



Aedes.**PCM** 2017

PROGETTAZIONE DI **C**OSTRUZIONI IN **M**MURATURA

Analisi strutturale di costruzioni in muratura secondo la Normativa Tecnica vigente

Classificazione del rischio sismico delle costruzioni

Ultima revisione di questo documento: 27.04.2017

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.

© 1997-2017 **AEDES Software per Ingegneria Civile**

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

Tel.: +39 0571 401073 - Fax: +39 0571 418350

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

AVVERTENZE E CONDIZIONI D'USO

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

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

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

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

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

I nomi dei prodotti citati nella documentazione di PCM possono essere marchi di fabbrica o marchi registrati dalle rispettive Società.

INDICE

1. INTRODUZIONE

2. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA

2.1. METODI PER LA DETERMINAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

3. PROCEDURE OPERATIVE

3.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA CON IL SOFTWARE Aedes.PCM

4. ESEMPIO APPLICATIVO: FABBRICATO IN PIETRA

4.1. METODO SEMPLIFICATO

4.2. METODO CONVENZIONALE

4.2.1. MODELLO 1: MATERIALE INTEGRO

4.2.2. MODELLO 2: MATERIALE CON DEGRADO

4.2.3. MODELLO 3: CINEMATISMI (MECCANISMI DI COLLASSO)

4.2.4. MODELLO 4: CINEMATISMI CON RESISTENZA A COMPRESIONE FINITA

4.2.5. CONCLUSIONI

5. UNA PROCEDURA ALTERNATIVA PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA

BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUZIONE

Il software Aedes PCM, versione 2017, propone nuove funzionalità dedicate all'applicazione del Decreto 65 del 7.3.2017 per la classificazione sismica degli edifici, in attuazione del cosiddetto Sismabonus. E' stata predisposta una procedura interna al software collegata ad un apposito foglio di calcolo, dove viene elaborato il diagramma PAM (Perdita Annuale Media) che, unitamente all'accelerazione sismica sostenibile (quantificata come indicatore di rischio IS-V), determina la classe di rischio cui l'edificio appartiene. La procedura di classificazione richiede lo stesso impegno professionale di una qualunque analisi di un edificio esistente: particolare attenzione va data alla corretta descrizione del comportamento sismico dell'edificio. Per i fabbricati in muratura, il Decreto propone due metodi: Semplificato, a carattere qualitativo, e Convenzionale, di tipo quantitativo. La scelta del metodo ha una serie di implicazioni, fra cui gli effetti del consolidamento dell'edificio visti come diminuzione del rischio (salto della classe di appartenenza).

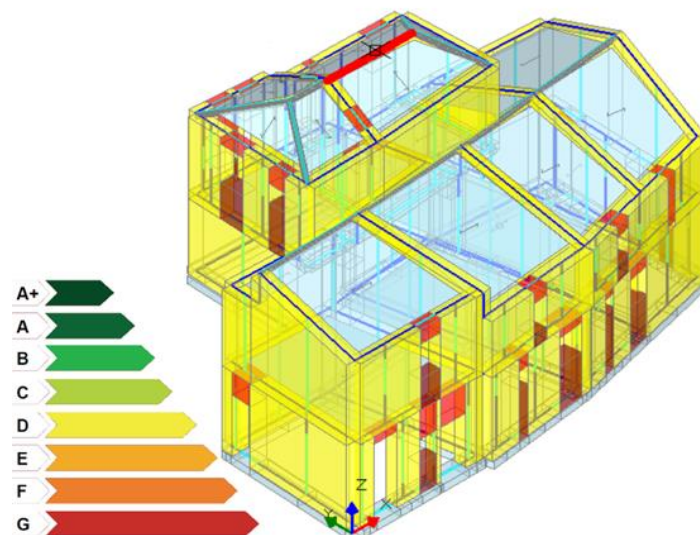


Fig. 1. Simbologia per le classi di rischio sismico

In generale, i migliori risultati per la procedura di classificazione del rischio sismico si potranno ottenere:

- applicando il metodo Convenzionale, sia con analisi cinematica (meccanismi di collasso) sia globale (lineare o preferibilmente pushover), descrivendo così la capacità dell'edificio sia per stabilità (equilibrio di corpi rigidi) sia per resistenza (proprietà meccaniche della muratura);
- tenendo conto degli aspetti qualitativi, di per sé oggetto del metodo Semplificato, che devono essere rappresentati il più correttamente possibile nel modello matematico dell'edificio.

I video che Aedes Software presenta nel proprio canale YouTube illustrano la metodologia operativa per l'applicazione del Decreto Sismabonus con PCM.

2. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA

Le linee guida per la classificazione sismica approvate con Decreto 65 del 7.3.2017 sono riservate agli edifici di civile abitazione "non tutelati".

Obiettivo

Definire le classi di rischio sismico degli edifici esistenti, prima e dopo gli eventuali interventi antisismici. Grazie alla valutazione del rischio sismico sarà possibile comprendere quali sono gli interventi e i costi per consentire alla struttura di avvicinarsi al grado di sicurezza previsto dalla norma. Inoltre, il proprietario avrà gli strumenti per comprendere se e come intervenire, oppure demolire e ricostruire. In funzione della classe di rischio viene definita l'entità degli incentivi economici, cioè del sisma-bonus, previsto dalla legge di Bilancio 2017.

Incentivi

Per le spese sostenute dal primo gennaio 2017 a tutto il 2021 per gli interventi antisismici in zona ad alta pericolosità sismica (zona 1 e 2), per costruzioni adibite ad abitazioni e attività produttive, spetta una detrazione del 50% fino a 96.000 euro di spesa.

La novità è che la detrazione è ripartita in 5 quote costanti annuali (invece che 10). Inoltre, tali disposizioni si applicano anche agli edifici in zona 3.

Sono previsti incentivi maggiori nei seguenti casi:

- qualora gli interventi antisismici consentano il passaggio ad una classe di rischio sismico inferiore, la detrazione spetta nella misura del 70%;
- qualora gli interventi antisismici consentano il passaggio a 2 classi di rischio sismico inferiore, la detrazione spetta nella misura dell'80%;
- qualora gli interventi antisismici siano relativi a parti comuni di edifici condominiali e consentano il passaggio ad una classe di rischio sismico inferiore, la detrazione spetta nella misura del 75%;
- qualora gli interventi antisismici siano relativi a parti comuni di edifici condominiali e consentano il passaggio a 2 classi di rischio sismico inferiore, la detrazione spetta nella misura dell'85%.

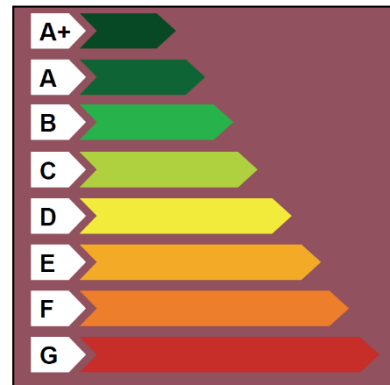
Da queste indicazioni si comprende l'importanza di classificare correttamente l'edificio, e di valutare in modo appropriato il passaggio di classe dovuto agli interventi di consolidamento.

2.1. METODI PER LA DETERMINAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

La Classificazione del rischio sismico degli edifici si effettua sulla base del PAM (Perdita Annuale Media attesa), che tiene in considerazione le perdite economiche associate ai danni agli elementi, strutturali e non, e riferite al costo di ricostruzione (CR) dell'edificio, e dell'Indice di sicurezza della struttura IS-V definito come il rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo che determina il raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della vita (SLV) e la PGA che la norma indica.

Le classi di rischio sismico sono le seguenti:

- 1) classe A+ (minor rischio)
- 2) classe A
- 3) classe B
- 4) classe C
- 5) classe D
- 6) classe E
- 7) classe F
- 8) classe G (maggior rischio)



La determinazione della classe di appartenenza di un edificio può essere condotta secondo due metodi alternativi:

- Metodo Convenzionale, basato sull'applicazione dei normali metodi di analisi previsti dalle NTC e consente la valutazione della classe di rischio della costruzione sia nello stato di fatto sia nello stato conseguente all'eventuale intervento;
- Metodo Semplificato, basato su meccanismi rapidi, ispirati ai rilievi effettuati dalla Protezione civile negli scenari di emergenza, e può essere impiegato per le operazioni sugli edifici in muratura. L'idea di questo metodo è creare una procedura speciale, meno costosa, per stimolare i cittadini a mettere in sicurezza i loro fabbricati con piccoli interventi (locali) di rammendo, come le catene utilizzate per sostenere gli edifici in muratura o la ristrutturazione di un tetto di un piccolo immobile.

3. PROCEDURE OPERATIVE

In questo documento, Aedes propone alcuni approfondimenti sul confronto fra i due metodi proposti dalle Linee guida, attraverso l'applicazione del software PCM.

I contenuti proposti in questo documento si riferiscono in modo specifico all'operazione di classificazione, che nel caso di consolidamento ai fini del Sismabonus dovrà essere effettuata sui due Stati di riferimento dell'edificio, lo Stato Attuale e lo Stato di Progetto. Infatti, ciò che realmente è importante approfondire non è tanto il fatto di comparare i due Stati, operazione che avviene con un semplice confronto fra risultati, bensì **come effettuare una corretta classificazione**, sia nel caso di riferimento ad uno stato attuale sia ad uno stato determinato dagli interventi di consolidamento.

Il metodo Convenzionale sarà in generale preferibile poiché implica l'analisi dell'edificio, ed è per questo motivo che gli corrisponde un campo operativo più ampio rispetto al metodo Semplificato: in conseguenza

di un intervento, il metodo Convenzionale consente il salto di più classi di rischio (con supporto economico fino ad un salto di due classi), mentre il metodo Semplificato consente il salto di una sola classe.

Vi è quindi implicitamente l'attribuzione di una qualifica di maggiore precisione al metodo Convenzionale. D'altra parte, nel metodo Semplificato vi sono alcuni parametri qualitativi molto importanti per la descrizione dello stato del fabbricato, ma di non immediata corrispondenza nel modello di calcolo del metodo Convenzionale, come ad esempio:

- Elevato degrado e/o danneggiamento;
- Accorgimenti per aumentare la resistenza;
- Pannelli murari male ammorsati fra di loro;
- Orizzontamenti di calcestruzzo armato o comunque caratterizzati da elevata rigidità nel proprio piano medio, ben collegati alla muratura;
- Orizzontamenti male ammorsati alle pareti.

Si può osservare che se le varie peculiarità caratteristiche della tipologia strutturale, considerate nel metodo Semplificato, non vengono adeguatamente rappresentate nel metodo Convenzionale, si rischia di ottenere una valutazione meno appropriata con il metodo Convenzionale rispetto al Semplificato.

L'osservazione fondamentale che deve guidare il Progettista nella scelta di uno fra i due metodi è la seguente: **affinché la precisione del metodo Convenzionale sia realistica, occorre saper tradurre nel modello strutturale, almeno approssimativamente, le peculiarità presenti nel metodo Semplificato.** In altre parole, i 'parametri qualitativi' del metodo Semplificato devono essere tradotti in 'parametri quantitativi'.

Nel seguito verranno date delle indicazioni su come procedere alla modellazione dei parametri sopra riportati con PCM, nel rispetto del contenuto normativo del recente Decreto.

- *Elevato degrado e/o danneggiamento:* si distinguono l'analisi per meccanismi di collasso e l'analisi globale lineare e non lineare.
In analisi cinematica, i meccanismi di collasso possono essere descritti facendo riferimento anche al quadro fessurativo statico rilevato, ad esempio interpretando le lesioni come possibili superfici di distacco dei corpi.
In analisi globale, il modello a telaio equivalente non consente una descrizione locale del degrado del materiale, tuttavia si può tener conto dello stato di danneggiamento modificando opportunamente le caratteristiche meccaniche della muratura costituente il manufatto.
- *Accorgimenti per aumentare la resistenza:* in PCM è anzitutto possibile inserire coefficienti correttivi i quali vanno a modificare le caratteristiche meccaniche della muratura costituente il manufatto, ad esempio in presenza di iniezioni o di intonaco armato; sono inoltre disponibili parametri in input descrittivi dei principali interventi di consolidamento (ad esempio, con FRP, CAM).
- *Pannelli murari male ammorsati fra di loro:* PCM permette di agire sui vincoli dei link rigidi in modo da svincolare i pannelli murari in corrispondenza di angoli e intersezioni di pareti portanti. Nei casi di collegamenti in angolo di scarsa qualità ed efficacia e di solai non rigidi a tutti gli impalcati, può essere consigliabile la schematizzazione dello stato attuale attraverso paramenti murari piani.
- *Orizzontamenti di calcestruzzo armato o comunque caratterizzati da elevata rigidità nel proprio piano medio, ben collegati alla muratura:* PCM permette la definizione di solai rigidi o deformabili,

anche per singole campate di impalcato; è inoltre possibile rappresentare solai parzialmente rigidi attraverso elementi strutturali aggiuntivi quali bielle di controvento.

- *Orizzontamenti male ammorsati alle pareti*: se un solaio è male ammorsato alle pareti, sarà necessario considerare lo sfilamento dei travetti come possibile danno locale, da interpretare nei fenomeni di ribaltamento cinematico (meccanismo di collasso): in tali casi, alla massa sismica prodotta dal carico non corrisponde un'azione stabilizzante di strutture di solaio in grado di opporsi al ribaltamento della parete. Per quanto riguarda l'analisi globale, il cattivo ammorsamento dei solai può essere considerato un impedimento nei confronti di un comportamento scatolare globale e quindi un'analisi cinematica potrebbe essere sufficiente per descrivere lo stato attuale dell'edificio. In un'eventuale analisi globale, è consigliabile qualificare un solaio mal ammorsato come deformabile.

Con l'esempio illustrato nel paragrafo 4, si mostra l'utilizzo di dati e risultati (domanda e capacità) in termini di periodo di ritorno e di accelerazione attraverso entrambi i metodi Semplificato e Convenzionale, e per quest'ultimo si presenta il diagramma PAM contenuto nel foglio di calcolo predisposto da Aedes.

Prima di passare alla trattazione degli esempi, si illustra la procedura operativa con PCM attraverso l'utilizzo del **nuovo comando Classificazione disponibile nella barra degli strumenti Supporto** per l'applicazione del metodo Convenzionale.

3.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA CON IL SOFTWARE AEDES.PCM

La classificazione sismica dell'edificio con PCM, riferita al metodo Convenzionale, si effettua in due passi.

1) Esecuzione dell'analisi.

Per gli edifici esistenti in muratura l'analisi cinematica (studio dei meccanismi di collasso) affianca l'analisi globale, in genere condotta con metodo statico non lineare (pushover); l'analisi statica non lineare può essere integrata con analisi lineare (ad es. dinamica modale) per le verifiche complementari (es.: fondazioni, azioni locali per pressoflessione ortogonale);

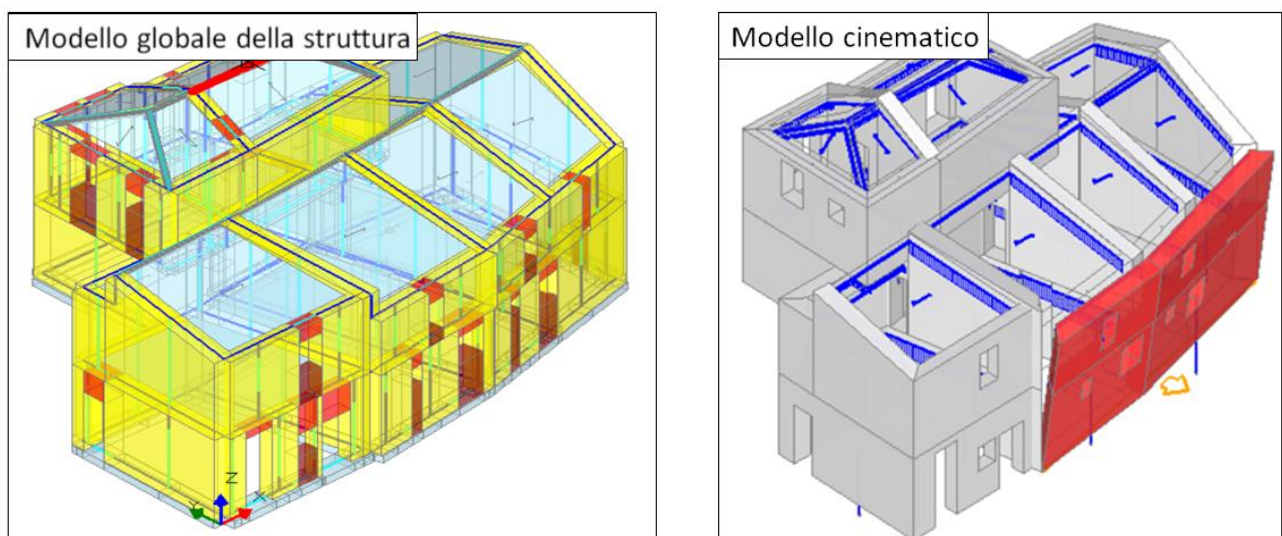


Fig. 2. Modello globale e modello cinematico

2) Elaborazione dei risultati per ottenere la classe di rischio.

L'insieme dei risultati delle analisi fornisce, per gli stati limite di riferimento:

- le capacità in termini di accelerazione al suolo P_{GA} e di periodo di ritorno T_R (indicato con Tr nel Decreto 65) il cui inverso è la frequenza λ (utilizzata nelle relazioni del Decreto 65); il significato di λ è la probabilità annua che il sistema che produce quel dato stato limite sia superato;
- i coefficienti di sicurezza definiti come 'indicatori di rischio sismico', in termini di P_{GA} e di T_{Rv} dati dal rapporto tra capacità e domanda, quest'ultima dipendente dai dati in input relativi alle azioni sismiche. Per la simbologia: l'indicatore di rischio sismico secondo P_{GA} in PCM ha come simbolo $\alpha_{v,P_{GA}}$, mentre nel Decreto 65 viene indicato come IS-V: si tratta della stessa grandezza (rapporto tra capacità e domanda in termini di P_{GA} per SLV).

In PCM lo stato limite ultimo di riferimento è SLV, e per esso i risultati sono sempre elaborati; per gli altri stati limite: SLC, seguendo le indicazioni della Circ.617/2009 (§C8.7.1.1), non viene considerato direttamente in quanto per il soddisfacimento delle verifiche si fa esplicito riferimento a SLV; SLD può essere considerato sia in analisi cinematica (attivando la corrispondente opzione nei dati in input di ogni meccanismo di collasso) sia in analisi globale; SLO può essere considerato in analisi globale. Come sarà illustrato nel seguito, per i risultati in termini di T_R su alcuni stati limite non elaborati è possibile fare riferimento ad alcune relazioni proposte nel Decreto 65 del 7.3.2017 che collegano fra loro i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite.

Dal punto di vista operativo, dopo aver eseguito le analisi, la classe di rischio viene definita richiamando un apposito foglio di calcolo (per Microsoft Excel) attraverso il comando 'Classificazione' posto nel gruppo Utility della barra degli strumenti Supporto.

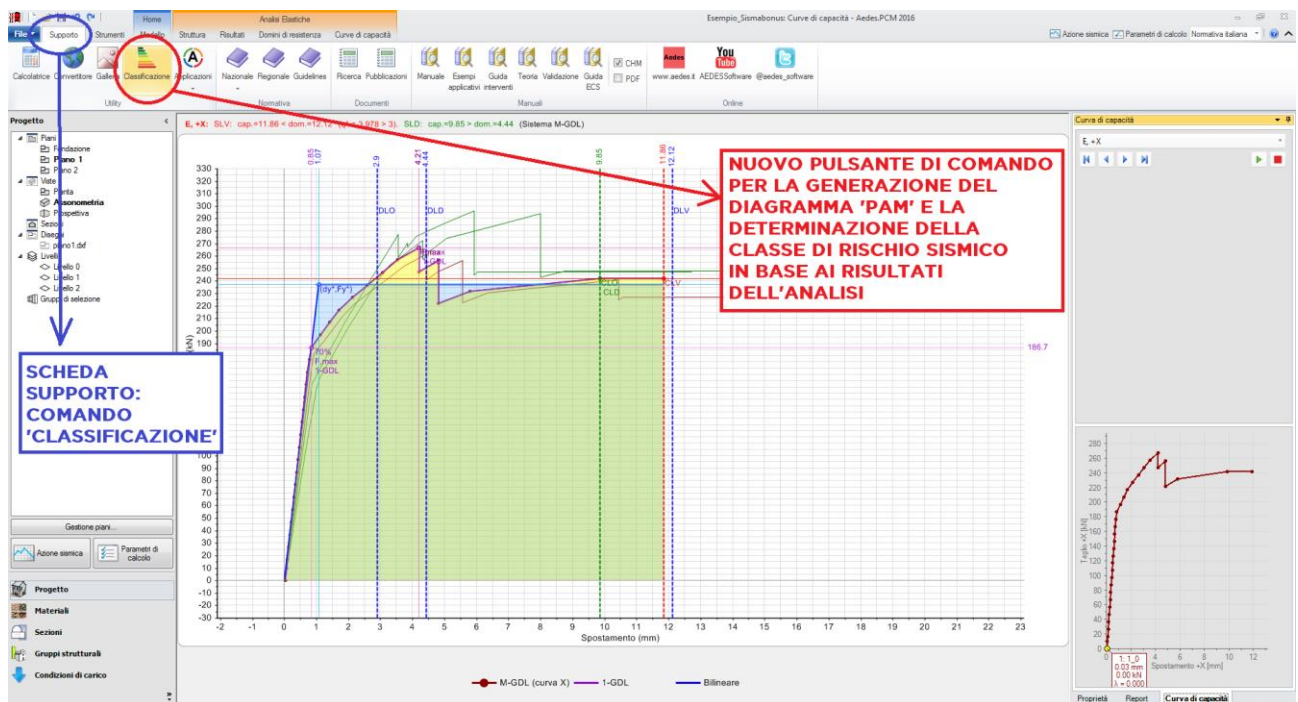


Fig. 3. Comando Classificazione della barra degli strumenti Supporto

La figura seguente rappresenta la procedura operativa con PCM; in essa viene fatto riferimento ai risultati dell'analisi pushover (eventuali altri risultati ottenuti con i meccanismi di collasso confluiranno nella definizione delle capacità e degli indicatori di rischio).

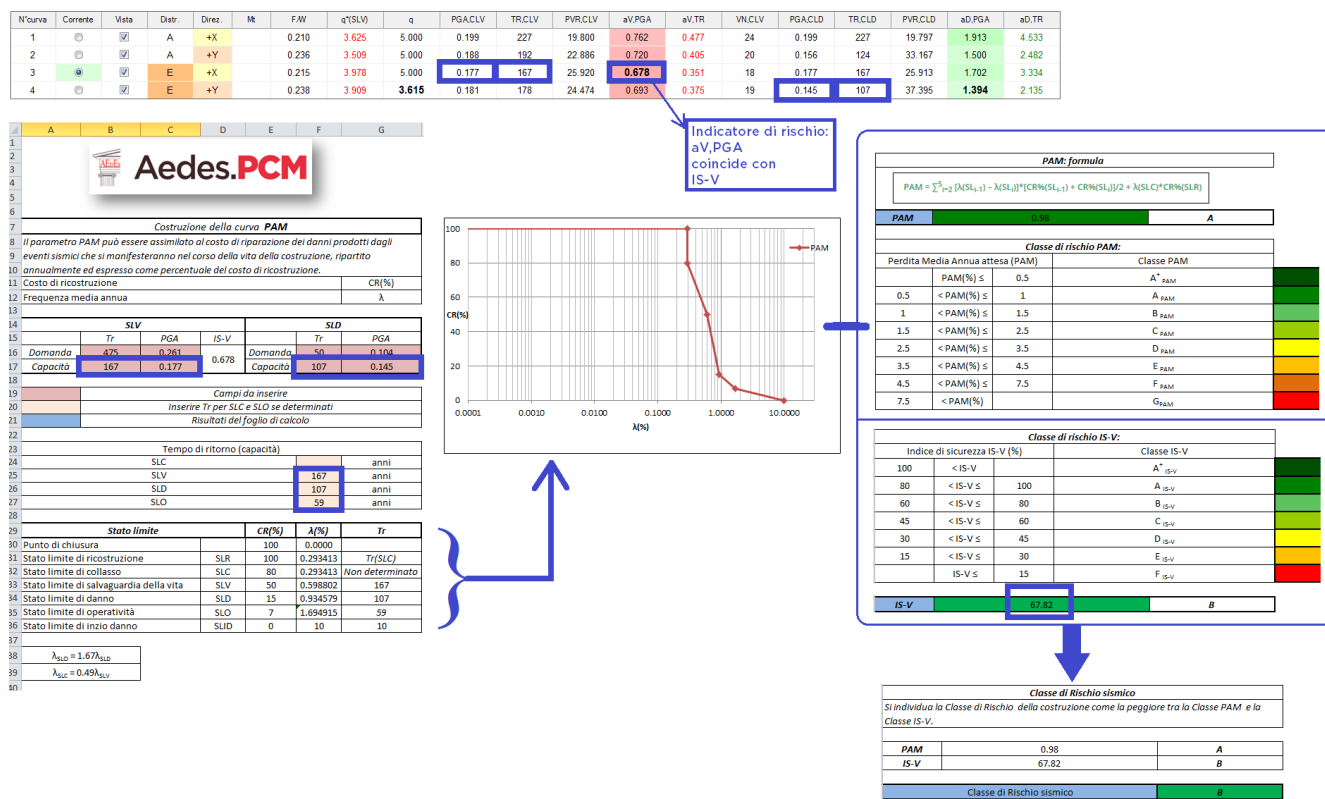


Fig. 4. Organizzazione del foglio di calcolo

I risultati vengono inseriti automaticamente nella tabella apposita del foglio di calcolo, e determinano la generazione del diagramma PAM., che viene costruito riportando per ogni stato limite: in ascisse: la frequenza λ, pari all'inverso del periodo di ritorno; in ordinate: il corrispondente costo di ricostruzione CR (in %) secondo la tabella 3 del Decreto di riferimento:

| Stato Limite | CR(%) |
|--------------|-------|
| SLR | 100% |
| SLC | 80% |
| SLV | 50% |
| SLD | 15% |
| SLO | 7% |
| SLID | 0% |

Le classi di rischio che competono al diagramma PAM e all'indicatore di rischio IS-V (indicato anche con α_{V,PGA}) concorrono entrambe alla definizione della classe di rischio dell'edificio, identificata come la peggiore fra le due.

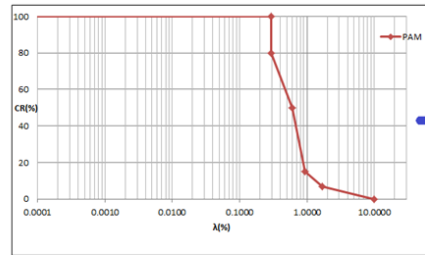
| Vista | Distr. | Direz. | Mt. | FW | q[SLV] | q | PGACL | TRCLV | PVRCLV | aV PGA | aV TR | VNCLV | PGACLD | TRCLD | PVRCLD |
|-------------------------------------|--------|--------|-----|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | A | +X | | 0.210 | 3.625 | 5.000 | 0.199 | 227 | 19.800 | 0.762 | 0.477 | 24 | 0.199 | 227 | 19.79 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | A | +Y | | 0.236 | 3.509 | 5.000 | 0.188 | 192 | 22.886 | 0.720 | 0.405 | 20 | 0.156 | 124 | 33.16 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | E | +X | | 0.215 | 3.978 | 5.000 | 0.177 | 167 | 25.920 | 0.678 | 0.351 | 18 | 0.177 | 167 | 25.91 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | E | +Y | | 0.238 | 3.909 | 3.615 | 0.181 | 178 | 24.474 | 0.693 | 0.375 | 19 | 0.145 | 107 | 37.39 |

Indicatore di rischio:
aV,PGA
coincide con
IS-V

Dalla tabella dei risultati delle curve di capacità vengono raccolti i dati in input necessari per la definizione della classe di rischio sismico:

domanda e capacità in termini di Tr, periodo di ritorno, e di PGA, accelerazione al suolo, con indicatore di rischio, per i diversi Stati Limite

| Costruzione della curva PAM | | | | | |
|---|------|-------|-------|----------|-----------------|
| Il parametro PAM può essere assimilato al costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifesteranno nel corso della vita della costruzione, ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione. | | | | | |
| Costo di ricostruzione | | | | | CR(%) |
| Frequenza media annua | | | | | λ |
| SLV | | | SLD | | |
| Tr | PGA | IS-V | Tr | PGA | |
| Domanda | 475 | 0.261 | 50 | 0.104 | |
| Capacità | 167 | 0.177 | 107 | 0.145 | |
| Campi da inserire | | | | | |
| Inserire Tr per SLC e SLO se determinati | | | | | |
| Risultati del foglio di calcolo | | | | | |
| Tempo di ritorno (capacità) | | | | | |
| SLC | | | | | anni |
| SLV | | | 167 | | anni |
| SLD | | | 107 | | anni |
| SLO | | | 59 | | anni |
| Stato limite | | | CR(%) | A(%) | Tr |
| Punto di chiusura | | | 100 | 0.0000 | |
| Stato limite di ricostruzione | SLR | | 100 | 0.293413 | Tr(SLC) |
| Stato limite di collasso | SLC | | 80 | 0.293413 | Non determinato |
| Stato limite di salvaguardia della vita | SLV | | 50 | 0.598802 | 167 |
| Stato limite di danno | SLD | | 15 | 0.934579 | 107 |
| Stato limite di operatività | SLO | | 7 | 1.694915 | 59 |
| Stato limite di inizio danno | SLID | | 0 | 10 | 10 |
| λ _{SLC} = 1.67λ _{SLV} | | | | | |
| λ _{SLD} = 0.49λ _{SLV} | | | | | |



Nel foglio di calcolo predisposto, si determinano le frequenze medie annue di superamento, e si costruisce il diagramma PAM

La Perdita Media Annua attesa (PAM) e l'indicatore di rischio sismico in termini di PGA (=indice di sicurezza della struttura IS-V) definiscono ognuno la classe di rischio...

ed infine il risultato corrisponde alla classe più sfavorevole tra le due

| PAM: formula | | |
|--|-------|---------------------|
| $PAM = \sum_{i=1}^n (\lambda_{SLi} - \lambda_{SLi-1}) \cdot CR_{i(SL)} + CR_{n(SL)} \cdot \lambda_{SLn} + \lambda_{SLC} \cdot CR_{n(SLR)}$ | | |
| PAM | 0.98 | A |
| Classe di rischio PAM: | | |
| Perdita Media Annua attesa (PAM) | | Classe PAM |
| PAM(%) ≤ 0.5 | | A ⁺ PAM |
| 0.5 < PAM(%) ≤ 1 | | A PAM |
| 1 < PAM(%) ≤ 1.5 | | B PAM |
| 1.5 < PAM(%) ≤ 2.5 | | C PAM |
| 2.5 < PAM(%) ≤ 3.5 | | D PAM |
| 3.5 < PAM(%) ≤ 4.5 | | E PAM |
| 4.5 < PAM(%) ≤ 7.5 | | F PAM |
| 7.5 < PAM(%) | | G PAM |
| Classe di rischio IS-V: | | |
| Indice di sicurezza IS-V (%) | | Classe IS-V |
| 100 < IS-V ≤ 100 | | A ⁺ IS-V |
| 80 < IS-V ≤ 100 | | A IS-V |
| 60 < IS-V ≤ 80 | | B IS-V |
| 45 < IS-V ≤ 60 | | C IS-V |
| 30 < IS-V ≤ 45 | | D IS-V |
| 15 < IS-V ≤ 30 | | E IS-V |
| IS-V ≤ 15 | | F IS-V |
| IS-V | 67.82 | B |

| Classe di Rischio sismico | | |
|--|-------|---|
| Si individua la Classe di Rischio della costruzione come la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V. | | |
| PAM | 0.98 | A |
| IS-V | 67.82 | B |
| Classe di Rischio sismico | | B |

...ed infine il risultato corrisponde alla classe più sfavorevole tra le due

Fig. 5. Dettagli sulla procedura di definizione della classe di rischio sismico

• Controllo sulle relazioni fra i diversi stati limite

Le procedure di elaborazione implementate in PCM controllano il rispetto delle relazioni fra i diversi stati limite proposti dai contenuti normativi.

Ad esempio, se le capacità per SLO e/o SLD mostrano un periodo di ritorno maggiore di SLV, anche per SLO e SLD viene assunto il periodo corrispondente a SLV (questa indicazione si trova nella nota (6) del Decreto 65 del 7.3.2017).

In generale, dal calcolo con PCM non sarà nota la capacità per SLC: viene quindi adottata la relazione $\lambda_{SLC} = 0.49 \lambda_{SLV}$. Il valore 0.49 è pari al rapporto tra 475 e 975 anni, corrispondenti ai periodi di ritorno rispettivamente per SLV e per SLC, per normali edifici residenziali (vita nominale 50 anni, classe d'uso II, probabilità di superamento pari a 10% per SLV e a 5% per SLC).

Può inoltre non essere nota λ_{SLO} : si pone allora pari a $1.67 \lambda_{SLD}$. Il valore 1.67 è pari al rapporto tra 50 e 30 anni, corrispondenti ai periodi di ritorno rispettivamente per SLD e per SLO, per normali edifici, con probabilità di superamento 63% per SLD e 81% per SLO.

Qualora il risultato per SLD non sia noto, si pone uguale a SLV; in generale, tuttavia, ai fini della classificazione sismica, si consiglia di eseguire in PCM, oltre alle verifiche SLV:

- in analisi cinematica, le verifiche a SLD, attivando la corrispondente opzione nei dati di ogni singolo cinematisimo;

- in analisi globale (lineare e/o pushover): le verifiche a SLO e SLD, disabilitando il check:

Per Edifici Esistenti: valutare la sicurezza con riferimento al solo SLV (Parametri di Calcolo, scheda Analisi, gruppo Analisi sismica: valutazione della sicurezza); questo check ha effetto nella compilazione delle schede di sintesi e nelle impostazioni dei Parametri di Stampa, ma non nelle analisi eseguite; affinché oltre a SLV i risultati relativi a SLO e SLD siano elaborati è invece necessario selezionare i corrispondenti check:

SLE analizzati: SLO, SLD (Parametri di Calcolo, scheda Sismica, gruppo Opzioni di analisi).

• Controllo sui periodi di ritorno inferiori a 10 anni

Un altro importante controllo eseguito da PCM riguarda i valori limiti inferiori delle capacità in termini di periodo di ritorno. Poiché lo Stato Limite di Inizio Danno viene convenzionalmente identificato con $T_R=10$ anni, eventuali risultati su T_R per gli stati limite elaborati dal calcolo inferiori a tale limite verranno comunque ricondotti a 10 anni.

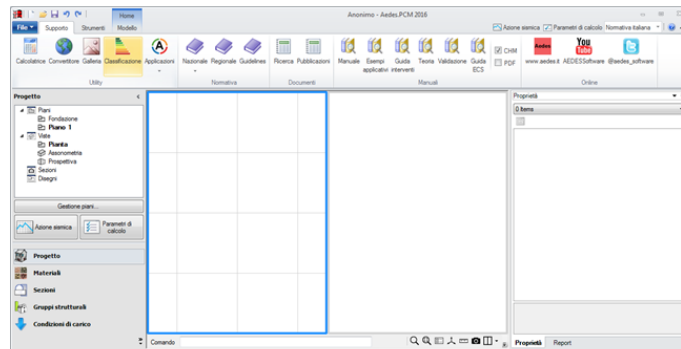
Si osservi che risultati dell'analisi condotta con PCM con periodi di ritorno inferiori a 10 anni possono occasionalmente manifestarsi in quanto PCM considera capacità in termini di T_R non solo comprese nell'intervallo [30, 2475] anni, come indicato nel D.M. 14.1.2008, ma anche minori di 30 anni. Con riferimento al Programma di ricerca DPC-ReLUIIS (Unità di Ricerca CNR-ITC), PCM adotta un'estrapolazione mediante una regressione sui tre valori di hazard $a_g(30)$, $a_g(50)$ e $a_g(75)$ effettuata con la funzione di potenza: $a_g(T_R) = k \cdot T_R^\alpha$.

E' quindi possibile stimare la capacità anche per **periodi di ritorno minori di 30 anni**, ed è questo un aspetto **molto importante per la definizione delle classi di rischio di edifici che allo stato attuale sono costituiti da una struttura particolarmente vulnerabile**; ciò permetterà la stima più corretta degli effetti di un progetto di consolidamento.

• Considerazioni complementari

Per quanto riguarda l'analisi globale, il percorso operativo è stato illustrato nelle immagini precedenti facendo riferimento ai risultati dell'analisi pushover, ma gli indicatori di rischio potrebbero essere calcolati anche attraverso la sola analisi lineare, ad esempio la dinamica modale; in generale, tuttavia, per gli edifici in muratura esistenti l'analisi pushover è, come noto, preferibile in quanto capace di descrivere adeguatamente il progressivo danneggiamento dell'edificio.

Il foglio di calcolo proposto da PCM può essere utilizzato anche indipendentemente dal calcolo condotto con PCM stesso: se infatti si imposta un 'nuovo progetto', senza poi definire il modello, è comunque possibile accedere al foglio Excel dal comando Classificazione: i dati sulle capacità e sugli indicatori di rischio potranno essere direttamente inseriti nel foglio stesso, per ottenere quindi l'elaborazione del diagramma PAM e la definizione della classe di rischio.



Il foglio di calcolo proposto da PCM può essere usato anche indipendentemente dall'aver eseguito modellazione e analisi con PCM.

Creando un nuovo progetto, il comando Classificazione apre il foglio di calcolo per inserire i dati su T_r , PGA, IS-V, e ottenere così la classe di rischio sismico

Fig. 6. Utilizzo del foglio di calcolo per costruzioni non modellate con PCM

4. ESEMPIO APPLICATIVO: FABBRICATO IN PIETRA

I modelli descritti in questo paragrafo sono reperibili nei progetti forniti in dotazione a PCM: consultare la cartella Classificazione.

Descrizione dell'edificio

Si analizza la classificazione sismica di un fabbricato rurale sito nel Comune di Pieve Torina (provincia di Macerata): Anche se il modello questo edificio è proposto anche in altri esempi forniti a corredo di PCM, viene qui riproposto ai fini della classificazione sismica.

Nell'edificio sono distinguibili due organismi: il corpo principale, più esteso ed a pianta pressoché rettangolare, si sviluppa in altezza su due piani, con quello inferiore seminterrato; il corpo secondario è situato in posizione d'angolo, è rialzato rispetto al primo ed è articolato su due livelli.

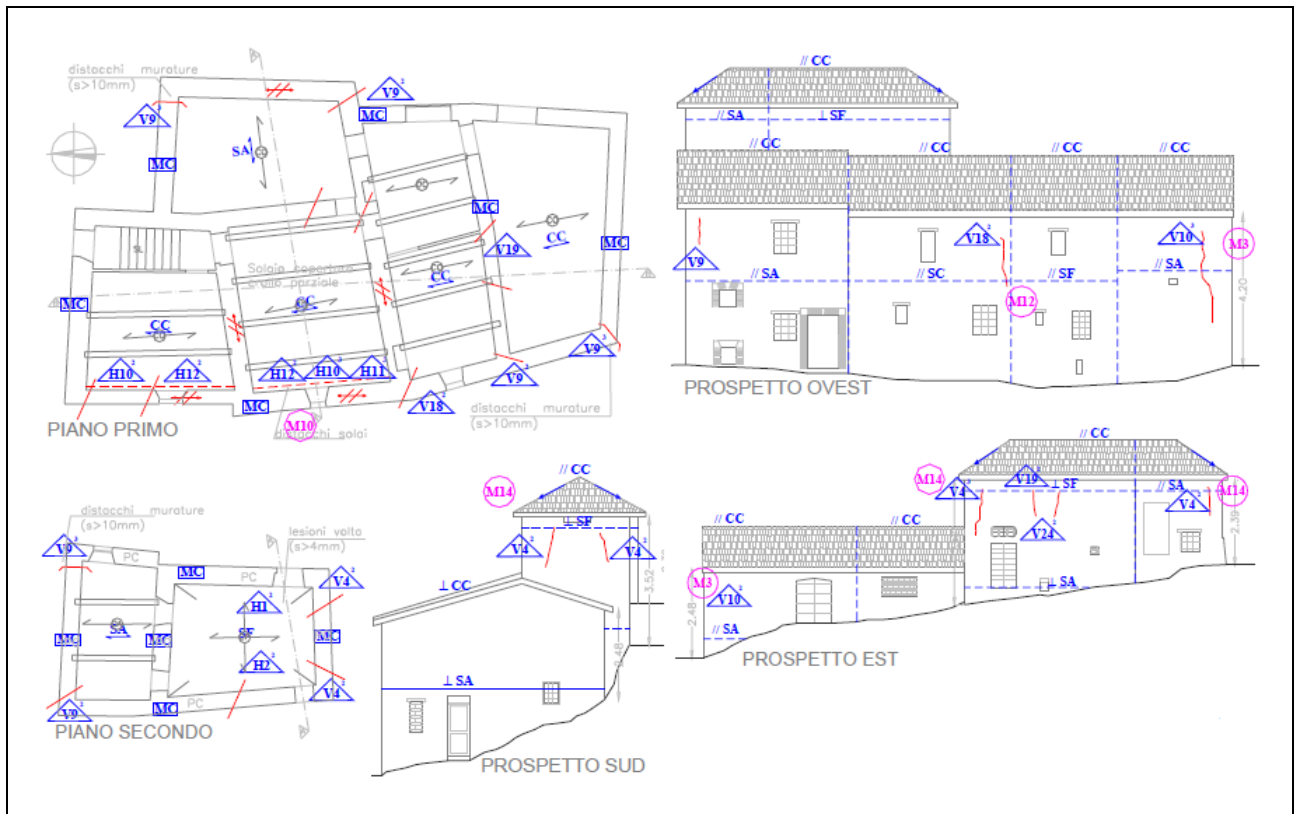


Fig. 7. Dall'alto, in senso orario: pianta del piano primo, prospetto ovest, prospetto est, prospetto sud, pianta del piano secondo dell'edificio

La struttura muraria è realizzata con muratura di pietra sboccata di qualità mediocre; gli orizzontamenti sono rappresentati prevalentemente da solai in legno a doppia orditura, tra cui sono stati rilevati alcuni solai in acciaio e laterizio e volte in pietra. La copertura è costituita da tetti in legno non spingenti a travi orizzontali con organizzazione a padiglione sul corpo secondario.

La struttura muraria non presenta un comportamento resistente d'insieme, i pannelli murari risultano male ammorsati tra di loro. Il danneggiamento della struttura è rappresentato principalmente da lesioni ad andamento verticale o diagonale in prossimità delle intersezioni murarie diffuse nelle varie parti dell'edificio. Si riscontrano danni alle strutture orizzontali localizzati in corrispondenza della parete sul prospetto ovest dell'edificio e rappresentati da lesioni di distacco dai muri come conseguenza del cattivo ammorsamento alle strutture portanti. Si rileva inoltre il dissesto della volta in pietra al secondo piano del corpo rialzato dell'edificio, legato allo stato di decompressione indotto dalle azioni sismiche sulle murature di sostegno della stessa, anch'esse danneggiate da lesioni verticali e diagonali.

La lettura del quadro dei danni riportati dall'edificio permette di individuare i meccanismi di collasso attivati a seguito del sisma del 1997, rappresentati principalmente da: ribaltamento della facciata sul prospetto sud del fabbricato, con trascinarsi di cunei di muratura appartenenti alle pareti ad essa ortogonali (a causa della ridotta qualità muraria delle pareti laterali, le dimensioni dei cunei di distacco sono piuttosto limitate ed influiscono poco sulla stabilità della struttura muraria), come denunciato dall'andamento delle lesioni visibili sui prospetti ovest ed est; ribaltamento dei cantonali costituenti le angolate del corpo rialzato, che si manifesta attraverso il distacco di macro-elementi cuneiformi individuati da lesioni pressoché diagonali. Il ribaltamento dei cantonali nella parte alta dell'edificio è dovuto all'assenza di collegamento efficace tra le pareti e la copertura ed alla probabile azione di spinta esercitata dai puntoni del tetto a padiglione che sovrasta il corpo secondario.

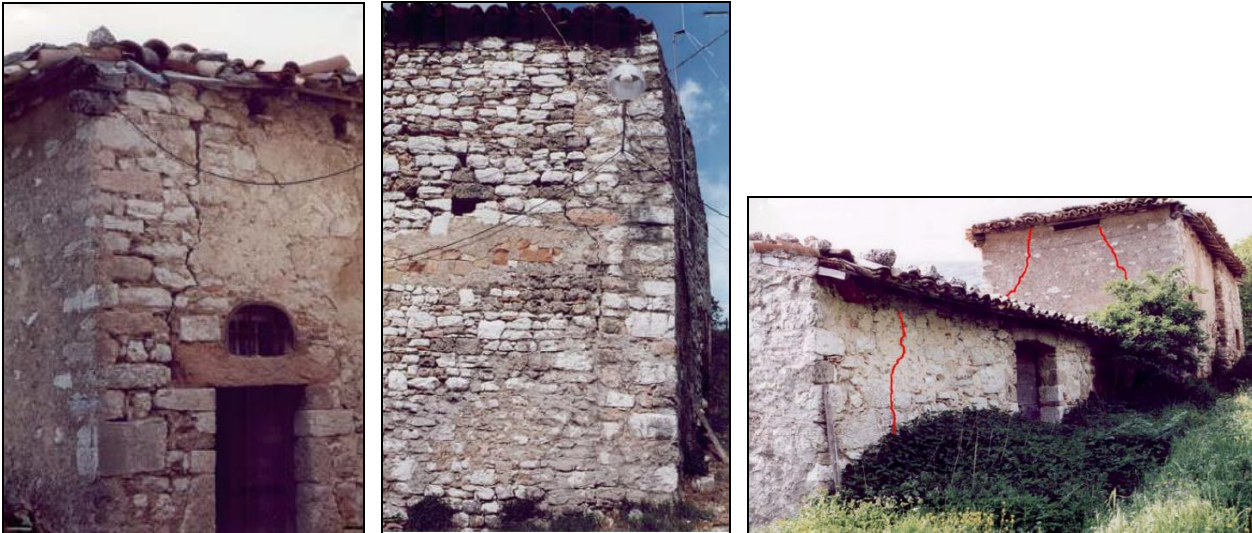


Fig. 8. Lesioni rilevate

4.1. METODO SEMPLIFICATO

Con tale metodo è possibile calcolare la classe di rischio sismico solo per strutture in muratura e per interventi di tipo locale.

Procedimento:

- 1) Valutazione della classe vulnerabilità della costruzione (definita dalla Scala Macrosismica Europea EMS).
L'EMS individua 7 tipologie di edifici in muratura e fissa la vulnerabilità media di ciascuna individuando 6 classi di vulnerabilità, da V1 a V6, con vulnerabilità crescente dal pedice 1 al pedice 6. Per ogni tipologia di struttura si rileva il valore della classe di vulnerabilità.
- 2) La classe di vulnerabilità, in relazione alla pericolosità del sito in cui è localizzato l'edificio, corrisponde ad una classe di rischio. La pericolosità del sito è individuata attraverso la zona sismica di appartenenza così come definita dall'OPCM 3274/2003.

| TIPOLOGIA STRUTTURALE | | PECULIARITÀ CARATTERISTICHE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE | CLASSE MEDIA DI VULNERABILITÀ GLOBALE | POSSIBILI MECCANISMI LOCALI | PECULIARITÀ NEGATIVE PER LA VULNERABILITÀ LOCALE/GLOBALE | PAS-SAGGIO DI CLASSE |
|-------------------------|--|---|---------------------------------------|--|---|------------------------------------|
| INERTI / MAGLIA MURARIA | | | | | | |
| | pietra grezza | <ul style="list-style-type: none"> Legante di cattiva qualità e/o assente Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti | V ₆ | | | |
| | mattoni di terra cruda (adobe) | <ul style="list-style-type: none"> Orizzontamenti di legno o di mattoni ma comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti Eventuale presenza di telai di legno | V ₆ | | | |
| MURATURA | pietra sbalzata | <ul style="list-style-type: none"> Accorgimenti per aumentare la resistenza (ad es. listature). Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti | V ₅ | Ribaltamento delle pareti | <ul style="list-style-type: none"> Scarsa qualità costruttiva Elevato degrado e/o danneggiamento Spinte orizzontali non contrastate Pannelli murari male ammorinati tra loro Orizzontamenti male ammorinati alle pareti Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni | da V ₅ a V ₆ |
| | mattoni o pietra lavorata | <ul style="list-style-type: none"> Orizzontamenti di mattoni o di legno caratterizzati da scarsa rigidità nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti | V ₅ | | <ul style="list-style-type: none"> Presenza di numerose nicchie che riducono significativamente l'area resistente della muratura Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza | da V ₄ a V ₅ |
| | pietra massiccia per costruzioni monumentali | <ul style="list-style-type: none"> Orizzontamenti a volta o di legno caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio | V ₄ | Meccanismi parziali o di piano | <ul style="list-style-type: none"> Scarsa qualità costruttiva Elevato degrado e/o danneggiamento Pannelli murari male ammorinati tra loro Orizzontamenti male ammorinati alle pareti Pannelli murari a doppio strato con camera d'aria Assenza totale o parziale di cordoli Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni Presenza di numerose nicchie che riducono significativamente l'area resistente della muratura Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza | da V ₄ a V ₅ |
| | mattoni + solai d'elevata rigidità nel proprio piano medio | <ul style="list-style-type: none"> Funzionamento scatolare della costruzione Orizzontamenti di calcestruzzo armato o comunque caratterizzati da elevata rigidità nel proprio piano medio ben collegati alla muratura | V ₄ | Ribaltamento delle pareti Meccanismi parziali o di piano | <ul style="list-style-type: none"> Scarsa qualità costruttiva Elevato degrado o danneggiamento Elevata irregolarità in pianta e/o in altezza Presenza numerosa di elementi non-strutturali che modificano negativamente il comportamento locale e/o globale Aperture di elevanti dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza | da V ₄ a V ₅ |
| | armata e/o confinata | <ul style="list-style-type: none"> Elevata qualità delle muratura, rinforzata da reti o barre di acciaio, e/o realizzata tra travi e colonne che la racchiudono in corrispondenza di tutti e quattro i lati Orizzontamenti di calcestruzzo armato o comunque caratterizzati da elevata rigidità nel proprio piano medio | V ₅ | Meccanismi dovuti, ad esempio, ad un'errata disposizione degli elementi non strutturali che possono ridurre la duttilità globale | <ul style="list-style-type: none"> Scarsa qualità costruttiva Elevato degrado o danneggiamento Elevata irregolarità in pianta e/o in altezza Presenza numerosa di elementi non-strutturali che modificano negativamente il comportamento locale e/o globale Aperture di elevanti dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza | da V ₅ a V ₆ |

Fig. 9. Valutazione della vulnerabilità globale

In funzione delle informazioni fornite sull'edificio, e con riferimento alle indicazioni delle Linee Guida, si determina V₅ come classe media di vulnerabilità globale per la costruzione; considerando poi le peculiarità negative per la vulnerabilità locale e globale rappresentate da: scarsa qualità costruttiva, elevato degrado e/o danneggiamento, pannelli murari male ammorinati fra loro e orizzontamenti male ammorinati, si ha un passaggio di classe di vulnerabilità da V₅ a V₆.

Il fabbricato rurale sito nel Comune di Pieve Torina (provincia di Macerata) ricade nella zona sismica 2.

| Classe di rischio | PAM | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Zona 4 |
|-------------------|---------------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| A+* | $PAM \leq 0.50\%$ | | | | V ₁ - V ₂ |
| A* | $0.50\% < PAM \leq 1.0\%$ | | | V ₁ - V ₂ | V ₃ - V ₄ |
| B* | $1.0\% < PAM \leq 1.5\%$ | V ₁ | V ₁ - V ₂ | V ₃ | V ₅ |
| C* | $1.5\% < PAM \leq 2.5\%$ | V ₂ | V ₃ | V ₄ | V ₆ |
| D* | $2.5\% < PAM \leq 3.5\%$ | V ₃ | V ₄ | V ₅ - V ₆ | |
| E* | $3.5\% < PAM \leq 4.5\%$ | V ₄ | V ₅ | | |
| F* | $4.5\% < PAM \leq 7.5\%$ | V ₅ | V ₆ | | |
| G* | $7.5\% < PAM$ | V ₆ | | | |

Tab. 1: Classe PAM attribuita in funzione della classe di vulnerabilità assegnata all'edificio e della zona sismica in cui lo stesso è situato

Con il metodo Semplificato si ottiene una classe di **Rischio Sismico F***.

4.2. METODO CONVENZIONALE

Il metodo Convenzionale assegna alla costruzione in esame una Classe di Rischio in funzione del parametro economico PAM e dell'indice della struttura IS-V; per eseguire la classificazione è necessario analizzare la struttura.

Sono stati realizzati anzitutto due modelli, finalizzati all'analisi globale, trascurando cioè i meccanismi di collasso, al fine di studiare gli effetti delle ipotesi sullo stato di degrado dei materiali dell'edificio:

1. modello che non tiene conto dello stato di degrado della struttura (materiale integro);
2. modello che tiene conto dello stato di degrado della struttura attraverso la correzione dei parametri meccanici.

Successivamente, sono stati considerati due modelli con sola analisi cinematica:

3. senza tenere conto dello stato di degrado della struttura;
4. tenendo conto dello stato di degrado attraverso una resistenza a compressione finita e l'arretramento degli assi di ribaltamento.

I risultati relativi alla classificazione svolta con i meccanismi di collasso sono stati quindi comparati a quelli ottenuti dai modelli con analisi globale.

Tutti i modelli vengono forniti in dotazione a PCM, e sono reperibili nella cartella Classificazione.

L'obiettivo consiste nel focalizzare l'attenzione su:

- a) le conseguenze delle diverse opzioni di modellazione, e sulla necessità di rappresentare adeguatamente nel modello le peculiarità dell'edificio;
- b) la necessità di eseguire tutte le analisi, globale e cinematica, per ottenere un risultato corretto.

4.2.1. MODELLO 1: MATERIALE INTEGRO

Nella modellazione architettonica si definiscono i *materiali*. La finestra "Materiali" è dedicata alle informazioni principali riguardanti i materiali presenti nel progetto; è possibile richiamare la finestra "Materiali" dall'apposito pulsante posto sotto il "Navigatore".

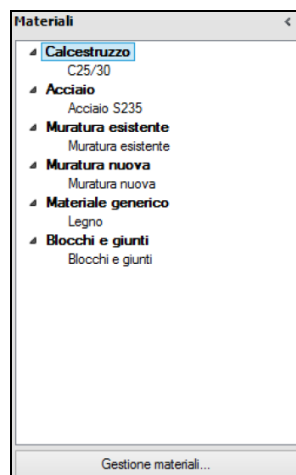


Fig. 10. Finestra "Materiali"

Una volta premuto il comando "Materiali" si apre un menu ad albero, dal quale è possibile selezionare il

materiale scelto ed andare a osservare e/o modificare le proprietà di questo. Il caso oggetto di studio è caratterizzato da muratura con tipologia a conci sbozzati.

| Caratteristiche Meccaniche | Valori [$\frac{N}{mm^2}$] |
|----------------------------|-----------------------------|
| f_m | 2 |
| τ_0 | 0.035 |
| E | 1020 |

Tab. 2. Valori delle caratteristiche meccaniche della muratura a conci sbozzati secondo NTC

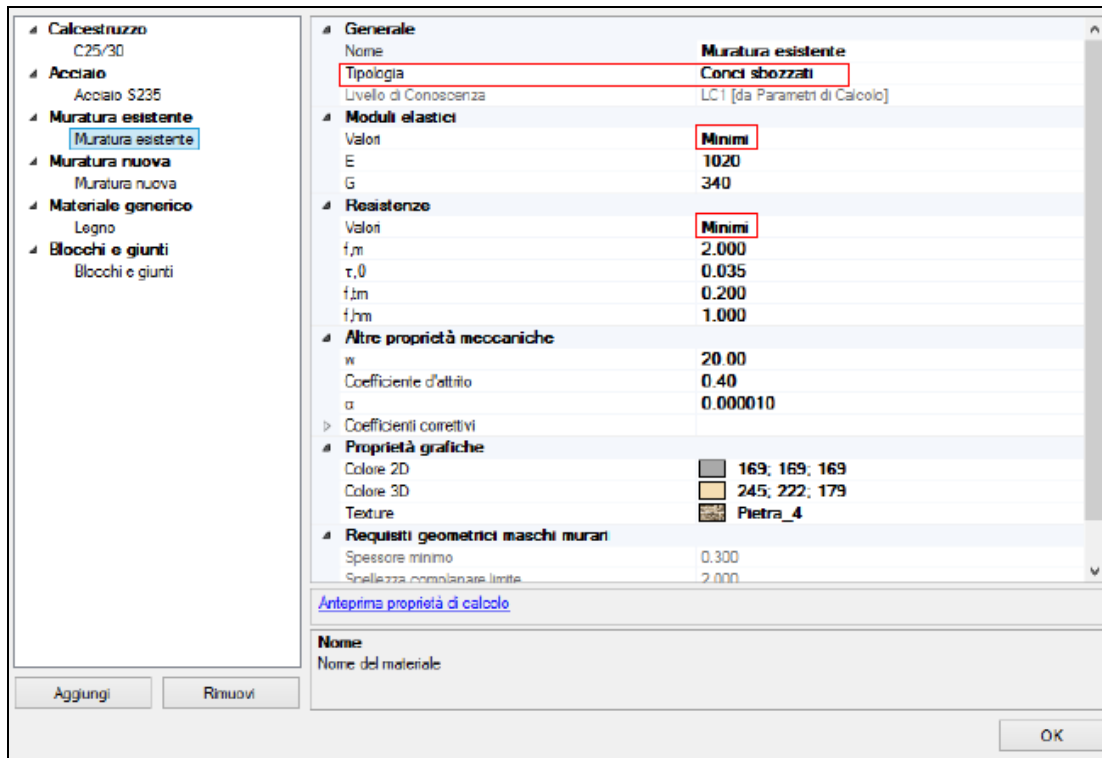


Fig. 11. Definizione del materiale

Una volta definiti i materiali si procede alla costruzione del modello architettonico e successivamente del modello strutturale.

Alcuni richiami sulla costruzione del modello.

Come procedura generale, si creano prima le pareti principali perimetrali, successivamente quelle interne, ed infine, tramite i comandi "Estendi" e "Raccorda" presenti nella scheda "Strumenti", si procederà a richiudere le diverse maglie, facendo attenzione che le pareti si tocchino sempre nella loro linea media. Definiti i muri si procede con l'inserimento delle aperture e dei solai; gli orizzontamenti sono rappresentati prevalentemente da solai in legno e da solai in acciaio e laterizio, data la tipologia di solaio si ritiene che il trasferimento dei carichi avvenga soltanto nella direzione delle travi in legno e delle longarine, e che il solaio non possa essere considerato infinitamente rigido nel proprio piano.

Per definire un solaio deformabile si procede come segue: successivamente alla creazione del modello strutturale, si imposta la rigidità dei diversi livelli (impalcati) selezionando il livello desiderato (dal

Navigatore sulla sinistra) e modificando le proprietà dello stesso (sulla destra vengono riportate le proprietà dell'impalcato).

Per preimpostazione il livello è definito come Rigido (Gruppo "Impalcato Rigido": Direzione X e Direzione Y impostate su Sì). Per definire il livello Non Rigido e quindi Deformabile, occorre scegliere per la Direzione X e la Direzione Y l'opzione No. Questa opzione modifica automaticamente il vincolamento dei nodi.

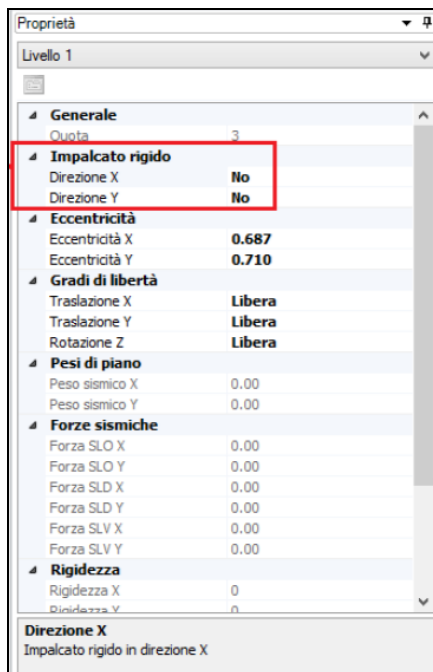


Fig. 12. Definizione del solaio deformabile

In definitiva il risultato della modellazione è il seguente:

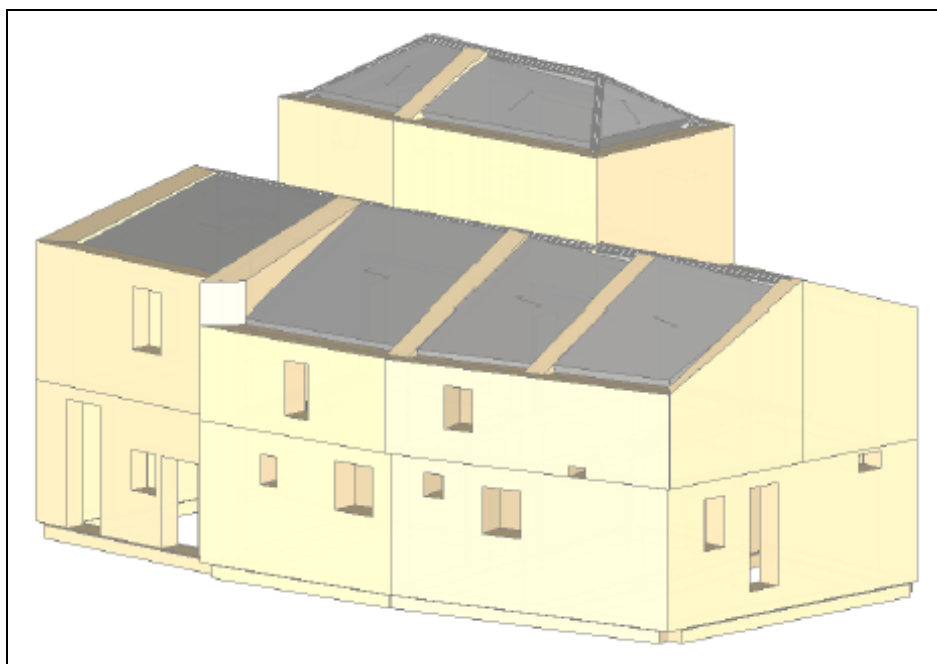


Fig. 13. Modello architettonico

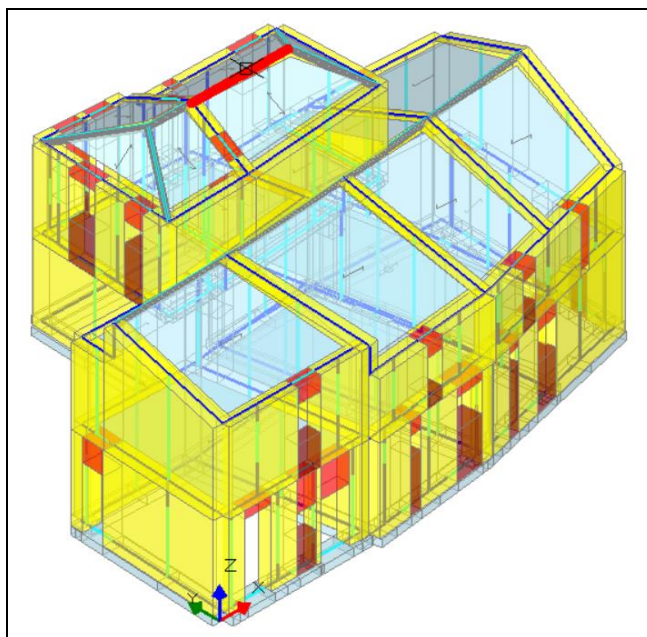


Fig. 14. Modello strutturale

Per condurre l'analisi, si mettono a punto i parametri di calcolo; fra le diverse opzioni, si segnala la scelta di considerare le verifiche per azioni ortogonali con sollecitazioni di presso-flessione derivanti dall'analisi spaziale del modello 3D dell'edificio.

Per i risultati dell'analisi sismica si fa riferimento all'analisi statica non lineare (pushover), che per fissare le idee si esegue per le due distribuzioni (A) ed (E), nelle direzioni e verso +X e +Y.

Una volta terminata l'analisi è possibile visualizzare lo stato di verifica di ogni elemento strutturale, passo per passo, per ogni curva. E' inoltre disponibile una finestra dedicata che riporta in sintesi i risultati di tutte le curve elaborate. I risultati dell'analisi, sotto forma di *Report*, possono essere visualizzati nel pannello apposito, e sono distinti nei seguenti elaborati:

- *Storia evolutiva*: riporta la descrizione dettagliata dell'analisi, e contiene anche le verifiche di resistenza, nella quale le aste vengono elencate per ordine di plasticizzazione. E' così possibile sapere per ogni singola asta plasticizzata qual è il passo a cui è avvenuto il superamento della resistenza di progetto.
- *Verifiche di sicurezza*: riportano in dettaglio la verifica condotta con riferimento all'oscillatore monodimensionale equivalente, fino alla definizione degli indicatori di rischio sismico.

Dalle Verifiche di sicurezza si possono ricavare tutti i dati che permettono di effettuare la classificazione del rischio sismico.

Il comando Classificazione del menu Supporto esegue questa operazione automaticamente, e compone il foglio di calcolo denominato 'Classificazione.xlsx' che viene salvato nel percorso Report del progetto.

Il contenuto del foglio di calcolo è riportato nelle immagini seguenti.

| Costruzione della curva PAM | | | | | | |
|---|-----|-------|-------|---------------|-----------|-----------------|
| Il parametro PAM può essere assimilato al costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifesteranno nel corso della vita della costruzione, ripartito annualmente e ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione. | | | | | | |
| Costo di ricostruzione | | | | | CR(%) | |
| Frequenza media annua | | | | | λ | |
| SLV | | | | SLD | | |
| | Tr | PGA | IS-V | | Tr | PGA |
| Domanda | 475 | 0.316 | 0.608 | Domanda | 50 | 0.14 |
| Capacità | 104 | 0.192 | | Capacità | 104 | 0.192 |
| Campi da inserire | | | | | | |
| Inserire il Tr dello SLC e SLO se determinati | | | | | | |
| Risultati del foglio di calcolo | | | | | | |
| Tempo di ritorno (capacità) | | | | | | |
| SLC | | | | | | anni |
| SLV | | | | | 104 | anni |
| SLD | | | | | 104 | anni |
| SLO | | | | | 104 | anni |
| Stato limite | | | CR(%) | λ (%) | Tr | |
| Punto di chiusura | | | 100 | 0.0000 | | |
| Stato limite di ricostruzione | | | SLR | 100 | 0.471154 | Tr(SLC) |
| Stato limite di collasso | | | SLC | 80 | 0.471154 | Non determinato |
| Stato limite di salvaguardia della vita | | | SLV | 50 | 0.961538 | 104 |
| Stato limite di danno | | | SLD | 15 | 0.961538 | 104 |
| Stato limite di operatività | | | SLO | 7 | 0.961538 | 104 |
| Stato limite di inizio danno | | | SLID | 0 | 10 | 10 |

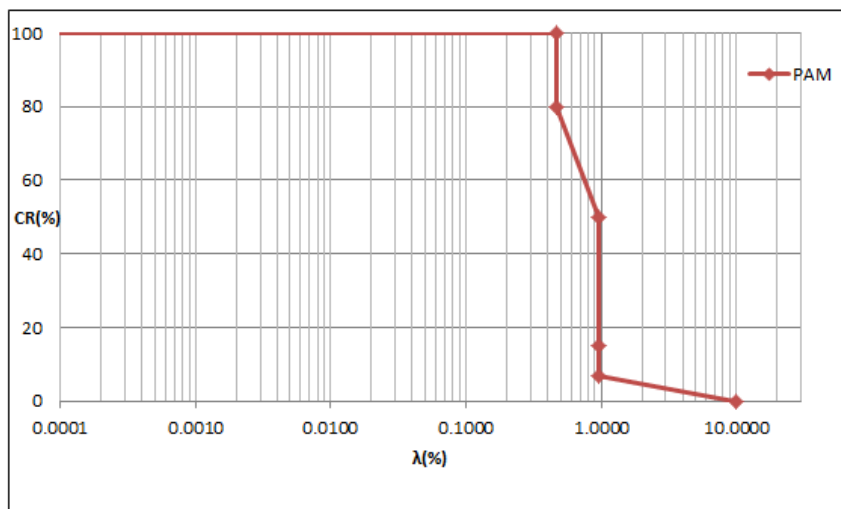


Fig. 15. Diagramma PAM per il modello 1

| | | | |
|---|--------------|-----|--------------------------------|
| PAM | 1.11 | | B |
| Classe di rischio PAM: | | | |
| Perdita Media Annua attesa (PAM) | | | Classe PAM |
| | PAM(%) ≤ | 0.5 | A ⁺ _{PAM} |
| 0.5 | < PAM(%) ≤ | 1 | A _{PAM} |
| 1 | < PAM(%) ≤ | 1.5 | B _{PAM} |
| 1.5 | < PAM(%) ≤ | 2.5 | C _{PAM} |
| 2.5 | < PAM(%) ≤ | 3.5 | D _{PAM} |
| 3.5 | < PAM(%) ≤ | 4.5 | E _{PAM} |
| 4.5 | < PAM(%) ≤ | 7.5 | F _{PAM} |
| 7.5 | < PAM(%) | | G _{PAM} |
| Classe di rischio IS-V: | | | |
| Indice di sicurezza IS-V (%) | | | Classe IS-V |
| 100 | < IS-V | | A ⁺ _{IS-V} |
| 80 | < IS-V ≤ | 100 | A _{IS-V} |
| 60 | < IS-V ≤ | 80 | B _{IS-V} |
| 45 | < IS-V ≤ | 60 | C _{IS-V} |
| 30 | < IS-V ≤ | 45 | D _{IS-V} |
| 15 | < IS-V ≤ | 30 | E _{IS-V} |
| | IS-V ≤ | 15 | F _{IS-V} |
| IS-V | 60.76 | | B |
| Classe di Rischio sismico | | | |
| <i>Si individua la Classe di Rischio della costruzione come la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V.</i> | | | |
| PAM | 1.11 | | B |
| IS-V | 60.76 | | B |
| Classe di Rischio sismico | | | B |

Fig. 16. Classificazione sismica del modello 1

Senza tener conto dello stato di degrado della struttura si ottiene quindi una **Classe di Rischio Sismico B**.

4.2.2. MODELLO 2: MATERIALE CON DEGRADO

Nel seguente modello vengono prese in considerazioni le informazioni di degrado/fessurazione andando a modificare le caratteristiche meccaniche della muratura.

Le caratteristiche meccaniche della muratura vengono corrette mediante lo studio di IQM (Indice della Qualità Muraria). Nella valutazione di IQM entrano in gioco alcuni parametri caratteristici della corretta ed efficace messa in opera della muratura, i cosiddetti parametri della "regola dell'arte". Tramite l'osservazione della muratura viene infatti valutato il grado di rispetto di ogni parametro della regola d'arte.

La "regola dell'arte" è l'insieme degli accorgimenti costruttivi che, se eseguiti durante la costruzione del muro, ne garantiscono il buon comportamento e ne assicurano la compattezza ed il monolitismo.

Per attribuire un giudizio sulla qualità della muratura, è indispensabile valutare in che misura sono rispettati i sette parametri caratterizzanti la regola dell'arte ("R" rispettato; "PR" parzialmente rispettato; "NR" non rispettato).

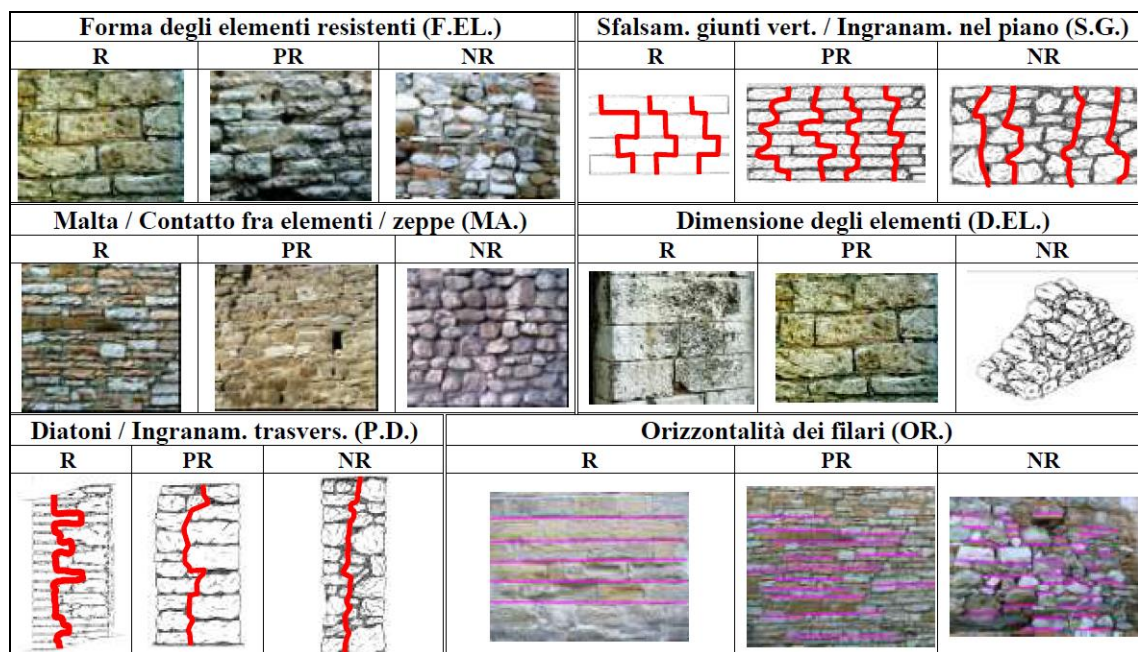


Fig. 17. Lesioni rilevate

| | Azioni verticali | | | Azioni fuori piano | | | Azioni nel piano | | |
|--|------------------|-----|---|--------------------|-----|---|------------------|-----|---|
| | NR | PR | R | NR | PR | R | NR | PR | R |
| OR. Orizzontalità dei filari | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0.5 | 1 |
| P.D. Presenza dei diatoni / ingranamento trasversale | 0 | 1 | 1 | 0 | 1.5 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| F.EL. Forma degli elementi resistenti | 0 | 1.5 | 3 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| S.G. Sfalsamento dei giunti verticali / ingranamento nel piano | 0 | 0.5 | 1 | 0 | 0.5 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| D.EL. Dimensione degli elementi resistenti | 0 | 0.5 | 1 | 0 | 0.5 | 1 | 0 | 0.5 | 1 |
| MA. Qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe | 0 | 0.5 | 2 | 0 | 0.5 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| RE.EL. Resistenza degli elementi | 0.3 | 0.7 | 1 | 0.5 | 0.7 | 1 | 0.3 | 0.7 | 1 |
| Indice IQM | | | | | | | | | |
| $IQM = RE.EL. \times (OR. + P.D. + F.EL. + S.G. + D.EL. + MA.)$ | | | | | | | | | |

Fig. 18. Punteggio da attribuire ad ogni parametro della regola dell'arte e formula di IQM

Una volta determinato IQM per le azioni verticali, fuori piano e nel piano si possono ricavare le caratteristiche meccaniche della muratura; nella fig. 19 vengono riportati i valori dei parametri meccanici in funzione di IQM.

| IQM vert. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|-------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| f_M min-med-max (N/cm ²) | 117 161 206 | 146 198 251 | 183 245 307 | 229 301 374 | 289 372 456 | 358 457 556 | 447 563 679 | 559 693 828 | 698 854 1010 | 873 1053 1233 |
| E min-med-max (N/mm ²) | 652 809 967 | 776 957 1139 | 924 1132 1341 | 1099 1339 1579 | 1307 1583 1859 | 1556 1872 2189 | 1851 2214 2578 | 2202 2618 3035 | 2620 3097 3574 | 3118 3663 4208 |
| IQM nel piano | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| τ_0 min-med-max (N/cm ²) | 2,3 3,0 3,7 | 2,9 3,7 4,5 | 3,6 4,55 5,5 | 4,5 5,6 6,7 | 5,6 6,9 8,2 | 6,9 8,45 10,0 | 8,6 10,4 12,2 | 10,7 12,8 14,9 | 13,3 15,75 18,2 | 16,5 19,35 22,2 |

Fig. 19. Parametri meccanici in funzione di IQM

Di seguito vengono riportati i valori dei parametri meccanici della muratura a conci sbazzati delle NTC e quelli ricavati mediante lo studio del IQM, come si può osservare dalle tabelle, i valori delle caratteristiche meccaniche della muratura sono diminuiti.

| Caratteristiche Meccaniche | Valori $\left[\frac{N}{mm^2}\right]$ |
|----------------------------|--------------------------------------|
| f_m | 2 |
| τ_0 | 0.035 |
| E | 1020 |

Tab. 3. Valori delle caratteristiche meccaniche della muratura a conci sbazzati secondo NTC

| Caratteristiche Meccaniche | Valori $\left[\frac{N}{mm^2}\right]$ |
|----------------------------|--------------------------------------|
| f_m | 1.29 |
| τ_0 | 0.025 |
| E | 701 |

Tab. 4. Valori delle caratteristiche meccaniche della muratura a conci sbazzati ricavati mediante IQM

I nuovi parametri meccanici della muratura possono essere inseriti nella finestra Materiali, come valori Personali. Il modello 2 viene infatti ottenuto direttamente dal modello 1, e successivamente attraverso il comando "Materiali" si modificano le proprietà del materiale murario; in fig. 20 si riportano i parametri modificati.

| | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Generale | |
| Nome | Muratura esistente |
| Tipologia | Conci sbazzati |
| Livello di Conoscenza | LC1 [da Parametri di Calcolo] |
| Moduli elastici | |
| Valori | Personali |
| E | 701 |
| G | 230 |
| Resistenze | |
| Valori | Personali |
| f_m | 1.290 |
| τ_0 | 0.025 |
| f_{tm} | 0.129 |
| f_{hm} | 0.645 |
| Altre proprietà meccaniche | |
| w | 20.00 |
| Coefficiente d'attrito | 0.40 |
| α | 0.000010 |

Fig. 20. Parametri meccanici modificati

Si osservi che per quanto riguarda il modulo di elasticità tangenziale G si è mantenuto il rapporto con E corrispondente ai riferimenti normativi; per la resistenza a trazione si considera (1/10) della resistenza a compressione e la resistenza a compressione in direzione trasversale è assunta pari a (1/2) della resistenza a compressione verticale (queste due ultime opzioni non influiscono direttamente nell'analisi ma comunque vengono mostrate per completezza).

Eseguita l'analisi, i risultati relativi alla classificazione sismica del modello 2 vengono riportati nelle immagini seguenti.

| SLV | | | | SLD | | | |
|--|-----|-------|-------|----------|---------------|----------|-----------------|
| | Tr | PGA | IS-V | | Tr | PGA | |
| Domanda | 475 | 0.316 | 0.522 | Domanda | 50 | 0.14 | |
| Capacità | 73 | 0.165 | | Capacità | 73 | 0.165 | |
| <i>Campi da inserire</i> | | | | | | | |
| <i>Inserire il Tr dello SLC e SLO se determinati</i> | | | | | | | |
| <i>Risultati del foglio di calcolo</i> | | | | | | | |
| Tempo di ritorno (capacità) | | | | | | | |
| | SLC | | | | | anni | |
| | SLV | | | 73 | | anni | |
| | SLD | | | 73 | | anni | |
| | SLO | | | 73 | | anni | |
| Stato limite | | | | CR(%) | λ (%) | Tr | |
| Punto di chiusura | | | | 100 | 0.0000 | | |
| Stato limite di ricostruzione | | | | SLR | 100 | 0.671233 | Tr(SLC) |
| Stato limite di collasso | | | | SLC | 80 | 0.671233 | Non determinato |
| Stato limite di salvaguardia della vita | | | | SLV | 50 | 1.369863 | 73 |
| Stato limite di danno | | | | SLD | 15 | 1.369863 | 73 |
| Stato limite di operatività | | | | SLO | 7 | 1.369863 | 73 |
| Stato limite di inizio danno | | | | SLID | 0 | 10 | 10 |

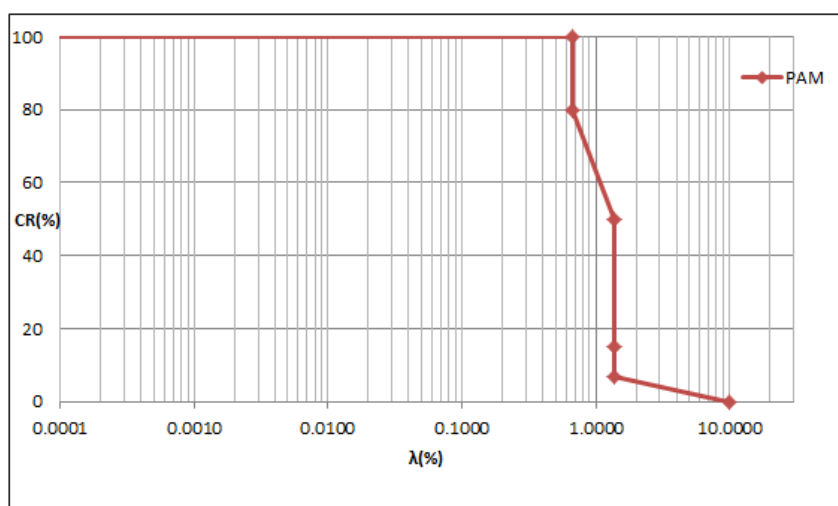


Fig. 21. Diagramma PAM per il modello 2

| | | | |
|--|------------|-----|--------------------------------|
| PAM | 1.43 | | B |
| Classe di rischio PAM: | | | |
| Perdita Media Annua attesa (PAM) | | | Classe PAM |
| | PAM(%) ≤ | 0.5 | A ⁺ _{PAM} |
| 0.5 | < PAM(%) ≤ | 1 | A _{PAM} |
| 1 | < PAM(%) ≤ | 1.5 | B _{PAM} |
| 1.5 | < PAM(%) ≤ | 2.5 | C _{PAM} |
| 2.5 | < PAM(%) ≤ | 3.5 | D _{PAM} |
| 3.5 | < PAM(%) ≤ | 4.5 | E _{PAM} |
| 4.5 | < PAM(%) ≤ | 7.5 | F _{PAM} |
| 7.5 | < PAM(%) | | G _{PAM} |
| Classe di rischio IS-V: | | | |
| Indice di sicurezza IS-V (%) | | | Classe IS-V |
| 100 | < IS-V | | A ⁺ _{IS-V} |
| 80 | < IS-V ≤ | 100 | A _{IS-V} |
| 60 | < IS-V ≤ | 80 | B _{IS-V} |
| 45 | < IS-V ≤ | 60 | C _{IS-V} |
| 30 | < IS-V ≤ | 45 | D _{IS-V} |
| 15 | < IS-V ≤ | 30 | E _{IS-V} |
| | IS-V ≤ | 15 | F _{IS-V} |
| IS-V | 52.22 | | C |
| Classe di Rischio sismico | | | |
| Si individua la Classe di Rischio della costruzione come la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V. | | | |
| PAM | 1.43 | | B |
| IS-V | 52.22 | | C |
| Classe di Rischio sismico | | | C |

Fig. 22. Classificazione sismica del modello 2

Tenendo conto dello stato di degrado della struttura si ottiene quindi una **Classe di Rischio Sismico C**.

4.2.3. MODELLO 3: CINEMATISMI (MECCANISMI DI COLLASSO)

Si procede all'analisi dei meccanismi di collasso che con maggiore probabilità possono interessare la struttura in esame. Si considerano perciò: il ribaltamento semplice, il ribaltamento composto.

Alcuni richiami sintetici sulle procedure di modellazione.

Nel caso dei meccanismi di ribaltamento semplice per l'individualizzazione di un quadro fessurativo o di danneggiamento imputabile a tale meccanismo, PCM rende immediata la definizione dei macroelementi da considerare nel calcolo.

Il primo passo consiste nel definire la geometria dei corpi ribaltanti e quindi nel tracciare uno schema di calcolo quanto più possibile verosimile. Se l'edificio da analizzare non presenta alcun tipo di danneggiamento, si deve accertare la possibilità dell'instaurarsi di un meccanismo di ribaltamento semplice a partire dalle condizioni di vincolo della parete; successivamente è possibile ipotizzare la geometria

coinvolta nel cinematismo prendendo in considerazione ulteriori fattori come la presenza di aperture o la qualità della muratura.

In questi casi è tuttavia opportuno considerare diverse possibilità e valutare i relativi valori del coefficiente di collasso associati. In particolare per pareti che risultano non vincolate ai vari livelli dell'edificio, bisogna considerare la possibilità che il ribaltamento avvenga per diverse posizioni della cerniera cilindrica in corrispondenza dei diversi piani.

I meccanismi di ribaltamento composto si manifestano attraverso la rotazione rigida delle pareti soggette ad azione sismica attorno a cerniere cilindriche orizzontali ed il trascinarsi di porzioni di muratura appartenenti alle pareti di controvento. L'attivazione di cinematismi di questo tipo richiede la presenza di un buon ammorsamento delle pareti ortogonali coinvolte, garantito dai cantonali correttamente eseguiti, con assenza di connessioni efficaci in testa al macroelemento ribaltante, come per il ribaltamento semplice.

La qualità della muratura costituente le pareti ortogonali alla facciata condiziona la definizione delle dimensioni del cuneo di distacco e quindi anche l'entità del coefficiente sismico α associato al cinematismo; α aumenta all'aumentare della porzione di muratura coinvolta nel ribaltamento.

Come per il ribaltamento semplice occorre definire un'attendibile geometria dei macroelementi interessati dal cinematismo e lo schema di calcolo al quale fare riferimento; la presenza del quadro fessurativo, prodotto dai precedenti terremoti e caratterizzato da lesioni diagonali nella parete, facilita l'individualizzazione dei macroelementi.

Quando l'edificio da esaminare è ancora integro, è necessario verificare la possibilità dell'attivazione di un meccanismo di ribaltamento composto di una parte di esso sulla base delle condizioni di vincolo; solo successivamente si può definire la geometria dei corpi coinvolti tenendo conto delle caratteristiche dell'edificio. In particolare, la definizione del cuneo di distacco è fortemente influenzata, oltre che dalla qualità della muratura costituente la parete di controvento, anche dalla presenza di aperture in prossimità del nodo in cui confluiscono le murature ortogonali.

Quanto peggiore è la qualità della muratura tanto minore risulta l'angolo formato dalla diagonale del cuneo trascinato nel ribaltamento con la verticale. Eventuali aperture in prossimità dei muri ortogonali, sono elementi di debolezza che vengono coinvolti nella lesione di distacco. Come nel caso del ribaltamento semplice bisogna considerare la possibilità che nel meccanismo siano compromessi diversi livelli di un edificio, in relazione all'assenza di efficaci vincoli di connessione tra la parete investita dal sisma ed i diversi solai intermedi.

E' tuttavia opportuno, in caso di incertezza, considerare diverse configurazioni dei possibili corpi coinvolti nel meccanismo e valutare, al variare della geometria dei macroelementi, il valore minimo del coefficiente α associato al cinematismo che determina il collasso.

In funzione delle informazioni riguardanti l'edificio, si identificano i meccanismi che possono interessare la struttura.

L'analisi cinematica può essere condotta operando nella scheda cinematismi (Crea modello cinematico); si possono definire i cinematismi direttamente nel modello tridimensionale di PCM, operando in modo personalizzato: attraverso tagli opportuni possiamo ricostruire tutti i meccanismi che interessano la struttura.

La presenza di eventuali "Cunei di distacco" nei cinematismi di ribaltamento, ovvero di porzioni di pareti ortogonali, coinvolte ugualmente nel meccanismo, viene determinata direttamente per via grafica, aggiungendo ai precedenti corpi già selezionati le altre porzioni di corpi partecipanti derivanti dai tagli inclinati delle pareti ortogonali.

Il calcolo rimane sempre interattivo, ed i risultati della verifica cinematica sono disponibili direttamente all'interno dell'ambiente grafico di PCM, dal "Report". Cliccando sul tasto Cinematismi, posto in basso a destra, è possibile osservare un riassunto dei meccanismi analizzati ed andare a determinare quello che ha la maggior probabilità di verificarsi; è quindi semplice determinare il meccanismo di collasso con minore moltiplicatore e tutti i suoi parametri corrispondenti.

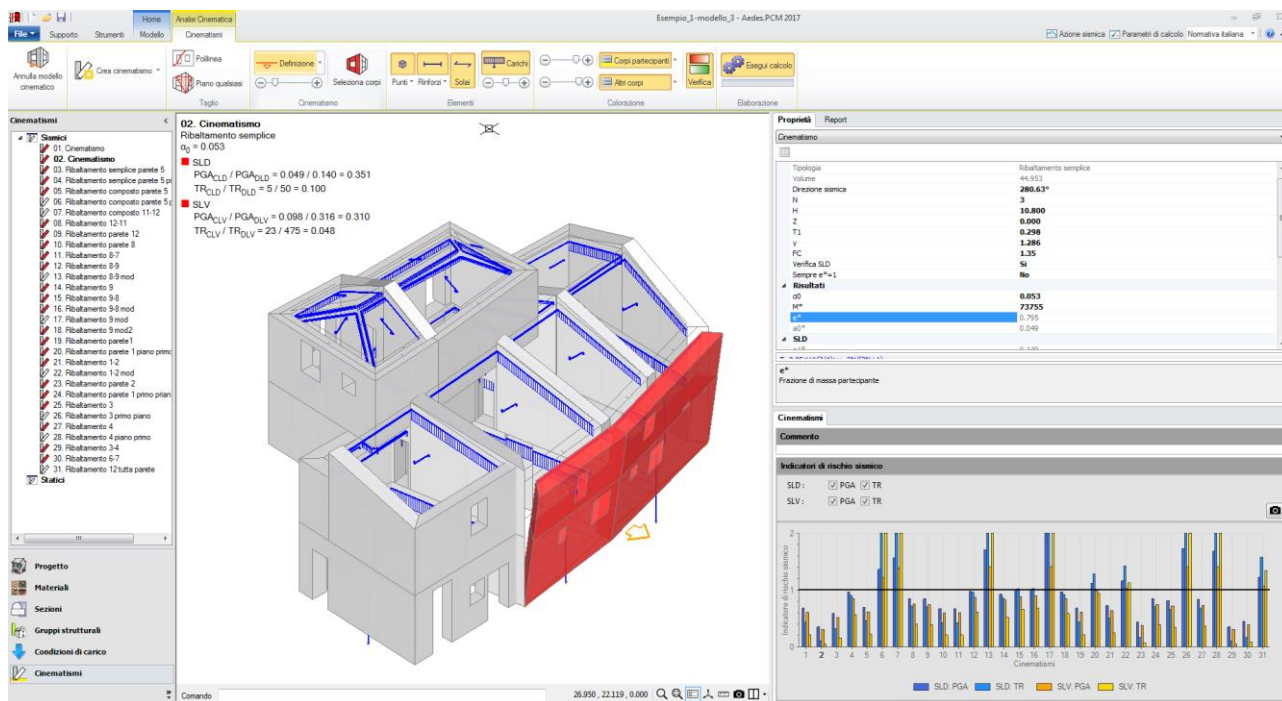


Fig. 23. Meccanismi di collasso

Per il modello 3 dell'edificio 1 non viene considerato il modello strutturale; in tal modo i risultati della classificazione sismica faranno riferimento ai soli meccanismi di collasso.

Per tutti i cinematismi si considera, oltre a SLV, anche la verifica per SLD.

Utilizzando il comando Classificazione della scheda Supporto, si apre il foglio di calcolo contenente i risultati sulla perdita annua media PAM, sull'indicatore di rischio IS-V e sulla classe di rischio; le immagini seguenti illustrano il contenuto del foglio.

Si osservi in particolare il valore di 10 anni per il periodo di ritorno SLD e SLO: questo è dipeso dal fatto che il cinematismo più sfavorevole per SLD presenta una capacità inferiore a 10 anni, e quindi PCM considera il minimo periodo, appunto 10 anni, previsto dal Decreto 65 e identificato come Stato Limite di Inizio Danno.

| SLV | | | | SLD | | |
|--|-----|-------|-------|---------------|----------|-----------------|
| | Tr | PGA | IS-V | | Tr | PGA |
| Domanda | 475 | 0.316 | 0.310 | Domanda | 50 | 0.14 |
| Capacità | 23 | 0.098 | | Capacità | 10 | 0.067 |
| <i>Campi da inserire</i> | | | | | | |
| <i>Inserire il Tr dello SLC e SLO se determinati</i> | | | | | | |
| <i>Risultati del foglio di calcolo</i> | | | | | | |
| Tempo di ritorno (capacità) | | | | | | |
| | SLC | | | | | anni |
| | SLV | 23 | | | | anni |
| | SLD | 10 | | | | anni |
| | SLO | 10 | | | | anni |
| Stato limite | | | CR(%) | λ (%) | Tr | |
| Punto di chiusura | | | 100 | 0.0000 | | |
| Stato limite di ricostruzione | | | SLR | 100 | 2.130435 | Tr(SLC) |
| Stato limite di collasso | | | SLC | 80 | 2.130435 | Non determinato |
| Stato limite di salvaguardia della vita | | | SLV | 50 | 4.347826 | 23 |
| Stato limite di danno | | | SLD | 15 | 10 | 10 |
| Stato limite di operatività | | | SLO | 7 | 10 | 10 |
| Stato limite di inizio danno | | | SLID | 0 | 10 | 10 |

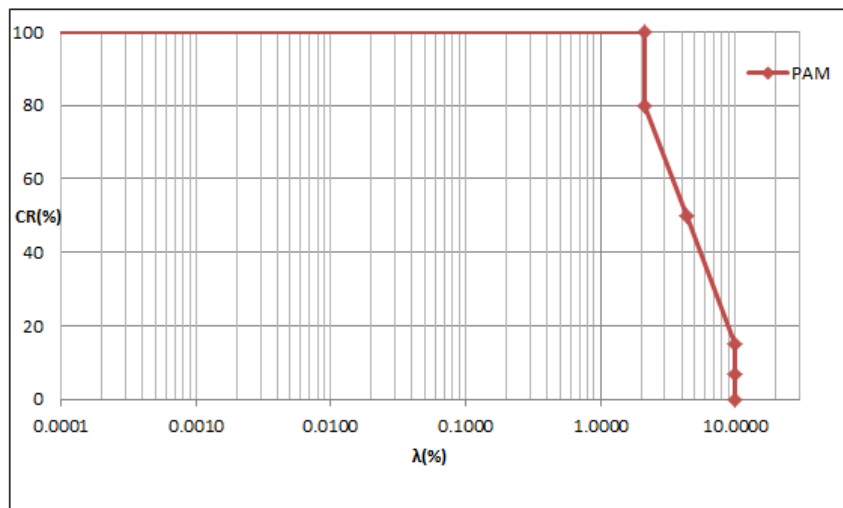


Fig. 24. Diagramma PAM per il modello 3

| | | | |
|---|------------|-------------|--------------------------------|
| PAM | 5.41 | | F |
| Classe di rischio PAM: | | | |
| Perdita Media Annua attesa (PAM) | | Classe PAM | |
| | PAM(%) ≤ | 0.5 | A ⁺ _{PAM} |
| 0.5 | < PAM(%) ≤ | 1 | A _{PAM} |
| 1 | < PAM(%) ≤ | 1.5 | B _{PAM} |
| 1.5 | < PAM(%) ≤ | 2.5 | C _{PAM} |
| 2.5 | < PAM(%) ≤ | 3.5 | D _{PAM} |
| 3.5 | < PAM(%) ≤ | 4.5 | E _{PAM} |
| 4.5 | < PAM(%) ≤ | 7.5 | F _{PAM} |
| 7.5 | < PAM(%) | | G _{PAM} |
| Classe di rischio IS-V: | | | |
| Indice di sicurezza IS-V (%) | | Classe IS-V | |
| 100 | < IS-V | | A ⁺ _{IS-V} |
| 80 | < IS-V ≤ | 100 | A _{IS-V} |
| 60 | < IS-V ≤ | 80 | B _{IS-V} |
| 45 | < IS-V ≤ | 60 | C _{IS-V} |
| 30 | < IS-V ≤ | 45 | D _{IS-V} |
| 15 | < IS-V ≤ | 30 | E _{IS-V} |
| | IS-V ≤ | 15 | F _{IS-V} |
| IS-V | 31.01 | | D |
| Classe di Rischio sismico | | | |
| <i>Si individua la Classe di Rischio della costruzione come la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V.</i> | | | |
| PAM | 5.41 | | F |
| IS-V | 31.01 | | D |
| Classe di Rischio sismico | | | F |

Fig. 25. Classificazione sismica del modello 3

L'analisi dei meccanismi di collasso conduce quindi alla **classe di Rischio Sismico F**.

4.2.4. MODELLO 4: CINEMATISMI CON RESISTENZA A COMPRESSIONE FINITA

In questo modello vengono schematizzati gli stessi cinematismi del modello 3, ma inserendo l'opzione di resistenza a compressione finita della muratura, attraverso l'arretramento della posizione dell'asse della cerniera di 5 cm., valore applicato ai i vari cinematismi considerati.

Il passaggio dalla resistenza a compressione infinita a finita può essere inteso come 'degrado' nel senso di qualità mediocre della muratura. in quanto inserisce nell'analisi una penalizzazione dovuta alla possibile crisi per resistenza nella zona di innesco del meccanismo (in corrispondenza dell'asse di rotazione).

Si osservi che nei cinematismi situazioni di 'degrado', o meglio di cattiva qualità delle strutture, possono essere schematizzate con varie altre modalità, a seconda dei casi (p.es. evitando cunei collaboranti nei ribaltamenti con cattivi ammorsamenti fra pareti ortogonali, oppure considerando azioni instabilizzanti da archi e volte non adeguatamente forniti di catene, ecc.).

Alcuni richiami sui cinematismi con asse di rotazione arretrato.

L'asse di rotazione costituisce una cerniera continua attorno cui i corpi partecipanti ruotano. La posizione della cerniera è spesso coincidente con lo spigolo esterno della sezione di base della parete, ciò corrisponde all'ipotesi che la muratura possieda infinita resistenza a compressione; qualora invece si voglia considerare nel calcolo una resistenza a compressione "finita", e coincidente con un determinato valore, è necessario provvedere ad un arretramento della cerniera.

PCM permette di inserire tale modifica, cliccando semplicemente sull'asse di rotazione (freccia che indica su quale lato ribalta) ed andando a inserire, nelle proprietà sulla destra, il valore dell'arretramento espresso in m (fig. 26).



Fig. 26. Arretramento dell'asse

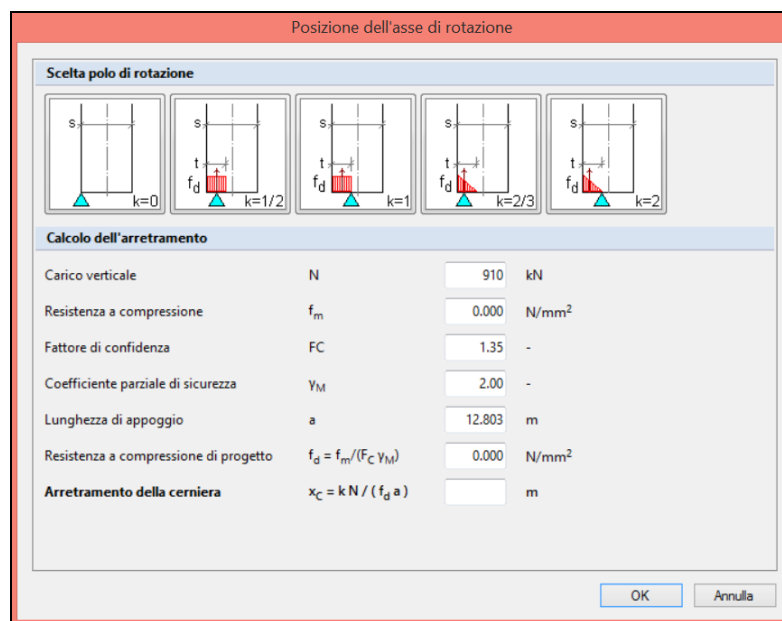


Fig. 27. Arretramento calcolato in funzione della resistenza della muratura effettiva

Per i meccanismi che lo prevedono, è possibile arretrare entrambe le cerniere; per i ribaltamenti, è sufficiente agire sulla sola proprietà "Prima cerniera": è possibile inserire in input un valore specifico dell'Utente, oppure facendo clic sul pulsante con i "tre puntini", si aprirà un'apposita finestra di dialogo in cui poter scegliere fra cinque possibili configurazioni di arretramento della cerniera, rispetto allo spessore ed all'estensione in lunghezza della parete (fig. 27). Adottando tale opzione, per ogni cinematismo l'arretramento dipende dal carico applicato e quindi avrà valori diversi fra un cinematismo ed un altro (nell'esempio proposto, per semplicità, si è adottato direttamente l'arretramento di 5 cm. per tutti i cinematismi).

Avendo dunque applicato al modello in esame un arretramento di 5 cm, per la classificazione sismica si ottengono i risultati riportati nelle immagini seguenti.

| SLV | | | SLD | | | |
|--|-----|-------|-------|---------------|-----|-----------------|
| | Tr | PGA | IS-V | | Tr | PGA |
| Domanda | 475 | 0.316 | 0.212 | Domanda | 50 | 0.14 |
| Capacità | 10 | 0.067 | | Capacità | 10 | 0.067 |
| <i>Campi da inserire</i> | | | | | | |
| <i>Inserire il Tr dello SLC e SLO se determinati</i> | | | | | | |
| <i>Risultati del foglio di calcolo</i> | | | | | | |
| Tempo di ritorno (capacità) | | | | | | |
| | SLC | | | | | anni |
| | SLV | | | 10 | | anni |
| | SLD | | | 10 | | anni |
| | SLO | | | 10 | | anni |
| Stato limite | | | CR(%) | λ (%) | Tr | |
| Punto di chiusura | | | 100 | 0.0000 | | |
| Stato limite di ricostruzione | | | SLR | 100 | 4.9 | Tr(SLC) |
| Stato limite di collasso | | | SLC | 80 | 4.9 | Non determinato |
| Stato limite di salvaguardia della vita | | | SLV | 50 | 10 | 10 |
| Stato limite di danno | | | SLD | 15 | 10 | 10 |
| Stato limite di operatività | | | SLO | 7 | 10 | 10 |
| Stato limite di inizio danno | | | SLID | 0 | 10 | 10 |

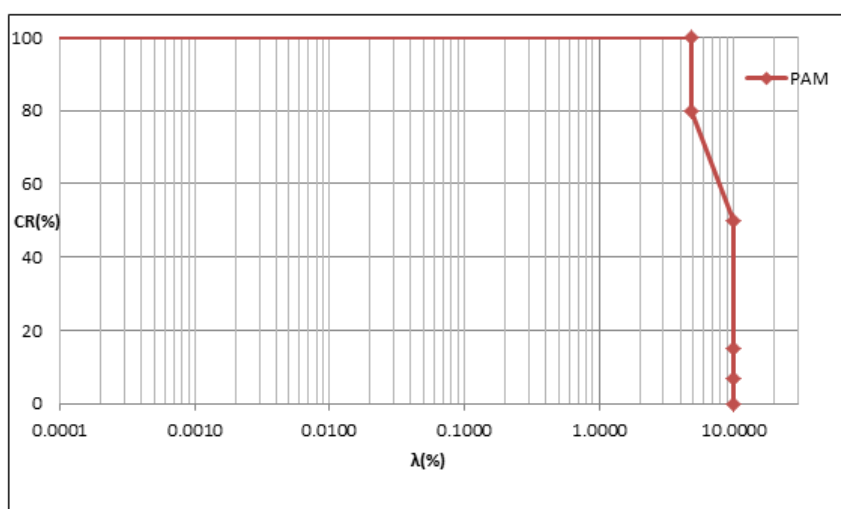


Fig. 28. Diagramma PAM per il modello 4

| | | | |
|---|--------------|-------------|--------------------------------|
| PAM | 8.22 | | G |
| Classe di rischio PAM: | | | |
| Perdita Media Annuata attesa (PAM) | | Classe PAM | |
| | PAM(%) ≤ | 0.5 | A ⁺ _{PAM} |
| 0.5 | < PAM(%) ≤ | 1 | A _{PAM} |
| 1 | < PAM(%) ≤ | 1.5 | B _{PAM} |
| 1.5 | < PAM(%) ≤ | 2.5 | C _{PAM} |
| 2.5 | < PAM(%) ≤ | 3.5 | D _{PAM} |
| 3.5 | < PAM(%) ≤ | 4.5 | E _{PAM} |
| 4.5 | < PAM(%) ≤ | 7.5 | F _{PAM} |
| 7.5 | < PAM(%) | | G _{PAM} |
| Classe di rischio IS-V: | | | |
| Indice di sicurezza IS-V (%) | | Classe IS-V | |
| 100 | < IS-V | | A ⁺ _{IS-V} |
| 80 | < IS-V ≤ | 100 | A _{IS-V} |
| 60 | < IS-V ≤ | 80 | B _{IS-V} |
| 45 | < IS-V ≤ | 60 | C _{IS-V} |
| 30 | < IS-V ≤ | 45 | D _{IS-V} |
| 15 | < IS-V ≤ | 30 | E _{IS-V} |
| | IS-V ≤ | 15 | F _{IS-V} |
| IS-V | 21.20 | | E |
| Classe di Rischio sismico | | | |
| <i>Si individua la Classe di Rischio della costruzione come la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V.</i> | | | |
| PAM | 8.22 | | G |
| IS-V | 21.20 | | E |
| Classe di Rischio sismico | | | G |

Fig. 29. Classificazione sismica del modello 4

Nel caso di edificio che tiene conto dello stato di degrado della struttura si ottiene una **classe di Rischio Sismico G**.

4.2.5. CONCLUSIONI

Nella tabella 4 si riassumono infine i risultati dei vari modelli esaminati. In sintesi, si ricavano le seguenti considerazioni.

- Nel metodo Convenzionale l'analisi globale dell'edificio senza considerare i fattori di degrado può comportare una sovrastima della Classe di Rischio sismico rispetto al metodo Semplificato.
- I meccanismi di collasso non contrastati, come quelli esaminati per lo Stato Attuale dell'edificio di esempio, abbassano la capacità della struttura in modo significativo, e possono condurre a risultati anche peggiori rispetto al metodo Semplificato. E' assolutamente indispensabile considerare il contributo dei meccanismi di collasso alla capacità della struttura, valutandone gli effetti sia allo stato attuale sia ad uno stato consolidato dove siano stati previsti adeguati presidi nei confronti dei cinematicismi (catene,

collegamenti strutturali).

Sia allo Stato Attuale sia allo Stato di Progetto, il metodo Convenzionale va applicato ponendosi l'obiettivo di descrivere il comportamento della struttura nel modo più realistico possibile; solo sotto tale condizione si otterranno valori attendibili, generalmente più 'precisi' rispetto al metodo Semplificato. Nell'ambito del consolidamento, il metodo Convenzionale applicato con le attenzioni illustrate consentirà la migliore stima possibile per la classificazione sismica dell'edificio allo Stato di Progetto.

| | Modello | Classificazione sismica |
|-----------------------------|--|--------------------------------|
| <i>Metodo Convenzionale</i> | 1) <i>Modello globale senza degrado</i> | B |
| | 2) <i>Modello globale con degrado</i> | C |
| | 3) <i>Modello cinematico senza degrado</i> | F |
| | 4) <i>Modello cinematico con degrado</i> | G |
| | <i>Metodo Semplificato</i> | F* |

Tab. 5. Riepilogo dei risultati per i modelli dell'esempio

5. UNA PROCEDURA ALTERNATIVA PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA

E' interessante conoscere anche una procedura alternativa per la classificazione sismica, proposta nella pubblicazione: "*La classificazione sismica: un protocollo metodologico già operativo applicabile agli edifici esistenti in muratura*", autori: Borri, De Maria (per consultare il contenuto completo dell'articolo: vd. riferimento in Bibliografia).

Il metodo proposto viene identificato con la sigla C/Q (Certificazione / Qualificazione sismica).

Viene conferita ad un edificio la certificazione sismica quando questo possiede i livelli di sicurezza previsti dalle NTC 2008 per lo SLV; tali livelli devono essere valutati attraverso verifiche globale e locali svolte secondo le procedure delle NTC 2008.

La qualificazione sismica, a differenza della certificazione, è una procedura di classificazione convenzionale semplificata, che consente di attribuire una determinata classe all'edificio.

La procedura di qualificazione sismica si compone di due fasi:

- un'analisi dei principali elementi vulnerabili dell'edificio in esame;
- una serie di verifiche numeriche semplificate per l'edificio in esame.

La valutazione della vulnerabilità dell'unità strutturale prevede la ricognizione speditiva dei principali elementi che possono determinare la risposta sismica di un edificio, e individua le condizioni di vulnerabilità secondo la scala seguente:

- Vulnerabilità bassa;
- Vulnerabilità media;
- Vulnerabilità alta;
- Vulnerabilità altissima.

Le verifiche numeriche, i cui risultati saranno riferiti al livello di sicurezza previsto dalle NTC 2008 allo SLV per quel dato sito, analizzano i seguenti tre casi:

- 1) Verifica semplificata per i carichi verticali sulle murature;
- 2) Verifica globale dell'edificio (valutazione quantitativa convenzionale dell'accelerazione di collasso, nell'ipotesi che questo si verifichi per rottura delle pareti nel proprio piano, nell'ambito di un comportamento complessivo del manufatto);
- 3) Verifica locale fuori piano (analisi cinematica lineare).

I risultati di tali verifiche saranno espressi in termini di fattore di sicurezza convenzionale come percentuale in riferimento allo SLV.

Una volta svolte le operazioni di valutazione della vulnerabilità e di verifica semplificata dell'edificio, il tecnico rilevatore avrà a disposizione due esiti: uno riguardante le schede di vulnerabilità e l'altro riguardante le verifiche numeriche.

Combinando i due esiti, mediante la tabella riportata in fig. 30, si perviene alla classe di qualificazione sismica per l'edificio.

| Certificazione antisismica | | | | | |
|---|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| Valutazione sicurezza NTC 08 (SLV) con esito positivo | | | | | Classe A+ |
| Qualificazione sismica | | | | | |
| Giudizio di vulnerabilità | Esito verifiche numeriche | | | | |
| | >80% | 80-60% | 60-40% | 40-20% | <20% |
| Vulnerabilità bassa | A | B1 | B2 | C1 | D1 |
| Vulnerabilità media | B1 | B2 | C1 | C2 | D2 |
| Vulnerabilità alta | B2 | C1 | C2 | D1 | D3 |
| Vulnerabilità altissima | C1 | C2 | D1 | D2 | E |

Fig. 30. Classi di qualificazione sismica

Tale metodo unisce le verifiche numeriche, anche se semplificate, con il giudizio di vulnerabilità basato sull'osservazione della specifica situazione incontrata, e tende quindi a superare la difficoltà di rappresentazione degli aspetti 'qualitativi' dell'edificio negli schemi a elementi finiti utilizzati per le analisi numeriche.

BIBLIOGRAFIA

Documentazione tecnica

A. Borri, A. De Maria: *"Indice di qualità muraria. Applicazioni nell'ambito delle NTC 2008"*, in:
<http://www2.ing.unipi.it/~a005843/Consolidamento%202016-17/bibliografia/Borri%20-%20Indice%20di%20qualit%E0%20muraria.pdf>

A. Borri, A. De Maria: *"La classificazione sismica: un protocollo metodologico già operativo applicabile agli edifici esistenti in muratura"*, in:
http://www.ingenio-web.it/Articolo/4434/La_classificazione_sismica:_un_protocollo_metodologico_gia_operativo_applicabile_agli_edifici_esistenti_in_muratura.html

C. Donà, A. De Maria: *"Manuale delle murature storiche"*, vol. 1, DEI, 2011

Riferimenti normativi

(reperibili nella documentazione a corredo dei software Aedes; menu Supporto, Normativa)

Decreto M.I.T. n.65 del 7.3.2017.

Allegato A: *"Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni"*

D.M. 14.1.2008, *"Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"*

Circ. 2 febbraio 2009, n°617, *"Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 14.1.2008"*

Regione Marche: *"Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi degli edifici in muratura"*, 1997

Contenuti Aedes

[Playlist sul canale AedesSoftware di YouTube](#)