

ANALISI di PARETI in MURATURA secondo D.M. 14.1.2008

Normativa di riferimento

[1] D.M. 14.1.2008: "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"

[2] Circolare 2.2.2009, n.617: "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.1.2008"

[3] Regione Toscana, Comitato Tecnico Scientifico in materia di rischio sismico (Delibera Giunta Regionale n.606 del 21/6/2010): "Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione in edifici esistenti".

Applicazione del D.M. 14.1.2008

Secondo il D.M. 14.1.2008, l'intervento locale su una parete di un edificio esistente in muratura che preveda aperture nuove o modificate con eventuali inserimento di telai metallici o in cemento armato e/o consolidamento della muratura, deve essere soggetto a verifica sismica.

Gli interventi sugli edifici esistenti sono classificati in 3 tipologie (§8.4):

- Intervento di Adeguamento (§8.4.1)
- Intervento di Miglioramento (§8.4.2)
- Riparazione o Intervento locale (§8.4.3).

L'intervento sulla parete può rientrare nell'ambito della '**Riparazione o Intervento locale**' alle condizioni previste dal punto §C8.4.3:

Riparazione o intervento locale, Circolare 2.2.2009 n.617:

"Rientrano in questa tipologia tutti gli interventi di riparazione, rafforzamento o sostituzione di singoli elementi strutturali (travi, architravi, porzioni di solaio, pilastri, pannelli murari) o parti di

essi, non adeguati alla funzione strutturale che debbono svolgere, a condizione che l'intervento non cambi significativamente il comportamento globale della struttura, soprattutto ai fini della resistenza

alle azioni sismiche, a causa di una variazione non trascurabile di rigidezza o di peso.

(...) interventi di variazione della configurazione di un elemento strutturale, attraverso la sua sostituzione o un rafforzamento localizzato (ad esempio l'**apertura di un vano in una parete muraria,**

accompagnata da opportuni rinforzi) possono rientrare in questa categoria solo a condizione che si dimostri che la **rigidezza**

dell'elemento variato **non cambi significativamente** e che la **resistenza** e la

capacità di deformazione, anche in campo plastico, non peggiorino ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali."

Per verificare che rigidezza, resistenza e capacità di spostamento non peggiorino occorre analizzare la parete allo Stato Attuale e allo Stato di Progetto, e confrontare i corrispondenti parametri.

Per la rigidezza occorre fissare un limite di riferimento per la sua variazione (interpretando correttamente il testo, può trattarsi sia di una diminuzione sia di un aumento): in [3] si indica un valore di riferimento pari a $\pm 15\%$. Se la variazione di rigidezza supera il 15%, l'intervento non può essere classificato come *Riparazione o intervento locale*, ed entra nell'ambito degli *Interventi di Miglioramento*.

La qualifica di '**Intervento di Miglioramento**' si applica nei seguenti casi:

- quando l'intervento comporta una variazione di rigidezza eccessiva (superiore al 15%);
- quando l'intervento costituisce un 'peggioramento' per forza ultima e/o capacità di spostamento: non si riesce in alcun modo a 'migliorare' il comportamento locale, e quindi la parete non può essere vista come oggetto di intervento locale ma solo come parte di una riorganizzazione complessiva della struttura che necessariamente richiede un'analisi globale dell'edificio.

Se l'intervento rientra nell'ambito della '*Riparazione o intervento locale*', la verifica di confronto Stato Attuale / Stato di Progetto su Rigidezza, Resistenza e Capacità di spostamento è esaustiva.

Se invece si tratta di un '*Intervento di Miglioramento*', all'analisi della parete dovrà essere affiancata una verifica della struttura nel suo insieme:

§8.4.2: *Intervento di Miglioramento*, D.M.14.1.2008:

"(...) Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme."

Con riferimento all'orizzontamento sovrastante la parete, possono distinguersi i casi di impalcato rigido o di impalcato deformabile (quest'ultimo frequentemente presente negli edifici esistenti: ad es. solai in legno, o in putrelle, o senza soletta di calcestruzzo adeguatamente armata).

Nel caso di **impalcato rigido** si rende sempre necessaria un'analisi globale, che potrà essere condotta con i metodi previsti dalla Norma (analisi lineare o non lineare); nello schema statico complessivo della struttura, la parete oggetto di intervento potrà essere rappresentata con una parete 'equivalente' dal punto di vista di rigidezza, forza ultima e duttilità (cfr. paragrafo di questo documento, dedicato ai criteri di equivalenza).

Nel caso di **impalcato deformabile** sovrastante la parete, si può considerare che la variazione locale di rigidezza abbia un effetto limitato sul comportamento strutturale globale: la ripartizione delle azioni sismiche infatti avviene non in base alle rigidzze ma alle masse locali. Nel caso di impalcato deformabile, pertanto, la verifica 'globale' può intendersi soddisfatta con la sola analisi della parete, senza studiare lo schema globale, ma prendendo in considerazione anche la verifica in base all'accelerazione al suolo PGA sostenibile allo stato limite ultimo. Ciò rispetta infatti quanto previsto dal D.M. 14.1.2008 in §8.7.5 (è richiesta la determinazione del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo SLU).

§8: *Costruzioni esistenti* - §8.7: *Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche* - §8.7.5: *Progetto dell'intervento*

"Per tutte le tipologie costruttive, il progetto dell'intervento di adeguamento o miglioramento sismico deve comprendere:

- **verifica della struttura prima dell'intervento con identificazione delle carenze e del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo SLU** (e SLE se richiesto); [N.B.: da §4.5.6.3: Non è generalmente necessario eseguire verifiche nei confronti di stati limite di esercizio di strutture in muratura, quando siano soddisfatte le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (...)].
- scelta motivata del tipo di intervento;

- scelta delle tecniche e/o dei materiali;
- dimensionamento preliminare dei rinforzi e degli eventuali elementi strutturali aggiuntivi;
- **analisi strutturale considerando le caratteristiche della struttura post-intervento;**
- **verifica della struttura post-intervento con determinazione del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo SLU (e SLE se richiesto).**

Altri contenuti normativi relativi agli interventi locali sulle pareti sono i seguenti:

§C8A.5.5: *Interventi che modificano la distribuzione degli elementi verticali resistenti*, Circ. 2.2.2009, n.617

(...) La realizzazione di **nuove aperture**, se non strettamente necessaria, va preferibilmente evitata; nel caso in cui la conseguente riduzione di rigidità risulti problematica per la risposta globale, sarà disposto un **telaio chiuso**, di rigidità e resistenza tali da ripristinare per quanto possibile la condizione preesistente.

Un incremento della rigidità delle pareti murarie, con conseguente modifica del comportamento sismico, si ottiene attraverso la chiusura di nicchie, canne fumarie o altri vuoti, purché venga realizzato un efficace collegamento dei nuovi elementi di muratura con quelli esistenti attraverso la tecnica dello scuci e cuci. La chiusura di queste soluzioni di continuità nella compagine muraria rappresenta anche un intervento positivo nei riguardi dei collegamenti.

§C8A.5.8: *Interventi volti a rinforzare le pareti intorno alle aperture*

Negli interventi di inserimento di architravi o cornici in acciaio o calcestruzzo di adeguata rigidità e resistenza, occorre curare il perfetto contatto o la messa in forza con la muratura esistente.

Comportamento strutturale delle pareti in muratura

I **diagrammi di comportamento** dei singoli elementi murari sono assunti **elastoplastici** (bilineari), con forza ultima determinata dalla minima forza resistente fra PressoFlessione e Taglio; lo spostamento ultimo viene generalmente assunto pari a 0.4%H in caso di crisi per taglio (per fessurazione diagonale o per scorrimento) ($F_u = F_{u, \text{Taglio}}$) e 0.6 %H in caso di crisi per PressoFlessione ($F_u = F_{u, \text{PressoFlessione}}$) (in AC.M i valori dei drift di piano dei singoli maschi murari possono essere comunque modificati dall'Utente in relazione alla natura della parete e ad eventuali particolari interventi di consolidamento; H viene assunta pari alla luce deformabile del maschio (che in AC.M coincide con l'altezza di calcolo della parete esaminata). L'altezza di calcolo del maschio può essere inferiore all'altezza complessiva a causa delle zone rigide di intersezione fra maschi e fasce di piano, seguendo in tal modo le indicazioni sulla modellazione 'a telaio' riportate in **§7.8.1.5.2**:

"(...) In presenza di elementi di accoppiamento l'analisi può essere effettuata utilizzando modelli a telaio, in cui le parti di intersezione tra elementi verticali e orizzontali possono essere considerate infinitamente rigide(...)"

Se in uno Stato Attuale si considera una parete piena ed in uno Stato di Progetto si pratica un'apertura con irrigidimento del traverso sovrastante l'architrave, è possibile che i modelli corrispondenti presentino una parete con altezza di calcolo pari all'altezza di interpiano nello Stato Attuale, e maschi adiacenti all'apertura con altezza di calcolo pari all'altezza dell'apertura nello Stato di Progetto.

Le caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale murario costituente la parete vengono descritte in §C8A.2, dove la Tab.C8A.2.1 fornisce valori di riferimento per parametri meccanici (resistenze e moduli di elasticità) e peso specifico; i parametri possono essere modificati dall'applicazione dei coefficienti correttivi proposti in Tab.C8A.2.2 (N.B.: ex Tab.11.D.2 di OPCM 3431/2005: da quest'ultima Norma vengono desunti i coefficienti correttivi per le murature presenti in Tab.C8A.2.1 ma non riportate in Tab.C8A.2.2).

Seguendo un'indicazione riportata in §C8A.2, AC.M consente opzionalmente di ridurre i moduli di elasticità E e G, considerando rigidità fessurate pari al 50% rispetto ai valori non fessurati (in tal caso, in pratica, E e G vengono ridotti della metà).

CALCOLO DELLA FORZA ULTIMA PER PRESSOFLESSIONE NEL PIANO

(D.M. 14.1.2008, § 7.8.2.2.1- § C8.7.1.5)

Per i **maschi murari**, la verifica a pressoflessione di una sezione di un elemento strutturale si effettua confrontando il momento agente di calcolo con il momento ultimo resistente calcolato assumendo la muratura non reagente a trazione ed una opportuna distribuzione non lineare delle compressioni. Nel caso di una sezione rettangolare tale momento ultimo può essere calcolato come:

$M_u = (I^2 t \sigma_o / 2) (1 - \sigma_o / 0.85 f_d)$, dove:

M_u = momento corrispondente al collasso per pressoflessione; se F è la forza orizzontale agente in sommità alla parete, alla base il momento è pari $Fh/2$ nello schema a doppio incastro (con incastro scorrevole in sommità); a Fh nello schema a mensola ed in altri schemi statici diversi dal doppio incastro (a favore di sicurezza);

I = larghezza complessiva della parete (inclusiva della zona tesa);

t = spessore della zona compressa della parete;

σ_o = tensione normale media, riferita all'area totale della sezione ($= P / It$, con P forza assiale agente positiva se di compressione).

Se P è di trazione, $M_u = 0$;

$f_d = f_k / \gamma_m$ è la resistenza a compressione di calcolo della muratura.

In Analisi Non Lineare la resistenza di calcolo è data da: $f_d = f_m$, dove f_m è il valore medio della resistenza a compressione della muratura (se f_m non è nota, si pone: $f_m = f_k / 0.7$); inoltre, non si applica il coefficiente γ_m .

La formulazione riportata in **§7.8.2.2.1** fa diretto riferimento a muratura nuova.

Per la muratura esistente, il parametro descrittivo del materiale è la resistenza a compressione media f_m , definita in base alla tipologia della muratura e ad opportuni fattori correttivi riguardanti le caratteristiche dell'organizzazione strutturale e degli eventuali interventi (**Tab.**

C8A.2.1). f_m sostituisce f_k nella formulazione di f_d ; inoltre, γ_m deve essere moltiplicato per il Fattore di Confidenza F_C (**§C8.7.1.5**): $F_C = 1.35, 1.20, 1.00$ rispettivamente per i livelli di conoscenza LC1, LC2, LC3 (si osservi che dal livello di conoscenza dipende anche il valore adottato per f_m).

In Analisi Non Lineare, non si applica γ_m , e la resistenza di calcolo è data da: $f_d = f_m / F_C$.

Poiché in AC.M viene eseguita un'Analisi Non Lineare, consistente nella determinazione del diagramma Forza-Spostamento del sistema (costruito considerando i contributi dei singoli elementi, maschi e telai cerchianti), si ha che $f_d = f_m / F_C$.

In AC.M, F_C si applica alla resistenza media a compressione f_m definita nei dati sui Materiali.

CALCOLO DELLA FORZA ULTIMA PER TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE

(§ C8.7.1.5)

La resistenza a taglio per fessurazione diagonale viene valutata per mezzo di una formulazione esprimibile nel modo seguente:

$V_t = l \cdot t \cdot f_{vd}$, dove:

$$f_{vd} = \tau_{od} \cdot \sqrt{[1 + \sigma_o / (b \cdot \tau_{od})]} = (f_{td} / b) \cdot \sqrt{[1 + \sigma_o / f_{td}]}$$

essendo:

σ_o = tensione normale media, riferita all'area totale della sezione ($= P / l_t$, con P forza assiale agente positiva se di compressione);

f_{td} = valore di calcolo della resistenza a trazione per fessurazione diagonale

τ_{od} = valore di calcolo della resistenza a taglio di riferimento (=resistenza a taglio puro, cioè in assenza di sforzo normale) per fessurazione diagonale

b = coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere $b=h/l$, comunque non superiore a 1.5 e non inferiore a 1, dove h è l'altezza della parete.

Si ha: $f_t = b \cdot \tau_o$. Si osservi che in AC.M le relazioni fornite nella Circolare al D.M. 14.1.2008 in §C8.7.1.5 sono precisate secondo quanto riportato nei riferimenti bibliografici sulla formulazione della resistenza a taglio per fessurazione diagonale (N.Augenti, "Il calcolo sismico degli edifici in muratura", UTET, giugno 2000, pagg. 280-281).

Secondo §C8.7.1.5 i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza F_C (Analisi Lineare e Non Lineare) e per il coefficiente parziale di sicurezza sui materiali γ_M (solo Analisi Lineare). Il Fattore di Confidenza F_C è pari a 1.35, 1.20, 1.00 rispettivamente per i livelli di conoscenza LC1, LC2, LC3 (si osservi che dal livello di conoscenza dipende anche il valore adottato per τ_o). I valori medi delle resistenze sono definiti in base alla tipologia della muratura e ad opportuni fattori correttivi riguardanti le caratteristiche dell'organizzazione strutturale e degli eventuali interventi (Tab. C8A.2.1).

In AC.M, F_C si applica alla resistenza media a taglio τ_o definita nei dati sui Materiali.

Nel caso di presenza di precompressione, la formulazione della resistenza a taglio si modifica nel seguente modo

(σ_o precompressione orizzontale, σ_v precompressione verticale):

$$f_{vd} = \tau_o \cdot \sqrt{[1 + (\sigma_o + \sigma_p_o + \sigma_p_v) / (b \cdot \tau_o) + (\sigma_o + \sigma_p_v) \cdot \sigma_p_o / (b \cdot \tau_o)^2]}$$

CALCOLO DELLA FORZA ULTIMA PER TAGLIO PER SCORRIMENTO

(D.M.14.1.2008, §7.8.2.2.2)

La resistenza a taglio per scorrimento viene definita per i nuovi edifici in §7.8.2.2.2; è inoltre considerata per l'analisi degli edifici esistenti (in §C8.7.1.5) qualora per il materiale considerato sia possibile questa modalità di collasso (ad es. per murature di mattoni pieni con letti regolari di malta).

La resistenza a taglio per scorrimento viene valutata per mezzo della relazione seguente:

$V_t = l' \cdot t \cdot f_{vd}$, dove:

l' = lunghezza della parte compressa della parete;

t = spessore della parete;

$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M$ è definito in §4.5.6.1: $f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_n$, calcolando la tensione normale media sulla parte compressa della sezione: $\sigma_n = P / (l' \cdot t)$.

In Analisi Non Lineare, la resistenza di calcolo è data da: $f_{vd} = f_{vmo} + 0.4 \cdot \sigma_n$, dove f_{vmo} è la resistenza media a taglio della muratura ($f_{vmo} = \tau_o$).

Al valore medio della resistenza a taglio deve inoltre essere applicato il coefficiente parziale di sicurezza dei materiali γ_M (solo per l'Analisi Lineare), ed il fattore di confidenza F_C (sia in Lineare, che in Non Lineare) (§C8.7.1.5).

Il Fattore di Confidenza F_C è definito in §C.8.7.1.5, Tab.C8A.1: $F_C = 1.35, 1.20, 1.00$ rispettivamente per i livelli di conoscenza LC1, LC2, LC3 (si osservi che dal livello di conoscenza dipende anche il valore adottato per τ_o).

I coefficienti γ_M e F_C vengono applicati all'espressione completa della resistenza, cioè sia al termine di taglio puro sia a quello dovuto alla tensione normale. Infatti 0.4 è il coefficiente di attrito del materiale murario: è quindi un parametro caratteristico del materiale, e pertanto anche ad esso vanno applicati i coefficienti di sicurezza γ_M e F_C .

Per quanto riguarda l' , lunghezza della parte compressa della parete, questa viene determinata ipotizzando una distribuzione di tensioni lineare (triangolare, in caso di sezione parzializzata). Con tale ipotesi, la lunghezza di zona reagente per sezione parzializzata è data da: $l' = 3 \cdot (l/2 - e) = 3 \cdot (l/2 - M/N)$.

Il taglio resistente è quindi: $V_{Rd} = l' \cdot t \cdot (\tau_{od} + 0.4 \cdot N/l') / F_C = (l' \cdot t \cdot \tau_{od} + 0.4 \cdot N) / F_C = [3 \cdot (l/2 - M/N) \cdot t \cdot \tau_{od} + 0.4 \cdot N] / F_C$

Ora: il momento è legato al taglio secondo lo schema statico adottato. Più precisamente: $M = V_{Rd} \cdot H/2$ nell'ipotesi di doppio incastro, e $M = V_{Rd} \cdot H$ nel caso di comportamento a mensola (in sintesi: $M = V_{Rd} \cdot H/\alpha$). Si ha dunque:

$$V_{Rd} = [3 \cdot (l/2 - (V_{Rd} \cdot H/\alpha)/N) \cdot t \cdot \tau_{od} + 0.4 \cdot N] / F_C$$

Con alcuni semplici passaggi, si ottiene l'espressione del taglio resistente per scorrimento:

$$V_{Rd} = \alpha \cdot (1.5 \cdot l \cdot t \cdot \tau_{od} + 0.4 \cdot N) / (\alpha \cdot F_C/H + 3 \cdot t \cdot \tau_{od}/N) / H$$

Modalità di esecuzione dell'analisi, e calcolo dell'accelerazione al suolo sostenibile

Il comportamento della parete muraria, composta da uno o più maschi murari con eventuali telai di rafforzamento nelle aperture, viene adeguatamente studiato tramite analisi statica non lineare, considerando i diagrammi di comportamento dei singoli elementi costitutivi della parete.

COMPORTAMENTO STRUTTURALE DEL SINGOLO MASCHIO MURARIO

Consideriamo il singolo maschio sottoposto all'azione di una forza orizzontale (fig. 1).

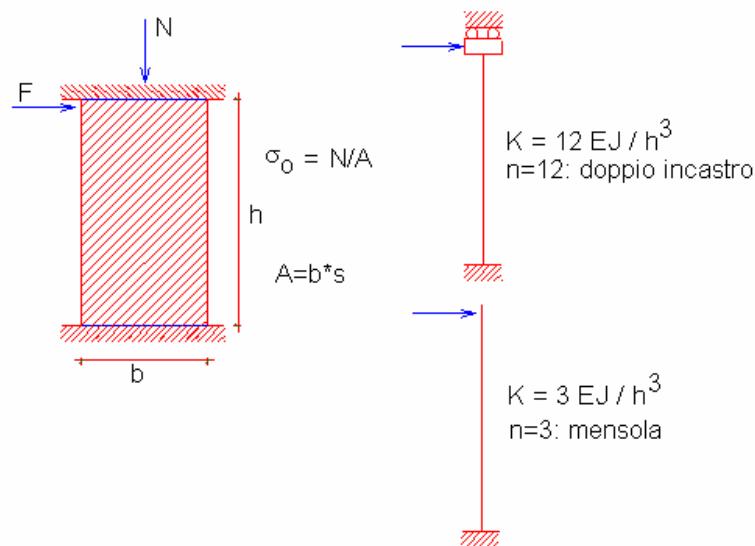


Fig. 1.

Lo spostamento in sommità, componendo la deformazione flessionale e tagliente, è dato dalla

$$(1) \quad \delta = \delta_M + \delta_T = F h^3 / (n EJ) + \chi F h / (GA), \quad \chi = 1.2, \quad 3 \leq n \leq 12$$

Ponendo lo spostamento uguale a 1, si ottiene il valore della rigidezza alla traslazione:

$$(2) \quad K = 1 / [h^3 / (n EJ) + 1.2 h / (GA)]$$

dove $n=3$ per il caso della mensola, e $n=12$ per la parete doppiamente incastrata.

La rigidezza elastica alla traslazione è uno dei tre parametri necessari per la definizione del comportamento strutturale del maschio murario. Infatti, assumendo una legge costitutiva elasto-plastica (rappresentata dal diagramma Forza-Spostamento (fig. 2), occorrono i seguenti tre parametri:

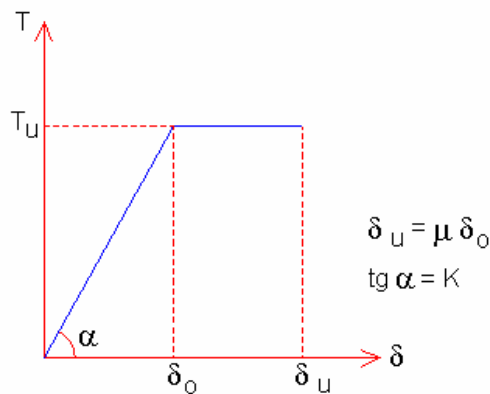


Fig. 2.

- la rigidezza elastica K , espressa dalla (2), che fornisce la pendenza del tratto inclinato del diagramma (campo elastico);
- la forza ultima T_u , che rappresenta il valore minimo fra la resistenza a taglio (valutata come minima fra i due meccanismi di fessurazione diagonale e di scorrimento) e la resistenza a pressoflessione del maschio;
- la duttilità μ , pari al rapporto tra spostamento ultimo δ_u e spostamento al limite elastico δ_0 (δ_0 si indica anche con δ_y). Secondo il D.M. 14.1.2008, la deformazione ultima è espressa come drift di piano (percentuale dell'altezza deformabile del maschio).

COSTRUZIONE DELLA CURVA DI CAPACITA' (ANALISI STATICA NON LINEARE): COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLA PARETE COMPOSTA DA PIU' MASCHI MURARI

Il comportamento strutturale della parete, costituita da più maschi in parallelo, viene definito a partire da quello dei singoli maschi. Sotto l'azione di una forza orizzontale agente globalmente, la parete presenta uno spostamento comune a tutti i maschi. Ognuno reagisce con una forza dipendente dalla propria rigidezza alla traslazione. Pertanto, il diagramma Forza-Spostamento della parete si ottiene sommando i contributi resistenti di ciascun maschio (fig. 3).

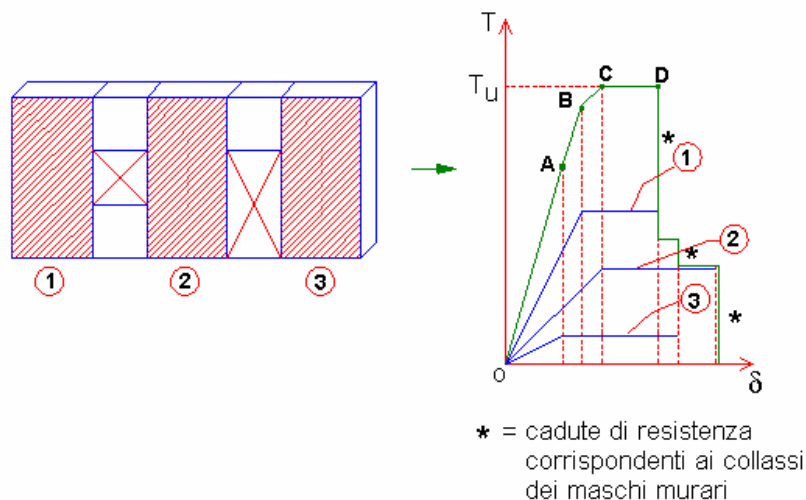


Fig. 3. Diagramma Forza-Spostamento globale.

Grazie al diagramma globale Forza-Spostamento, è possibile, noto il valore della forza orizzontale, ricavare il corrispondente spostamento della parete, mentre i vari contributi resistenti dei maschi murari vengono letti sui rispettivi diagrammi.

Per fissare le idee, si faccia riferimento al diagramma in fig. 3, costruito per l'esempio di 3 maschi. Supponiamo che i singoli diagrammi Forza-Spostamento dei maschi siano quelli riportati in figura; vogliamo costruire il diagramma complessivo che descrive il comportamento della parete.

Fino al punto A si sommano i contributi resistenti elastici dei tre maschi. La fine della fase elastica è determinata dal raggiungimento del limite elastico per il maschio n.3.

Il punto B è caratterizzato dal raggiungimento del limite elastico per il maschio n.1; il punto C è determinato dal limite elastico del maschio n.2.

Successivamente, inizia un tratto orizzontale (fase perfettamente plastica): la forza corrispondente è la massima sviluppabile dalla parete nel suo complesso, ed è quindi la resistenza ultima della parete stessa.

Il tratto orizzontale termina in D, dove viene a mancare il contributo del maschio n.1, giunto a rottura. Proseguendo oltre questo punto, il diagramma presenta scalini corrispondenti alle successive cadute di resistenza degli altri due maschi.

I PIEDRITTI DEI TELAI

Per la costruzione del diagramma globale Forza-Spostamento della parete occorrono i corrispondenti diagrammi dei singoli componenti. Per quanto riguarda i maschi murari, la procedura è già stata illustrata. Nel caso di elementi in c.a. o acciaio, occorre definirne il comportamento elasto-plastico attraverso opportuni criteri di costruzione del diagramma.

In questo paragrafo, facciamo riferimento al caso dei piedritti dei telai, che possono essere presenti nella parete ad esempio come componenti di cerchiature per aperture.

La rigidezza alla traslazione del piedritto è espressa da:

$$(3) \quad K = 12 EJ / h^3$$

dove:

J = momento d'inerzia della sezione trasversale del piedritto nella direzione della sollecitazione (cioè della forza orizzontale). Nel caso di piedritto composito, formato da 'n' ritti aventi stessa sezione, ugualmente orientata, il momento d'inerzia deve ovviamente essere moltiplicata per 'n';

h = altezza del piedritto.

Per la costruzione del diagramma Forza-Spostamento del piedritto è necessario definire un limite elastico; a tal fine, per i telai in acciaio, è possibile procedere nel seguente modo.

L'espressione della tensione normale per un piedritto sottoposto a carico verticale N e forza orizzontale F, vincolato in sommità con un incastro scorrevole (per cui: $M = F h / 2$) è:

$$(4) \quad \sigma = N/A + M/W = N/A + F h / (2 W)$$

dove:

A = area della sezione trasversale del piedritto;

W = modulo di resistenza della sezione del piedritto nella direzione della sollecitazione. Nel caso di piedritto composito, formato da 'n' ritti aventi stessa sezione, ugualmente orientata, il modulo di resistenza deve ovviamente essere moltiplicata per 'n'.

Nella (4) si prescinde da fenomeni di instabilità, poiché nella pratica la membratura in c.a. o in acciaio verrà collegata alla muratura con vincoli diffusi.

Il termine a compressione risulta in genere sensibilmente inferiore rispetto a quello flessionale, in considerazione del fatto che si vuole

determinare un limite elastico e quindi la forza orizzontale che produce flessione avrà un valore elevato.

Per semplicità quindi si prescinde dal termine a compressione; ne segue l'espressione della forza orizzontale in funzione della tensione normale:

$$(5) \quad F = 2 W \sigma / h$$

Per i **piedritti in acciaio**, considerando la tensione di progetto f_d fornita dalla tensione di snervamento f_y (tensione che segna il limite elastico), divisa per il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio strutturale ($\gamma_M = 1.05$ per le verifiche di resistenza plastica) si ottiene quindi la seguente espressione della Forza ultima:

$$(6) \quad F_u = 2 W f_d / h$$

dove:

W = modulo di resistenza del profilato utilizzato, nella direzione di sollecitazione. Nel caso di piedritto composito, formato da 'n' ritti aventi stessa sezione, ugualmente orientata, la forza ultima deve ovviamente essere moltiplicata per 'n'.

Per i vari tipi di acciaio si ha:

S 235: $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ e quindi $f_d = 228.5 \text{ N/mm}^2$

S 275: $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$ e quindi $f_d = 266.6 \text{ N/mm}^2$

S 355: $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ e quindi $f_d = 342.8 \text{ N/mm}^2$

Note la rigidezza (3) e la forza ultima (6), lo spostamento al limite elastico è dato da:

$$(7) \quad \delta_{el} = F_u / K$$

Nel diagramma di comportamento del pilastro in acciaio, oltre lo spostamento al limite elastico si considera un tratto orizzontale indefinito. In pratica ciò corrisponde a non individuare uno spostamento di collasso, dal momento che il pilastro in acciaio si trova inserito in un organismo murario che presenta valori ben più bassi di spostamento al limite di collasso.

Riassumendo: l'acciaio si considera in fase elastica fino al raggiungimento del punto di coordinate (δ_{el}, F_u) , oltre il quale avrà comportamento indefinitamente plastico (F_u costante per spostamenti in aumento), e cesserà di fornire il contributo alla resistenza al momento in cui si verifica il collasso degli elementi murari con cui il pilastro in acciaio si trova ad interagire.

Adottando per l'acciaio questa schematizzazione, senza riferimento allo spostamento ultimo di collasso, non ha significato definire una 'duttilità'.

Per i **piedritti in cemento armato** la forza ultima dipende dall'armatura, considerando il momento ultimo nello schema a doppio incastro (verifica di sezione rettangolare pressoinflessa allo stato limite ultimo).

$$(8) \quad M_u = f (\text{sezione rettangolare in c.a., armatura})$$

A favore di sicurezza è anche possibile considerare la sezione semplicemente inflessa, ipotizzando che il carico sovrastante alla parete muraria sia sostanzialmente portato dalle murature, ritenendo il contributo dei pilastri della cerchiatura prevalente in fase sismica, sotto azioni orizzontali.

Risulta:

$$(9) \quad F_u = 2 M_u / h$$

Per quanto riguarda la rigidezza alla traslazione, viene utilizzata la formula completa del contributo a flessione e a taglio, considerando l'ipotesi di vincolo di doppio incastro.

Lo spostamento al limite elastico, infine, è analogo alla (7).

VERIFICA DI SICUREZZA

Da §7.8.1.6: "(...) Nel caso di analisi statica non lineare, la verifica di sicurezza consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo della costruzione e la domanda di spostamento ottenute applicando il procedimento illustrato al §7.3.4.1. In ogni caso, per le costruzioni in muratura ordinaria e per le costruzioni in muratura armata in cui non si sia applicato il criterio di gerarchia delle resistenze, nelle quali il rapporto tra il taglio totale agente sulla base del sistema equivalente ad un grado di libertà calcolato dallo spettro di risposta elastico e il taglio alla base resistente del sistema equivalente ad un grado di libertà ottenuto dall'analisi non lineare ecceda il valore 3.0, la verifica di sicurezza deve ritenersi non soddisfatta. La rigidezza elastica del sistema bilineare equivalente si individua tracciando la secante alla curva di capacità nel punto corrispondente ad un taglio alla base pari a 0.7 volte il valore massimo (taglio massimo alla base). Il tratto orizzontale della curva bilineare si individua tramite l'uguaglianza delle aree sottese dalle curve tracciate fino allo spostamento ultimo del sistema."

In AC.M, conformemente a §7.8.1.5.4, nello schema della muratura a telaio equivalente, i pannelli murari vengono caratterizzati da un comportamento bilineare elastico perfettamente plastico, con resistenza al limite elastico definita per mezzo della risposta flessionale o a taglio di cui in §7.8.2.2 e §7.8.3.2. Nel modello di AC.M, riferito ad un'analisi locale di 1 interpiano, è possibile adottare l'ipotesi shear-type, trascurando gli effetti connessi alla variazione delle forze verticali dovuta all'azione sismica. Qui di seguito si fornisce una descrizione dettagliata del procedimento di analisi statica non lineare.

Il concetto alla base dell'analisi sismica statica non lineare è che la capacità complessiva della struttura di sostenere le azioni sismiche può essere descritta dal comportamento della stessa sottoposta ad un sistema di forze statiche equivalenti incrementate fino a raggiungere il collasso, inteso come incapacità di continuare a sostenere i carichi verticali. 'Analisi pushover' significa 'analisi di spinta', intendendo appunto per 'spinta' l'applicazione delle forze orizzontali progressivamente incrementate.

Nel caso dell'analisi di una singola parete di 1 interpiano, la curva di capacità può essere immediatamente ottenuta assemblando le curve di comportamento dei singoli elementi (maschi murari e telai cerchianti), come è stato illustrato ai paragrafi precedenti.

Si tratta di un sistema ad un unico grado di libertà, coincidente con lo spostamento orizzontale del traverso superiore. La curva di capacità viene poi ricondotta ad un legame tipico di un oscillatore non lineare ad un grado di libertà (oscillatore monodimensionale bilineare elastoplastico), rendendo possibile un diretto confronto con la domanda sismica rappresentata in termini di spettro di risposta.

Le verifiche di compatibilità degli spostamenti per il sistema reale 1-GDL consistono nel confronto tra la domanda sismica e la capacità deformativa della struttura.

Per il calcolo della domanda sismica, l'espressione degli spettri di risposta elastico $S_e(T)$ e degli spettri di progetto a SLV (stato limite di salvaguardia della vita, che è un tipo di stato limite ultimo) è fornita dalla Normativa di riferimento: D.M. 14.1.2008.

Lo spettro di risposta elastico in termini di spostamento è dato da: $S_{De}(T) = S_e(T) * (T / 2\pi)^2$

Sulla curva pushover (curva forza-spostamento), lo **Stato Limite Ultimo** coincide con il punto caratterizzato dallo spostamento corrispondente ad una riduzione della forza non superiore al 20% del massimo.

L'analisi viene condotta separatamente sia per lo **Stato Attuale**, sia per lo **Stato di Progetto**, e in ognuno dei due casi viene costruita la curva forza-spostamento.

La curva consente la definizione dei parametri necessari per la **verifica di sicurezza**:

- la **rigidezza** è pari alla rigidezza elastica iniziale del sistema reale (oscillatore reale monodimensionale elastoplastico, non necessariamente bilineare: sarà tale solo nel caso di un solo maschio murario costituente la parete);
- la **resistenza** è pari alla forza massima sostenibile dal sistema reale prima del raggiungimento dello Stato Limite Ultimo;
- la **capacità di deformazione**, considerando anche il campo plastico, è pari al massimo spostamento mostrato dal diagramma.

I risultati sono esprimibili sotto forma di **Coefficienti di Sicurezza**, dati dal rapporto tra valore nello Stato di Progetto e valore nello Stato Attuale: un coefficiente ≥ 1 esprime verifica soddisfatta. Per la rigidezza, uno scarto maggiore del 15% richiede l'inquadramento nell'ambito degli Interventi di Miglioramento e non della Riparazione o intervento locale.

La curva forza-spostamento consente inoltre la definizione di **PGA,CLV**, massima accelerazione al suolo consentita dall'edificio (PGA,CLV = capacità corrispondente a SLV in termini di accelerazione), definita dal valore in corrispondenza del quale viene raggiunto lo Stato Limite Ultimo. PGA,CLV viene calcolata ricercando per iterazioni il valore di a_g che rende uguale la richiesta di spostamento secondo lo spettro di risposta (detta anche: PGA,DLV = domanda corrispondente a SLV in termini di accelerazione) e la capacità di spostamento allo stato limite ultimo mostrata dal sistema reale. Confrontando PGA,CLV con PGA,DLV è possibile rilevare se l'accelerazione sostenibile (PGA,CLV) è superiore o meno rispetto all'accelerazione al suolo prevista per l'edificio (PGA,DLV).

Per il calcolo corretto di PGA,CLV occorre tenere conto della **posizione in elevazione della parete**.

La parete sottoposta ad intervento può infatti essere posta ad un qualunque piano dell'edificio.

Affinché la verifica di sicurezza dipenda dalla posizione in elevazione della parete, occorre definire una metodologia idonea a considerare la deformabilità della struttura sottostante, che si traduce in un'amplificazione dell'accelerazione al suolo.

A tal fine, può essere utilizzata un'analogia con le formulazioni riportate in [§C8A.4.2.3](#) nell'ambito dello studio dei cinematismi di macroelementi murari (analisi dei meccanismi di collasso in edifici esistenti in muratura).

Nelle formule dell'accelerazione spettrale, per le strutture che interessano una porzione della costruzione poste ad una certa quota, (ag S) è sostituita da: $S_e(T_1) * \psi(Z) * \gamma$, dove:

T_1 = primo periodo di vibrazione dell'intera struttura nella direzione esaminata, che può essere posto pari a: $0.05 * H^{0.75}$ ((7.3.5) in §7.3.3.2), essendo H l'altezza totale del fabbricato (altezza della costruzione rispetto alla fondazione);

$\psi(Z) = Z/H$ dove Z è l'altezza rispetto alla fondazione della quota di base della parete;

γ è il coefficiente di partecipazione modale, che può essere assunto pari a $3N/(2N+1)$, con N=numero di piani dell'edificio.

Pertanto, conformemente alle indicazioni normative, se la parete è posta al piano i-esimo sopra al piano terreno ($i > 1$, ponendo: 'piano terreno' = 'piano 1'), l'accelerazione al suolo viene amplificata: il termine (ag S) viene sostituito da: $S_e(T_1) * \psi(Z) * \gamma$.

E' quindi possibile definire un 'fattore amplificativo F' dato da:

$$F = [S_e(T_1) * \psi(Z) * \gamma / (ag S)]$$

Se la parete ha quota di base zero, cioè si imposta sul piano di fondazione (essa appartiene quindi al piano '1' di calcolo), il fattore amplificativo non deve essere considerato: la parete riceve l'input sismico alla sua base direttamente dal suolo; la PGA,CLV calcolata dal diagramma pushover è direttamente la reale PGA sostenibile.

Se invece la parete è posta a livelli superiori (quota di base > 0), il fattore amplificativo può assumere valori maggiori di 1. In tal caso, la PGA reale si ottiene dalla PGA di calcolo divisa per F: tale fattore va infatti a ridurre la PGA che diventa più bassa, cioè è sufficiente una minore accelerazione al suolo per condurre allo stato limite la parete posta ai piani superiori. Per conseguenza, il confronto con l'accelerazione di progetto diviene più sfavorevole.

SINTESI DEI RISULTATI DI AC.M

Riepilogo dei risultati ottenuti dall'analisi strutturale della parete con aperture ed eventuali telai di cerchiatura, con riferimento alla parete allo Stato Attuale (prima dell'intervento; in caso di danneggiamento per evento sismico si deve fare riferimento alla configurazione pre-evento) e allo Stato di Progetto (applicando l'intervento di progetto).

STATICA:

Sotto l'azione dei **solli carichi verticali** (carico in sommità e peso proprio), i maschi murari vengono analizzati a **Stato Limite Ultimo** facendo riferimento alla **Combinazione fondamentale** (cfr. (2.5.1) in §2.5.3). A favore di sicurezza, il coefficiente parziale di sicurezza 1.5 viene applicato alla totalità del carico. La tensione statica alla sezione di base della luce deformabile del maschio viene confrontata con la tensione di progetto a compressione data dalla resistenza media a compressione, divisa per il coefficiente parziale di sicurezza del materiale (γ_M) $M=2.00$ e per il fattore di confidenza.

SISMICA: COEFFICIENTI DI SICUREZZA:

Viene riportato il confronto fra Stato di Progetto e Stato Attuale, definendo i seguenti coefficienti di sicurezza:

* **rigidezza** (rapporto tra rigidezze elastiche iniziali): il coefficiente di sicurezza deve essere compreso nei limiti indicati in input ai fini della classificazione dell'intervento come Riparazione locale (ad esempio, secondo gli Orientamenti interpretativi della Regione Toscana, il

coefficiente di sicurezza deve essere compreso fra 0.85 e 1.15): diversamente, l'intervento viene ricondotto all'ambito del Miglioramento sismico;

* **resistenza** (rapporto tra forze massime): deve essere ≥ 1.00 ;

* **capacità di spostamento** (rapporto tra spostamenti ultimi): deve essere ≥ 1.00 .

Se l'intervento rientra nel campo del Miglioramento (a causa di una eccessiva variazione di rigidezza), si devono fare le seguenti considerazioni:

- se l'orizzontamento sovrastante la parete è rigido, occorre il calcolo globale e quindi non viene più svolta la verifica locale della parete ma si deve eseguire un'analisi complessiva;
- se invece l'orizzontamento sopra la parete è flessibile, la variazione di rigidezza non influisce sulla reazione delle altre parti dell'edificio e quindi è possibile 'contenere' la verifica di sicurezza entro i limiti della verifica locale, valutando un ulteriore coefficiente relativo all'**accelerazione al suolo** e definito dal rapporto tra PGA,CLV allo Stato di Progetto e PGA,CLV allo Stato Attuale. Per convalidare il Miglioramento, il coefficiente deve ovviamente essere ≥ 1.00 .

STATO ATTUALE:

Si evidenziano i parametri riguardanti singolarmente i maschi murari che definiscono lo Stato Attuale della parete: rigidezza K ; forza ultima F_u a pressoflessione complanare, a taglio per scorrimento e a taglio per fessurazione diagonale, secondo i meccanismi di comportamento scelti per i singoli maschi nei dati in input; spostamento al limite elastico δ_e ; spostamento ultimo δ_u .

Viene costruita la curva di capacità complessiva allo Stato Attuale.

STATO DI PROGETTO:

Si evidenziano i parametri riguardanti singolarmente i maschi murari e le eventuali cerchiature presenti nello Stato di Progetto della parete: rigidezza K ; forza ultima F_u ; spostamento al limite elastico δ_e ; Spostamento ultimo δ_u .

Viene costruita la curva di capacità complessiva allo Stato di Progetto.

Aspetti complementari sulla modellazione

La revisione dei parametri meccanici proposta dalla nuova Normativa rispetto ai valori tradizionalmente utilizzati per le pareti in muratura (cfr. Circ. 21745/1981 e OPCM 3431/2005), può condurre a casi di pareti notevolmente rigide per le quali la realizzazione di un'apertura comporta teoricamente strutture intelaiate aventi sezioni trasversali di grandi dimensioni, o addirittura casi in cui l'intervento appare non praticabile.

Ferma restando la considerazione che in alcuni casi tali tipi di interventi non siano consigliabili, AC.M rende disponibili una serie di parametri che consentono la corretta calibrazione dell'intervento evitando sovradimensionamenti. Essi sono i seguenti:

- è possibile definire con precisione zone rigide inferiore e/o superiore singolarmente per ogni maschio murario, in modo che ne risulta un'altezza di calcolo (=luce deformabile) minore dell'altezza della parete. E' così possibile valutare correttamente la rigidezza, tenendo conto delle zone rigide dovute alle fasce di piano qualora queste assicurino continuità di spessore con i maschi adiacenti;
- il vincolo flessionale in sommità alla parete è modificabile: può essere assunto a doppio incastro ($K=12 \text{ EJ/H}^3$) o a mensola (3 EJ/H^3) a seconda anche della condizione di collegamento fra parete e impalcato sovrastante; questo aspetto influisce, ovviamente, sulla rigidezza dei maschi murari;
- è possibile ridurre i moduli di elasticità E e G per tenere conto di condizioni fessurate (secondo §C8A.2), influenzando in tal modo sulle rigidezze;
- è possibile modificare adeguatamente i drift di piano per la definizione dello spostamento massimo a taglio e a pressoflessione per ogni singolo maschio murario, influenzando sulla capacità di spostamento; ad esempio, nel caso di una muratura nuova inserita nella parete il drift a pressoflessione diviene $0.8\%H$ invece che $0.6\%H$; analogamente può variare nel caso di pareti rafforzate con armature o nastri in FRP (per pannelli armati: $1.2\%H$ a pressoflessione e $0.6\%H$ a taglio);
- è possibile intervenire sul materiale applicando i coefficienti correttivi previsti in §C8A.2: in questo ambito si collocano anche gli interventi di iniezioni cementizie e intonaco armato, nonché la qualifica di muratura di caratteristiche migliori o scarse.

Definizione di criteri di Equivalenza per l'inserimento delle pareti studiate in AC.M nel modello globale di PC.E

Qualora l'intervento sulla parete non possa essere classificato come intervento locale, è necessario inquadrare lo Stato di Progetto nell'ambito di un **Intervento di Miglioramento**, dimostrando che rispetto allo Stato Attuale l'edificio nel suo complesso consegue una migliore capacità antisismica.

Per lo studio del miglioramento sismico si rende quindi necessaria un'analisi globale dell'edificio (§C8.4.2), con confronto tra Stato Attuale e Stato di Progetto.

Per Stati di Progetto dove sono previsti interventi di cerchiatura delle aperture, risulta opportuno studiare i **criteri di 'Equivalenza'** secondo i quali è possibile rappresentare in un modello globale dell'edificio i maschi murari appartenenti alla Parete analizzata in AC.M allo Stato di Progetto.

Si faccia quindi riferimento al modello dello Stato di Progetto dell'edificio, che ipotizziamo schematizzato con il software PC.E (o con modellatore equivalente), all'interno del quale è presente la Parete di AC.M, ossia i maschi che la definiscono. Il consolidamento di questa Parete, ad esempio con l'inserimento di un telaio di cerchiatura, è stato studiato in AC.M.

E' possibile modificare opportunamente i parametri meccanici dei maschi interessati, in modo tale che nel loro insieme forniscano rigidezza, forza ultima e capacità di spostamento coincidenti con i corrispondenti parametri calcolati per la Parete di AC.M, evitando la necessità di inserire le eventuali cerchiature nel modello globale.

Ponendo:

K = rigidezza, **F_u** = forza ultima, **Cap.Spost.** = capacità di spostamento

della Parete di AC.M allo Stato di Progetto formata da maschi + eventuali cerchiature, si può procedere nel seguente modo.

- L'i-esimo maschio murario della Parete è caratterizzato dalla rigidezza $K_{i,i}$; sia K_{tot} la somma delle rigidezze dei maschi.
- Si ripartiscono sia la rigidezza K sia la forza ultima F_u complessive secondo coefficienti di ripartizione definiti da: $(K_{i,i} / K_{tot})$. Ad ogni maschio sono così attribuite una rigidezza $K_{i,i}$ e una forza $F_{u,i}$ tali che il rapporto: **$F_{u,i}/K_{i,i}$** è uguale per tutti, ed uguale a quello della Parete: lo spostamento al limite elastico è quindi coincidente con quello della Parete; il diagramma elastoplastico composto dai contributi di tutti i

maschi è quindi perfettamente coincidente con quello della Parete.

- A partire da $K_{,i}$ e $F_{u,i}$ occorre ora definire i parametri correttivi del maschio i-esimo, tali appunto da far sì che proprio queste siano la sua rigidezza ($K_{,i}$) e la sua forza ultima ($F_{u,i}$).
- Per la rigidezza, si utilizza la nota espressione:

$$K_{,i} = 1 / [h^3 / (n E_{,i} J) + 1.2 h / (G_{,i} A)]$$

ed esprimendo G in funzione di E ($G=xE$, lasciando quindi il rapporto G/E invariato rispetto al materiale originario), è possibile ricavare l'incognita E, corrispondente al valore del modulo modificato da attribuire al maschio i-esimo: ($J=sb^3/12$, $A=sb$)

$$E_{,i} = K_{,i} * [12 h^3 / (n sb^3) + 1.2 h / (x sb)], \text{ con } x=G/E.$$

In alternativa al modulo di elasticità, è possibile fare riferimento alla percentuale di rigidezza elastica (% $K_{,elast}$) definita nei Dati Aste di PC.E. Essa corrisponderà alla variazione del modulo di elasticità $E_{,i}$ rispetto al modulo originario E:

$$\%K_{,elast,i} = (E_{,i} / E) * 100$$

Nel calcolo di Equivalenza, AC.M fornisce direttamente il valore di % $K_{,elast,i}$.

- Per la forza ultima, si utilizza la resistenza a taglio per fessurazione diagonale:

$$F_{u,i} = bs \tau'_{oi} * \sqrt{ [1 + (\sigma_o + \sigma_{po} + \sigma_{pv}) / (1.5 \tau'_{oi}) + (\sigma_o + \sigma_{pv}) * \sigma_{po} / (2.25 \tau'^2_{oi})] }$$

dove σ_o rappresenta la tensione verticale corrispondente ai carichi verticali agenti in combinazione sismica (dovuta quindi a: $G_1 + G_2 + \sum \psi_{2,i} Q_{ki}$) (tali sono i carichi che devono essere attribuiti ai maschi murari di AC.M, per l'analisi sismica secondo il D.M. 14.1.2008), e τ'_{oi} è la resistenza a taglio modificata che caratterizzerà il maschio i-esimo nel modello globale. Poiché la resistenza a taglio dipende anche dal fattore di confidenza FC definito nei dati di AC.M, si ha: $\tau'_{oi} = \tau_{oi} / FC$ e quindi τ_{oi} che caratterizzerà il maschio sarà fornita da: $\tau_{oi} = \tau'_{oi} * FC$

τ'_{oi} si esprime in funzione di $F_{u,i}$ e può essere ricavata risolvendo la seguente equazione di secondo grado: $ax^2 + bx + c = 0$, dove: $a = 1$, $b = (\sigma_o + \sigma_{po} + \sigma_{pv}) / 1.5$, $c = (\sigma_o + \sigma_{pv}) * \sigma_{po} / 2.25 - (F_{u,i} / bs)^2$

Per quanto riguarda infine la capacità di spostamento, dal valore fornito dai risultati dell'analisi della Parete di AC.M si ricava il drift a taglio del maschio i-esimo, relazionando lo spostamento alla sua altezza di calcolo (=luce deformabile):

$$d\%,i = (Cap.Spost. / h_{calc,i}) * 100$$

Nel modello globale di PC.E, i maschi che compongono la Parete di AC.M allo Stato di Progetto, potranno quindi essere rappresentati modificando i seguenti parametri:

- moduli di elasticità: $E_{,i}$ e $G_{,i}=xE_{,i}$, o equivalentemente: % $K_{,elast,i}$ nei Dati Aste (lasciando invariati in tal caso E e G definiti nei Dati Materiali);
- resistenza a taglio: τ_{oi} (modifica da effettuare nei Dati Materiali)
- drift a taglio: $d\%,i$ (modifica da effettuare nei Dati Aste).

Inserite tali modifiche, nella struttura complessiva dell'edificio sarà presente l'informazione dello Stato di Progetto della parete di AC.M, e la verifica globale terrà quindi conto del consolidamento studiato in AC.M.

Per la corretta applicazione del criterio di equivalenza, è indispensabile controllare il valore di alcuni parametri di PC.E. Ovviamente, sarà stata assicurata a priori ogni possibile coerenza fra PC.E e AC.M (ad esempio, per la geometria della Parete, per le zone rigide dei maschi murari, per il fattore di confidenza FC).

- Per ogni maschio murario della Parete di AC.M si dovrà definire un materiale apposito, caratterizzato da τ_{oi} e da $E_{,i}$ e $G_{,i}$ (oppure, lasciando inalterati E e G, modificare % K_{elast} , i nei Dati Aste: essa potrà anche essere >100%, in dipendenza dal tipo di consolidamento che caratterizza la Parete di AC.M allo Stato di Progetto)
- Se si eseguirà in PC.E un'analisi sismica lineare (non la pushover), il valore di τ_{oi} fornito dal criterio di equivalenza deve essere amplificato per $\gamma_M = 2.00$ (in quanto nelle verifiche lineari il valore in input viene automaticamente diviso per γ_M).
- Relativamente alle azioni complanari, i maschi devono essere sottoposti alla sola verifica a Taglio per fessurazione diagonale (deve quindi essere disattivata la verifica a Pressoflessione Complanare, utilizzando il corrispondente check nei Dati Aste; ciò non significa che si prescinde da tale verifica: essa è stata considerata nel calcolo di AC.M, ma l'equivalenza, per semplicità, è stata impostata direttamente sulla formulazione della resistenza a taglio per fessurazione diagonale)
- In PC.E, anche l'analisi statica NON sismica deve essere eseguita con % K_{elast} specificata nei Dati Aste (si deve controllare il corrispondente parametro in Parametri di Calcolo, scheda Generali)
- Per ogni maschio murario si dovranno annullare eventuali correttivi ai moduli di elasticità e ai parametri di resistenza (p.es. check su Iniezioni, Intonaco armato...), definibili nei Dati Aste, in quanto tali effetti sono già contenuti nei risultati della Parete di AC.M
- Per ogni maschio murario si specificherà il Drift a Taglio $d\%,i$
- La verifica a taglio per fessurazione diagonale deve prevedere $b=1.5$ fisso nella formulazione di Turnsek-Cacovic (Parametri di Calcolo, Muratura (2)).