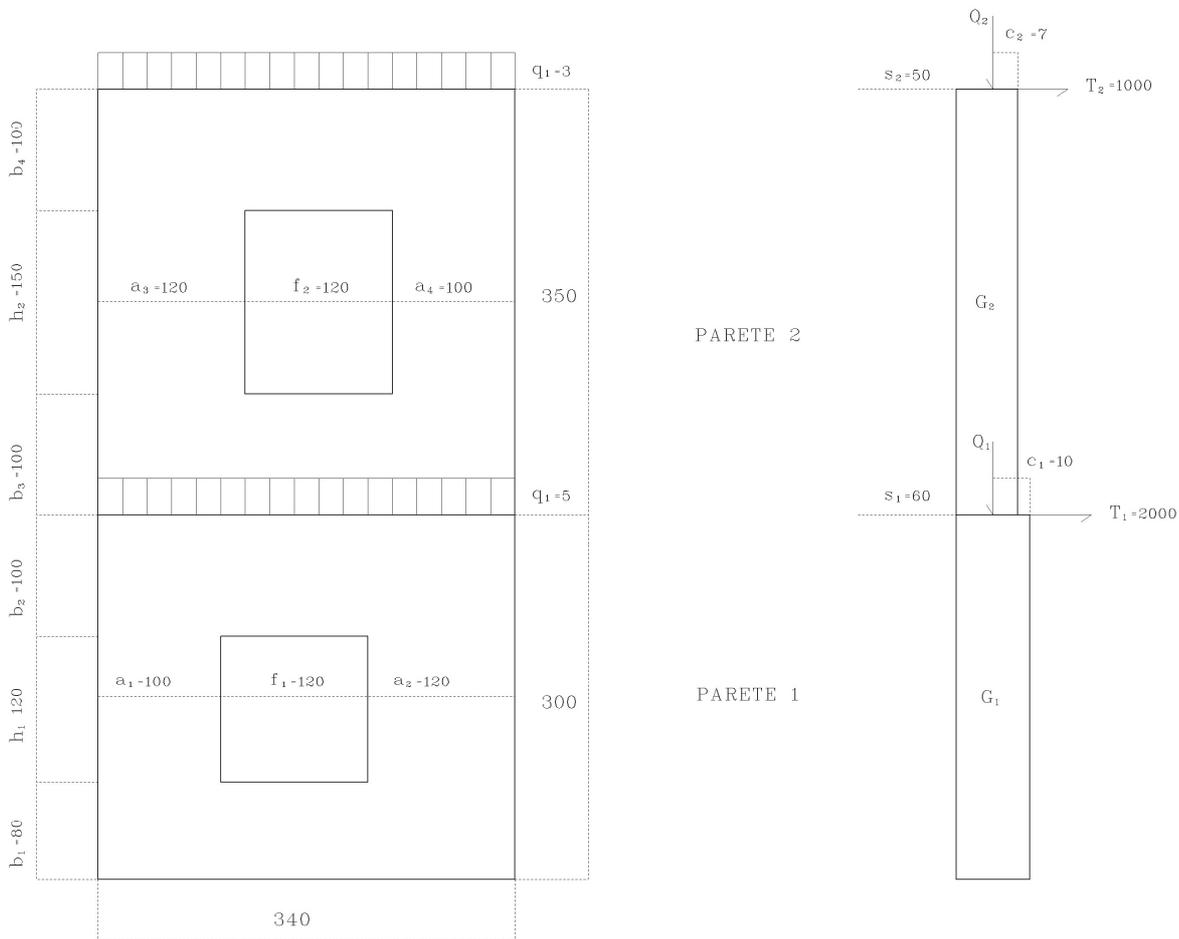


Fig. 23a

Fig. 23 b

Si ipotizza inoltre:

- $\varphi = 30^\circ$
- spessore equivalente cuneo (=somma spessori dei muri ortogonali nei quali si forma il cuneo): 80 cm (es: due cunei da 40 cm);
- $a_g = 0.25g$ (corrispondente a zona 2);
- $S=1.35$ (categoria suolo D);
- peso specifico muratura: 1800 kg/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: $350 \cdot 340 - 120 \cdot 150 = 101000 \text{ cm}^2$

$$S_{x,1} = (100 + 120) \cdot \frac{300^2}{2} + 120 \cdot \frac{80^2}{2} + 100 \cdot 120 \cdot \left(80 + 120 + \frac{100}{2} \right) = 13284e03$$

$$S_{x,2} = (100 + 120) * \frac{350^2}{2} + 120 * \frac{100^2}{2} + 100 * 120 * \left(100 + 150 + \frac{100}{2}\right) = 17675e03$$

I baricentri delle pareti rispetto alla linea di interpiano misurano:

$$Y_{G1} = \frac{S_{x,1}}{A_1} = 151.64 \text{ cm} \qquad Y_{G2} = \frac{S_{x,2}}{A_2} = 175 \text{ cm} \qquad (\text{vedi fig. 24})$$

$$\text{Area cuneo 1: } \frac{(300 + 350)^2}{2} * \tan 30 + 10 * 350 = 125465 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area cuneo 2: } \frac{350^2}{2} * \tan 30 = 35363 \text{ cm}^2$$

$$S_{x,1} = \frac{(300 + 350)^3}{3} * \tan 30 + 10 * 350 * \left(300 + \frac{350}{2}\right) = 54514106 \text{ cm}^3$$

$$S_{x,2} = \frac{350^3}{3} * \tan 30 = 8251297 \text{ cm}^3$$

I baricentri dei cunei rispetto alla linea di interpiano misurano:

$$Y_{C1} = \frac{S_{x,1}}{A_1} = 434.5 \text{ cm} \qquad Y_{C2} = \frac{S_{x,2}}{A_2} = 233.33 \text{ cm} \qquad (\text{vedi fig. 24})$$

$$S_{y,1} = \frac{(300 + 350)^2}{2} * \tan 30 * \left(60 + \frac{300 + 350}{3} * \tan 30\right) + 10 * 350 * \left(50 + \frac{10}{2}\right) = 22767391 \text{ cm}^3$$

$$S_{y,2} = \frac{350^2}{2} * \tan 30 * \left(50 + \frac{350}{3} * \tan 30\right) = 4150079 \text{ cm}^3$$

I baricentri dei cunei rispetto alla linea esterna del muro misurano:

$$X_{C1} = \frac{S_{y,1}}{A_1} = 181.46 \text{ cm} \qquad X_{C2} = \frac{S_{y,2}}{A_2} = 117.36 \text{ cm} \qquad (\text{vedi fig. 24})$$

Valutazione delle forze agenti

A questi elementi sono associate le forze peso concentrate nei baricentri (vedi fig. 24):

$$P_1 = A_1 * s_1 * \rho = 9460.8 \text{ kg}; \qquad P_2 = A_2 * s_2 * \rho = 9090 \text{ kg}; \qquad (\text{pesi delle pareti})$$

$$P_{C1} = 18067 \text{ kg}; \qquad P_{C2} = 5092 \text{ kg}; \qquad (\text{pesi cunei equivalenti})$$

Inoltre è anche:

$Q_1 = 5 \cdot 340 = 1700$ kg;
solai)

$Q_2 = 3 \cdot 340 = 1020$ kg;

(carichi

a) Valutazione dei moltiplicatori di collasso

Nel caso in esame si valutano due cinematicismi, rispettivamente intorno alla quota terreno e intorno alla linea del primo piano:

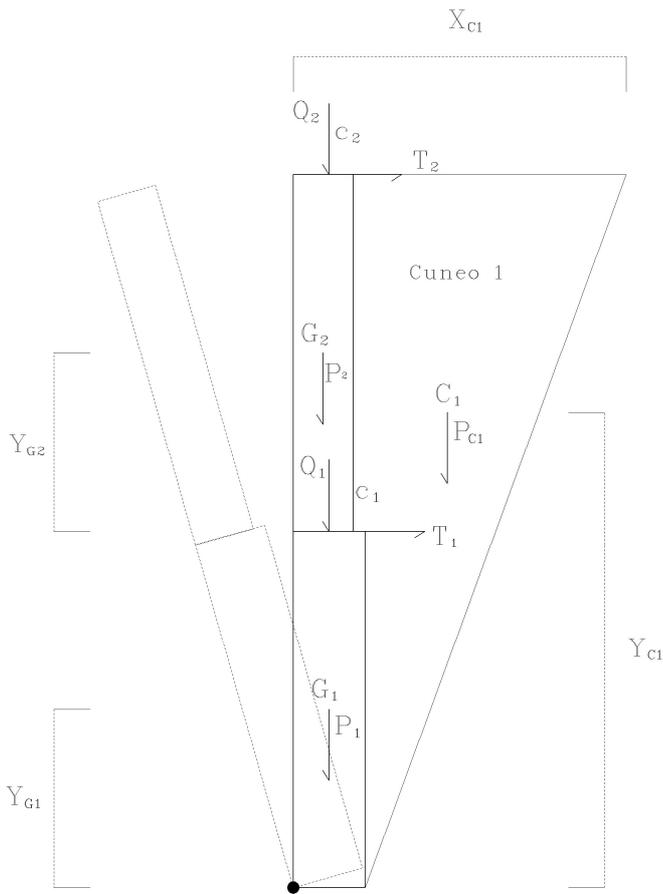


Fig. 24 a

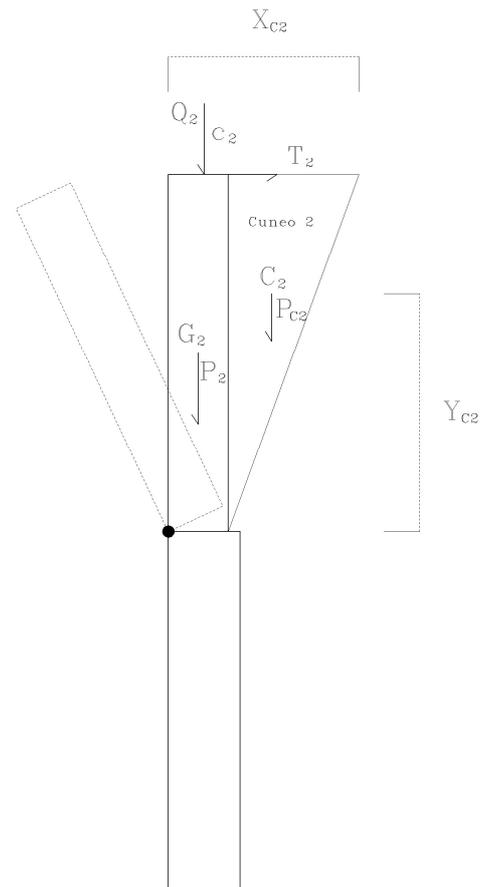


Fig. 24 b

Per il cinematicismo 1 (cerniera al piano terra) è possibile scrivere:

$$\lambda = \frac{P_1 \cdot \frac{s_1}{2} + P_2 \cdot \frac{s_2}{2} + P_{C1} \cdot X_{C1} + Q_1 \cdot (s_1 - c_1) + Q_2 \cdot (s_2 - c_2) + T_1 \cdot H_1 + T_2 \cdot (H_1 + H_2)}{P_1 \cdot Y_{G1} + P_2 \cdot (H_1 + Y_{G2}) + P_{C1} \cdot Y_{C1} + Q_1 \cdot H_1 + Q_2 \cdot (H_1 + H_2)} =$$

$$= \frac{9461 \cdot 30 + 9090 \cdot 25 + 2 \cdot 9033.5 \cdot 181.5 + 1700 \cdot 50 + 1020 \cdot 43 + 2000 \cdot 300 + 1000 \cdot 650}{9461 \cdot 151.6 + 9090 \cdot (175 + 300) + 2 \cdot 9033.5 \cdot 434.5 + 1700 \cdot 300 + 1020 \cdot 650} =$$

$$= \frac{5168377.8}{14775149} = 0.3498$$

Dal cinematismo 2 consegue invece:

$$\lambda = \frac{P_2 * \frac{S_2}{2} + P_{C_2} * X_{C_2} + Q_2 * (s_2 - c_2) + T_2 * H_2}{P_2 * Y_{G_2} + C_2 * Y_{C_2} + Q_2 * H_2} =$$

$$= \frac{9090 * 25 + 2 * 2546 * 117.4 + 1020 * 43 + 1000 * 350}{9090 * 175 + 2 * 2546 * 233.3 + 1020 * 350} =$$

$$\frac{1218656}{3135713.6} = 0.3886$$

c) Verifica secondo normativa OPCM 3274

Si valutano innanzitutto le accelerazioni da normativa:

$$a_0^* \geq \frac{a_g S}{q} \left(1 + 1.5 \frac{Z}{H} \right) = a_g^* \quad \text{con:}$$

$$H = 300 + 350 = 650 \text{ cm;} \quad (\text{vedi fig. 23a})$$

$$Z_1 = \frac{14775149}{9461 + 9090 + 2 * 9033.5 + 1700 + 1020} = \frac{14775149}{39338} = 375.59$$

$$Z_2 = \frac{3135713.6}{9090 + 2 * 2546 + 1020} = \frac{3135713.6}{15202} = 206.27$$

$$a_{g,1}^* = 0.3151 \text{ g}$$

$$a_{g,2}^* = \frac{0.25 * 1.35}{2} * \left(1 + 1.5 * \frac{206.27 + 300}{650} \right) = 0.3659 \text{ g}$$

La valutazione delle accelerazioni spettrali conduce invece:

$$P_1^* = \frac{14775149^2}{9461 * 151.6^2 + 9090 * (175 + 300)^2 + 2 * 9033.5 * 434.5^2 + 1700 * 300^2 + 1020 * 650^2} =$$

$$= \frac{2183050278e5}{6263192697} = 34855$$

Quindi:

$$e^* = \frac{P^*}{\sum P_i} = \frac{34855}{39338} = 0.886 \quad a_{0,1}^* = \frac{\lambda_1}{e^*} \text{ g} = 0.3948 \text{ g}$$

$$P_2^* = \frac{3135713.6^2}{9090 * 175^2 + 2 * 2546 * 233.3^2 + 1020 * 350^2} =$$

$$= \frac{9.83269978e4}{680483158} = 14449.59$$

$$e^* = \frac{P^*}{\sum P_i} = \frac{14450}{15202} = 0.9505 \quad a_{0,2}^* = \frac{\lambda_2}{e^*} g = 0.4088 g$$

Si ha infine:

$$a_{0,1}^* = 0.3948 g > a_{g,1}^* = 0.3151 g$$

$$a_{0,2}^* = 0.4088 g > a_{g,2}^* = 0.3659 g$$

La parete risulta quindi verificata per il cinematicismo scelto.

L'esempio viene di seguito svolto con PC.M; esso corrisponde al file:

Parete_2piani

fornito con PC.M-ESP, e apribile dal menu File della finestra Input dell'ambiente di PC.M dedicato all'Analisi Cinematica. Dati e Risultati sono i seguenti:

* Cinematismo fuori dal piano: 2 piani, fino a 4 aperture per piano [Gruppo: Cinematismi_Muratura_OPCM3274 - Nome file: Co-017]

DATI:

1°p: Spessore **s,1** (cm) = **60**

1°p: Altezza di piano **Hp,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** (kg) = **1700**

Coeff. di combinazione $\psi,2$ per Q1: **$\psi,21$** = **1**

Coeff. di correlazione ϕ per Q1: **$\phi,1$** = **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** (kg) = **2000**

1°p: Quota del tirante **hT,1** (cm) = **300**

1°p: Peso specifico muratura **p.s.,1** (kg³) = **1800**

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 **Hp,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** (kg) = **1020**
 Coeff. di combinazione $\psi,2$ per Q2: **$\psi,22 = 1$**
 Coeff. di correlazione ϕ per Q2: **$\phi,2 = 1$**
 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** (kg) = **1000**
 2°p: Quota del tirante **hT,2** (cm) = **350**
 2°p: Peso specifico muratura **p.s.,2** (kg³) = **1800**
 2°p: Spessore equivalente cuneo **s,c,2** (cm) = **80**
 2°p: Angolo di distacco del cuneo **$\theta,2$** (°) = **30**
 Acc. al suolo di riferimento **a,g,rif** (* g) = **0.25**
 Coeff. amplificazione locale **S** (**ϵ** in DM'96) = **1.35**
 Fattore di Importanza **γ,I** (Coeff. protezione **I** in DM'96) = **1**
 Livello di protezione sismica **l,ps** (<=1.00) = **1**

RISULTATI:

Moltiplicatore di collasso **$\alpha,0,1$** (o: **$\lambda,1$**) = **0.350**
 Acc.al suolo per le verifiche **a,g,v** (* g) = **0.250**
 Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,1** (* g) = **0.395** (0.3948 nell'esempio svolto manualmente)
 Acc.spettrale richiesta (DS) **a*,1** (* g) = **0.315** (0.3151 nell'esempio svolto manualmente)
 Acc.al suolo sopportabile (DS) **a,g,DS,1** (* g) = **0.313**
 Rapporto a,g,DS,1 / a,g,v (**$\eta,1$**) = **1.253**
 Moltiplicatore di collasso **$\alpha,0,2$** (o: **$\lambda,2$**) = **0.389**
 Acc.al suolo per le verifiche **a,g,v** (* g) = **0.250**
 Acc.spettrale attivazione meccanismo **a,0*,2** (* g) = **0.409** (0.4088 nell'esempio svolto manualmente)
 Acc.spettrale richiesta (DS) **a*,2** (* g) = **0.366** (0.3659 nell'esempio svolto manualmente)
 Acc.al suolo sopportabile (DS) **a,g,DS,2** (* g) = **0.279**
 Rapporto a,g,DS,2 / a,g,v (**$\eta,2$**) = **1.117**

I risultati sono coincidenti (a meno degli arrotondamenti), e quindi il test è superato positivamente.