



Analisi non lineari di strutture in muratura: un semplice metodo di plasticità progressiva in applicazione a un caso di studio

Ing. Alessandra Bazzarin - CDM DOLMEN Srl

La complessità del comportamento strutturale degli edifici in muratura portante è tale non poter essere descritta tramite semplici analisi in elasticità lineare: non sempre però è possibile il ricorso ad analisi di pushover ed è sempre comunque utile disporre di più strumenti per verificarne la rispondenza alle richieste di normativa. In questo articolo viene descritto un semplice metodo di verifica non lineare di struttura in muratura.

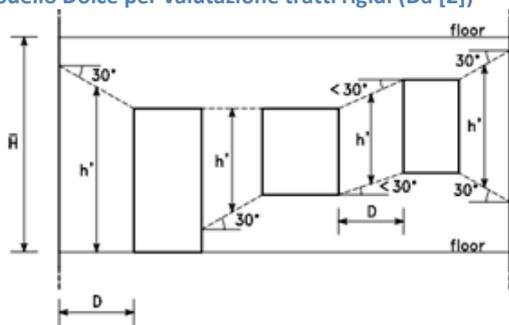
La maggior parte del costruito italiano è costituito da strutture in muratura, per la quasi totalità costruite in epoche che ne pensavano la progettazione esclusivamente con riferimento a carichi verticali.

L'odierno studio della vulnerabilità sismica, o, più in generale, la complessiva verifica strutturale di queste strutture, presenta delle difficoltà direttamente collegate alle peculiarità di questo materiale: innanzitutto per l'estrema variabilità delle tipologie (dal pietrame disordinato ai mattoni pieni con malta), che rende difficile utilizzare un'unica legge costitutiva valida per ogni tipologia, ma principalmente per l'intrinseca caratteristica della muratura di essere un materiale non omogeneo, anisotropo e a comportamento assolutamente non lineare, con resistenze e moduli elastici profondamente differenti fra compressione e trazione.

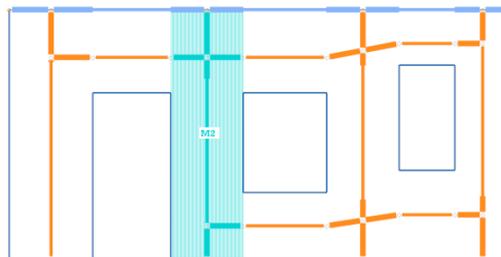
Queste caratteristiche fanno sì che limitarsi ad analisi di tipo elastico sia estremamente cautelativo, dal momento che questo tipo di analisi si conclude al primo elemento non verificato [1]. In sostanza, la semplice analisi elastica lineare rischia di assegnare all'intero edificio la resistenza del suo elemento più debole e come conseguenza il risultato diventa estremamente dipendente dalle scelte di modellazione: pensiamo ad esempio a due differenti modelli di uno stesso edificio, il primo in cui si sia scelto di modellare anche elementi di dettaglio quali maschi murari di lunghezza trascurabile, il secondo nel quale questi elementi non siano stati rappresentati in quanto ritenuti non significativi. Ebbene, il primo modello, per quanto "più preciso", fornirà ad un'analisi elastica lineare una valutazione di capacità sismica decisamente inferiore, pari a quella del più debole fra gli elementi di dettaglio.

Data quindi per acquisita la necessità di effettuare un'analisi di tipo non lineare, è possibile far ricorso anche a metodi altri dall'analisi pushover: anzi, stante la complessità del comportamento strutturale della muratura, è senza dubbio utile affiancare più metodi di indagine, e anche avere a disposizione metodi alternativi qualora l'analisi di pushover possa essere non significativa a causa di particolarità della struttura.

Il metodo qui presentato, sviluppato all'interno di CDM DOLMEN, fa riferimento a una modellazione a telaio equivalente (Equivalent Frame Model) che vede il comportamento degli elementi murari descritto in base al criterio proposto da Dolce[2][3]:

**Modello Dolce per valutazione tratti rigidi (Da [2])**

$$H_{eff} = h' + \frac{1}{3} D(\bar{H} - h')/h' \quad \bar{H} = \text{altezza interpiano}$$

Modellazione DOLMEN della parete muraria

Come tale, fa parte di un'ampia categoria di modellazioni che nascono dall'osservazione dei meccanismi fessurativi e schematizzano la parete muraria come composta di parti flessibili e parti infinitamente rigide: per DOLMEN la parete muraria si compone di elementi asta aventi tratti a rigidità infinita, di lunghezza determinata secondo il criterio proposto in [2]: questi elementi sono inoltre svincolati alle azioni fuori dal piano. Anche i cordoli presentano dei tratti rigidi, in corrispondenza dei pannelli murari, tratti rigidi che hanno il compito di schematizzare non tanto un comportamento proprio di cordoli od orizzontamenti quanto la bidimensionalità del pannello stesso. Il maschio murario è quindi rappresentato tramite un insieme di elementi finiti asta: in questo modo il comportamento della parete muraria rimane scomposto in quello di elementi semplici e di facile lettura.

Il modello e il principio di schematizzazione dell'evoluzione dei meccanismi plastici all'interno del sistema strutturale sono in DOLMEN gli stessi per pushover e metodo di plasticità progressiva.

Nell'analisi di **pushover** vengono mantenuti costanti i carichi gravitazionali e incrementata gradualmente, secondo un unico moltiplicatore, una distribuzione di forze orizzontali applicate alle masse che simula le forze inerziali derivanti dall'azione sismica. Il metodo implementato in DOLMEN ricerca il moltiplicatore della distribuzione di forze che porta un primo elemento in incipiente stato di plasticizzazione, ovvero alla condizione di coefficiente di sicurezza pressoché unitario nella verifica/verifiche a taglio o a momento: genera la "fotografia" di questa situazione in termini di spostamenti ed applica un incremento quasi infinitesimale del moltiplicatore: a questo incremento corrisponde per uno o più elementi, il raggiungimento della plasticizzazione, e quindi la creazione di cerniere plastiche con conseguente modifica della matrice del sistema, matrice che rimane costante sino al moltiplicatore del carico che determina il successivo elemento non verificato.

Gli spostamenti della struttura vengono calcolati come somma degli spostamenti dovuti all'incremento del moltiplicatore della distribuzione sul sistema avente la matrice di rigidità valida in quell'intervallo di forze. Il comportamento post-elastico della struttura viene quindi schematizzato attraverso l'utilizzo di cerniere plastiche, e la plasticità risulta concentrata nelle sezioni che delimitano il tratto flessibile.

Le distribuzioni di forze da applicare devono essere sufficientemente rappresentative del comportamento strutturale, e per ogni distribuzione di forze viene con questo metodo generata la curva di capacità della struttura. La valutazione del rapporto capacità/domanda prevede la definizione di un sistema equivalente ad un grado di libertà, riassuntivo del comportamento strutturale sotto quella distribuzione di forze.



Nell'analisi di **plasticità progressiva** la struttura soggetta ai carichi gravitazionali viene sottoposta alle combinazioni sismiche di normativa e viene ricercata per iterazioni una configurazione (se esistente) nella quale tutti gli elementi siano verificati. Il metodo prevede cioè di generare delle cerniere plastiche nelle sezioni non verificate, effettuando così una redistribuzione degli sforzi in funzione della capacità portante dei singoli elementi e liberando così parzialmente gli elementi non verificati dalle azioni più gravose, che dovranno essere ripartite fra gli altri.

Se la riserva di resistenza della struttura lo consente, il processo termina con la verifica di tutti gli elementi, altrimenti la struttura diventa labile.

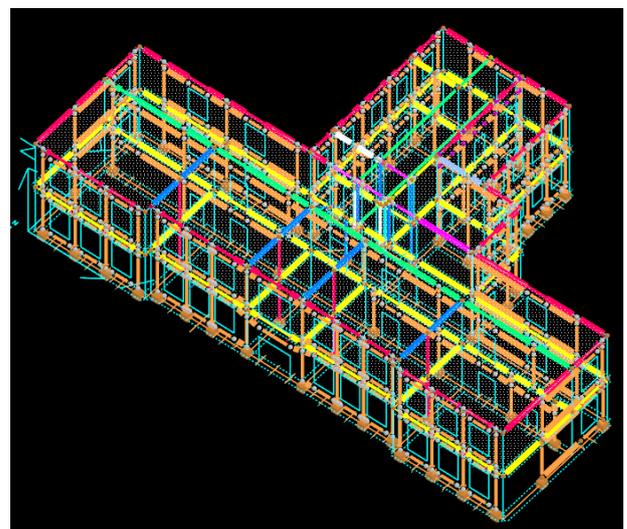
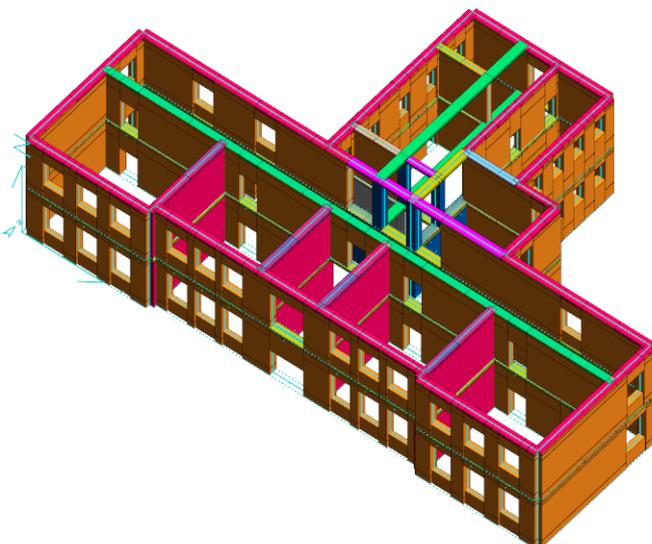
Questo metodo non prevede quindi il ricorso alla definizione di un oscillatore semplice, ma si limita a ricercare una possibile configurazione equilibrata e verificata.

L'analisi di plasticità progressiva non necessariamente deve riguardare le sole combinazioni sismiche. Ad esempio la combinazione «**Quasi Permanente**» dà luogo a piccole problematiche locali, possiamo utilizzare l'analisi di plasticità progressiva per vedere se queste problematiche sono effettive o possono essere risolte con poche iterazioni.

Le differenze e le analogie fra i due metodi risultano più facilmente comprensibili se illustrate facendo riferimento ad un esempio specifico. Il modello scelto per questa esemplificazione è quello del benchmark n.5 della pubblicazione ReLUI "Uso dei software di calcolo nella verifica sismica degli edifici in muratura" [4], che indaga sullo stato dell'arte del software commerciale dedicato all'analisi pushover di edifici in muratura portante, e percorre una serie di benchmark indagando somiglianze e differenze fra le soluzioni offerte da più software, ricercandone le motivazioni nelle possibili differenti ipotesi di modellazione e indagando la sensibilità dei risultati alle ipotesi, e più in generale ai parametri di input significativi. Di particolare interesse applicativo è inoltre l'attenzione che il documento pone su tutti quei controlli effettuabili in fase di input per evitare errori grossolani derivanti da un errato inserimento dei dati.

L'esempio che segue è il I benchmark n.5 della pubblicazione ReLUI, utilizzato, insieme ad altri, per generare il documento di validazione DOLMEN delle analisi non lineari di strutture in muratura portante.

Nelle immagini, gli ingombri solidi e il modello strutturale come inseriti in DOLMEN:





Nel seguito, le immagini che costituiscono una citazione del documento ReLUI5[4] verranno contrassegnate da un bordo azzurro per renderle riconoscibili, mentre le immagini provenienti dal software DOLMEN verranno distinte tramite un bordo sottile nero.

Per i materiali sono stati assunti i valori delle rigidezze fessurate:

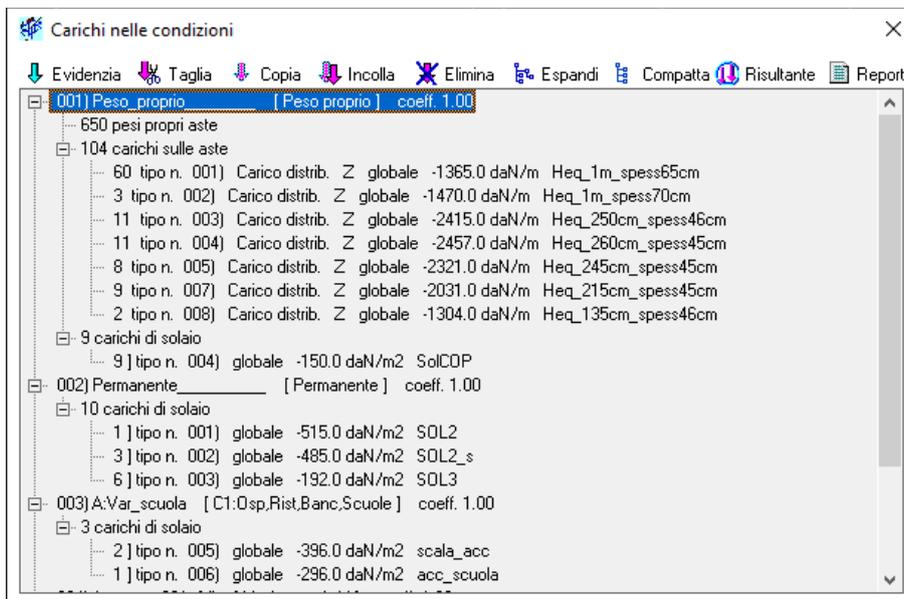
MATERIALE 002	MATERIALE 003	MATERIALE 004
MUR1 Blocchi di pietra a spacco	MUR1CONS Pietra a spacco con iniez. malta	MUR2 Mattoni pieni e malta di calce
Modulo di Young E = 870 MPa	Modulo di Young E = 1305 MPa	Modulo di Young E = 1125 MPa
Modulo di Poisson = 0.2	Modulo di Poisson = 0.2	Modulo di Poisson = 0.25
Modulo di elast. tang. G = 290 MPa	Modulo di elast. tang. G = 435 MPa	Modulo di elast. tang. G = 375 MPa
Coeff. dilataz. termica = 0 1 / °C	Coeff. dilataz. termica = 0 1 / °C	Coeff. dilataz. termica = 0 1 / °C
Peso specifico = 2100 daN/m3	Peso specifico = 2100 daN/m3	Peso specifico = 1800 daN/m3

e le valori delle resistenze utilizzati nel documento ReLUI5, che prevedono la sola verifica a taglio-fessurazione dei pannelli

Per la modellazione i solai sono stati assunti rigidi:

Livelli	Quota	Tolleranza	Piano rigido	per verif. spostam.
Fondazione	0.0	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Livello 1	441.0	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Livello 2	877.0	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

I carichi sulla struttura sono stati assegnati nelle varie condizioni elementari come carichi aste e carichi di solaio, con differenti percentuali di ripartizione dei carichi di solaio nelle due direzioni



Il sottotetto non è stato esplicitamente schematizzato ma semplicemente rappresentato come carico.



L'analisi dei carichi ci porta alla valutazione della massa sismica complessiva:

CONDIZIONI DI CALCOLO	
Condizione	Coeff.
Peso proprio	1
Permanente	1
A:Var_scuola	0.6

Gli accidentali concorrono, come richiesto, a definire la massa sismica affetti dal coefficiente 0.6

$$(-27940.63[\text{Peso_proprio}] - 3873.94 [\text{Permanente}] - 1060.89 [\text{Var.scuola}] \cdot 0.6) \text{ kN} = 32\,451.104 \text{ kN}$$

La massa totale da considerare per l'azione sismica è di 32 451.104 kN ovvero 3 307 962 Kg , con una differenza percentuale inferiore all'1% rispetto alla massa di 3 336 031 Kg derivante dai calcoli manuali. I controlli sui valori dei carichi effettuabili in DOLMEN sono comunque molteplici, e mi consentono di interrogare la modellazione sotto svariati punti di vista.

Per poter effettuare poi anche il confronto di q* e delle PGA sono stati assegnati dati sismici concordi con quelli del documento Reluis, e in particolare S=1.52, T_c = 0.714, F_o=2.363.

I modi di vibrare principali sono 3, che possiamo rispettivamente qualificare come Modo Y, Modo X-Y e Modo X

	Num.	Periodo	X	% Masse attivate		
				Y	Z	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	0.277701	0.694	76.615	0.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	2	0.256973	11.856	14.062	0.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	0.235828	82.177	0.381	0.000	

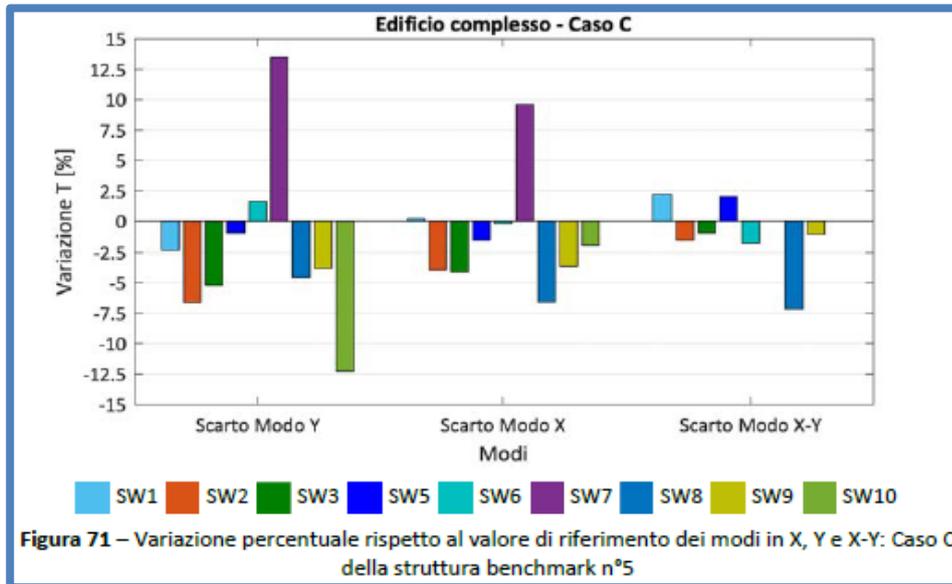
Le analisi modali svolte evidenziano, per la maggior parte dei software e per entrambi i casi considerati (A e C), un modo di vibrazione di tipo flessione-torsionale (identificato dal pedice "X-Y" caratterizzato da percentuali significative di massa partecipante attivata sia lungo X che lungo Y) e due modi di vibrazione prevalentemente di tipo traslazionale (identificati dai pedici "X" e "Y", rispettivamente). La direzione dei due assi principali X e Y è indicata nella pianta di **Tabella 23**. Si precisa che per il caso dei modelli del Gruppo 2 e per il solo SW7 del Gruppo 1, nel caso A non è stata riscontrata l'attivazione del modo "X-Y" fra i primi 10 modi calcolati. La selezione di questi tre modi consente di attivare una massa partecipante complessiva uguale o superiore all'80% in entrambe le direzioni (solo nel caso C, per il SW9 si attiva una massa di poco inferiore, comunque superiore al 75%).

Confrontiamo i valori risultanti in DOLMEN con i valori medi degli altri sw

Tabella 29 – Valori di riferimento dei primi tre modi considerati ai fini dei confronti per la struttura benchmark n°5

Modi	Caso A		Caso C		Moduli elastici Gruppo 2
	Gruppo1	Gruppo 1	Moduli fessurati		
			Gruppo 1	Gruppo 2	
T _{X-Y}	0.246	0.251	0.241	0.172	
T _Y	0.249	0.253	0.235	0.173	
T _X	0.226	0.229	0.229	0.156	

	Val.rif.	Dolmen	delta perc.
T-XY	0.251	0.257	2%
TY	0.253	0.278	10%
TX	0.229	0.236	4%



Questo controllo fornisce un'ulteriore conferma della concordanza del modello.

Affinché l'analisi di pushover possa essere significativa, la struttura alla quale applicare le distribuzioni di forze deve essere verificata nei confronti della configurazione dei carichi quasi permanenti, ovvero :

Condizione/Caso	Descrizione	Coefficiente	Tipo
1	Peso proprio	1.0000	Somma Semplice
2	Permanente	1.0000	Somma Semplice
3	A:Var_scuola	.600	Somma Semplice

Sotto questa configurazione di carico, quattro fasce di piano risultano non verificate per trazione e il modello viene quindi modificato svincolandole a forza normale: la struttura risulta così verificata, e la modifica effettuata è minima, per cui la struttura conserva i periodi propri.

La percentuale delle masse attivata in ognuna delle direzioni principali è superiore al 60% (punto 7.8.1.5.4 NTC18), e risulta di conseguenza significativo effettuare l'analisi di pushover utilizzando le distribuzioni standard. In DOLMEN sarebbe stato comunque possibile utilizzare una qualunque distribuzione di forze orizzontali, sia una forma modale che una qualunque condizione generata anche "manualmente":



Murature - Analisi statica non lineare

Punto di controllo

Coordinate: , ,

Distribuzioni di forze

- + Sisma_X con coeff. distrib. variabile
- Sisma_X con coeff. distrib. variabile
- + Sisma_Y con coeff. distrib. variabile
- Sisma_Y con coeff. distrib. variabile
- + Sisma_X con coeff. distrib. uniforme
- Sisma_X con coeff. distrib. uniforme
- + Sisma_Y con coeff. distrib. uniforme
- Sisma_Y con coeff. distrib. uniforme

Visualizza

- tutte
- eseguite
- non eseguite

- tutte
- verificate
- non verificate

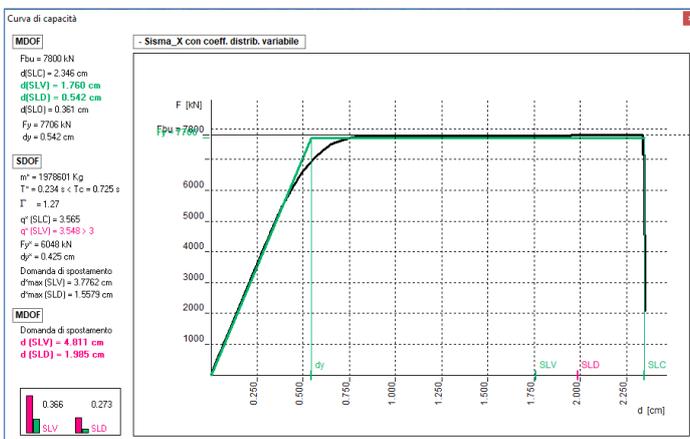
Verifica a SLV
 Verifica a SLD

Aggiungi distribuzione di forze da elenco condizioni >> Colori C D Salva

Condizioni per generazione distribuzione di forze orizzontali <<

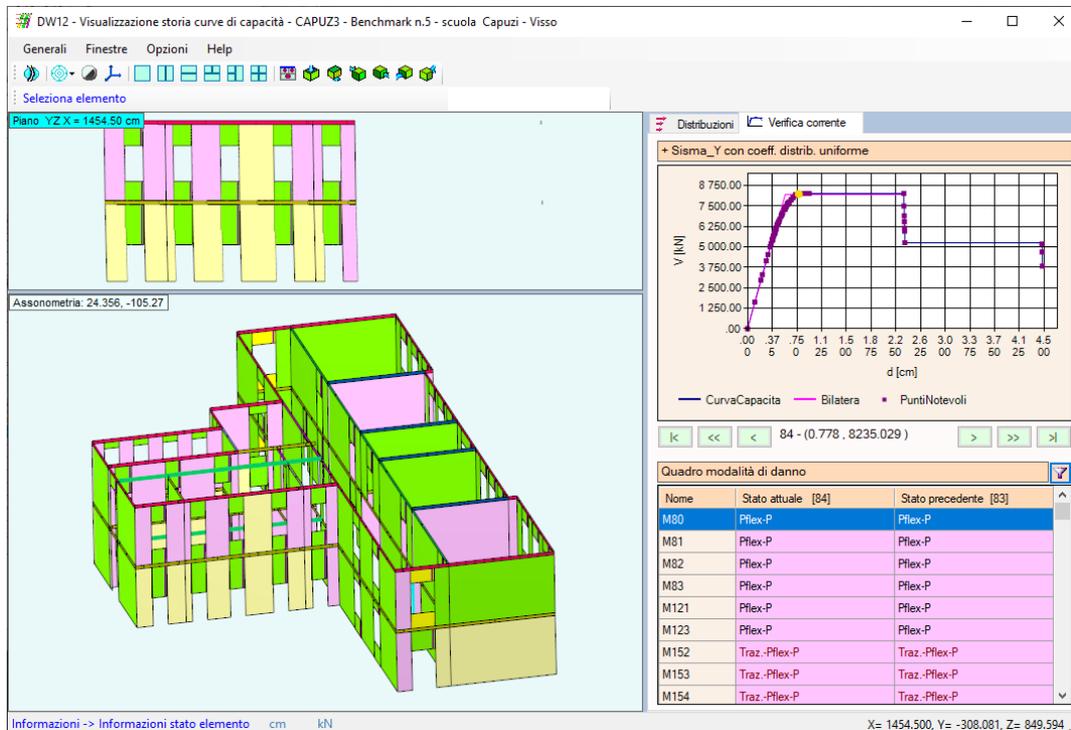
- 001) Peso proprio
- 002) Permanente
- 003) A:Var_scuola
- 004) Autovett_001_(X)
- 005) Autovett_001_(Y)
- 006) Autovett_002_(X)
- 007) Autovett_002_(Y)

Sono state quindi eseguite le otto analisi standard, facendo crescere monotonamente i carichi e costruendo le relative curve di capacità:





Una volta generate le curve di capacità, queste sono interrogabili e consentono di visualizzare la storia di danno visualizzando lo stato dei singoli elementi murari in ogni punto della curva.



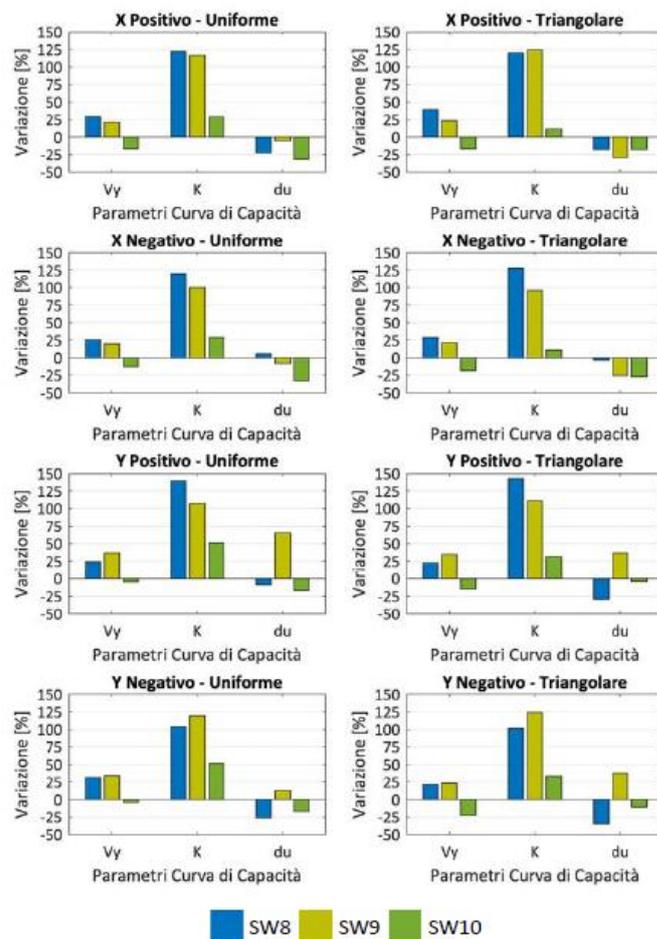
La bilinearizzazione delle curve di capacità porta a valori del taglio alla base e della rigidezza equivalente in linea con la media degli software.

Tabella 31 – Valori medi di riferimento delle tre grandezze che definiscono la bilineare equivalente: caso C della struttura benchmark n°5

Analisi	Caso C					
	Vy [kN]		K [kN/mm]		du [mm]	
	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 1	Gruppo 2
X+ U	8150	8474	1420	2467	17	14
X+ T	7244	7766	1199	1998	23	19
X- U	8316	8719	1382	2343	17	15
X- T	7710	7956	1156	1866	24	19
Y+ U	6983	7874	1311	2455	16	17
Y+ T	6605	7045	1115	1999	23	23
Y- U	7208	8244	1313	2385	17	15
Y- T	7117	7105	1110	1922	22	22

Analisi	Vy [kN]	Vy DOLMEN	var. perc.	K [kN/mm]	K DOLMEN	var. perc.	du [mm]	du DOLMEN	var. perc.
X+U	8150	9159	12	1420	1909	34	17	22	29
X+T	7244	7702	6	1199	1414	18	23	23	0
X-U	8316	9288	12	1382	1908	38	17	22	29
X-T	7710	7706	0	1156	1421	23	24	23	-4
Y+U	6983	8202	17	1311	1432	9	16	24	50
Y+T	6605	5744	-13	1115	1049	-6	23	24	4
Y-U	7208	8934	24	1313	1397	6	17	24	41
Y-T	7117	6037	-15	1110	1032	-7	22	24	9

Figura 79 – Variazioni percentuali delle tre grandezze che definiscono le bilineari equivalenti: modelli a telaio equivalente (Gruppo1) - caso C della struttura benchmark n°5 (figura riadattata da Ottonelli et al. 2022 - <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01128-7>)



Per quanto riguarda il taglio e la rigidezza equivalente, lo scostamento dalla media è decisamente contenuto rispetto agli software. Lo spostamento ultimo è decisamente più elevato, ma ciò facilmente attribuibile ai maggiori limiti di drift ultimo della circolare 2019, rispetto a quelli utilizzati dagli altri software, derivanti dalle normative precedenti.

Si ha inoltre una sostanziale concordanza anche relativamente agli altri parametri: fattore di partecipazione Γ , T^* , q^* , M^* , $PGA-du$ etc. La maggior parte dei sw sembra concordare nel calcolare il fattore di partecipazione modale con riferimento alla forma dell'autovettore corrispondente al primo modo, e quindi indipendente dalla forma della distribuzione adottata per generare la curva di capacità. Inoltre nel calcolo del fattore di partecipazione questo autovettore è spesso approssimato con il sistema di forze proporzionali alle masse nodali per le quote. Nella versione 25, anche in DOLMEN viene adottata questa ipotesi.

A questo punto possiamo dire che i dati sui quali si basa il confronto capacità/domanda sono pienamente concordanti con quelli del documento, e possiamo quindi riassumere sinteticamente le informazioni fornite dall'analisi di pushover.

Minimo rapporto capacità/domanda SLV 0.291

RIEPILOGO ANALISI EFFETTUATE

Verifiche SLV

1) + Sisma_X con coeff. distrib. variabile	0.364	
2) - Sisma_X con coeff. distrib. variabile	0.366	
3) + Sisma_Y con coeff. distrib. variabile	0.291	
4) - Sisma_Y con coeff. distrib. variabile	0.294	
5) + Sisma_X con coeff. distrib. uniforme	0.484	
6) - Sisma_X con coeff. distrib. uniforme	0.484	
7) + Sisma_Y con coeff. distrib. uniforme	0.379	
8) - Sisma_Y con coeff. distrib. uniforme	0.389	

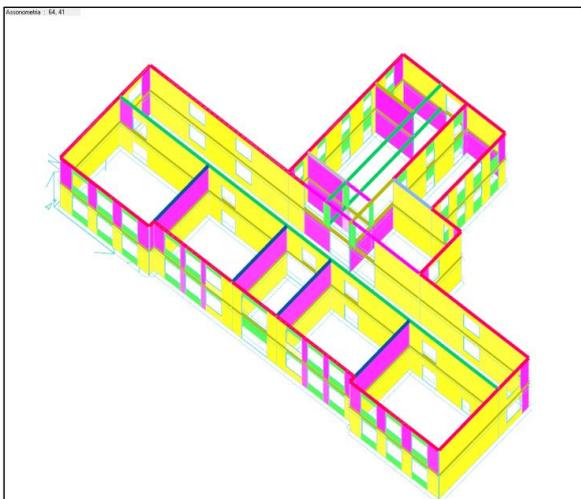
L'obiettivo diventa quindi ora quello di confrontare le informazioni fornite dall'analisi pushover con le informazioni fornite dall'**analisi di plasticità incrementale**, eseguita secondo le modalità richieste da DOLMEN.

Il modello di partenza è identico (la struttura verificata sotto l'azione dei carichi quasi permanenti).

Le resistenze dei materiali vengono però ora divise anche per il coefficiente parziale di sicurezza γ_m , e lo spettro di risposta della struttura viene scalato del fattore $q = 2.25$ (edificio in muratura esistente non regolare in altezza).

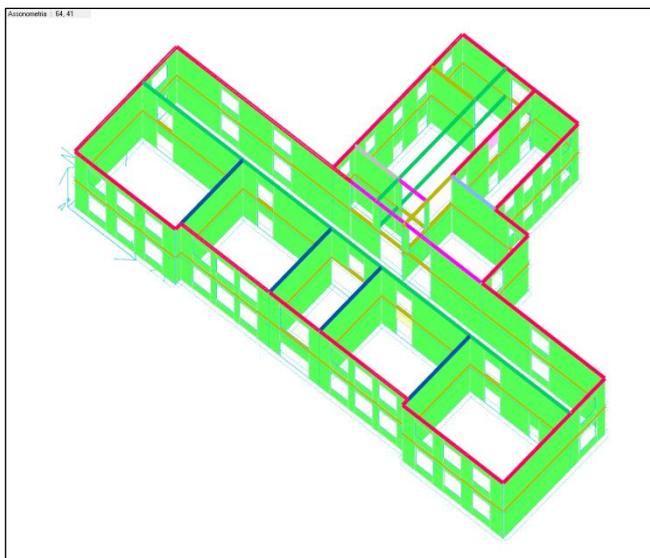
Con queste ipotesi, vengono automaticamente generate le combinazioni di carico previste dalla normativa.

Ovviamente in presenza del sisma totale la struttura è per la buona parte non verificata.



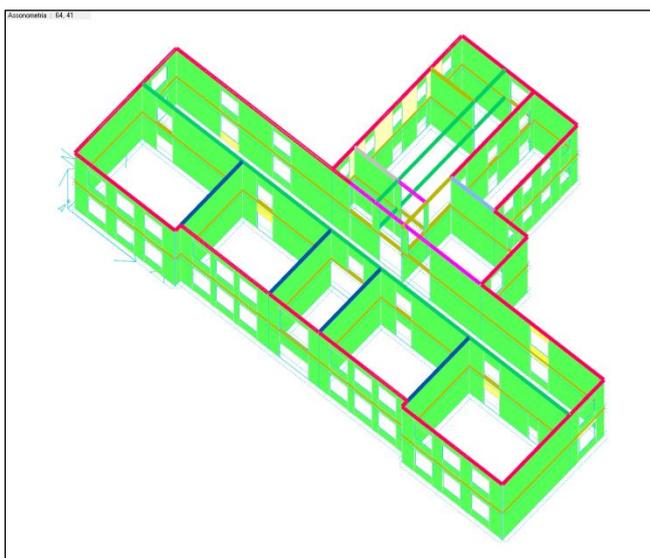
Le condizioni della struttura sono interrogabili sia con la generazione di una relazione di calcolo estesa, sia richiedendo un riassunto delle problematiche riscontrate, sia interrogando i singoli elementi murari, sia, più sinteticamente con una rappresentazione grafica dello stato di maschi e fasce con colori diversi a seconda della più importante problematica riscontrata (verde = elemento verificato: giallo= problemi di taglio: magenta = problemi di pressoflessione: grigio = problematiche per azioni fuori del piano).

Imponiamo allora una configurazione di carico corrispondente al 10% dell'azione sismica: questa situazione crea problematiche molto limitate.



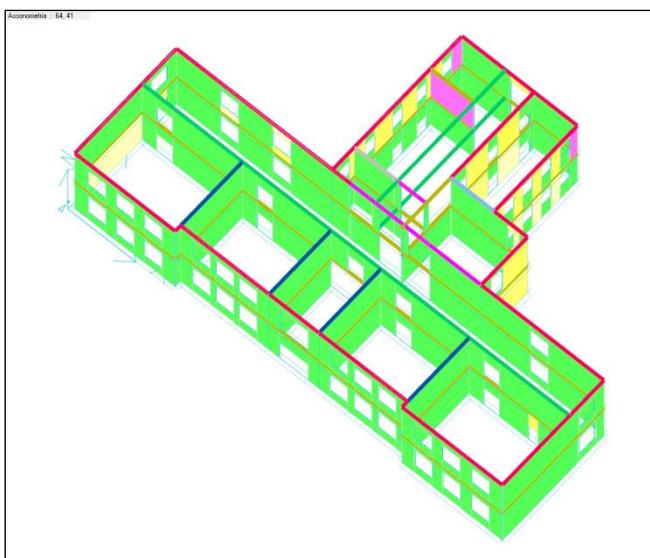
Risultano poco visibili nella figura, ma sono presenti delle fasce di piano non verificate a taglio, nel modello originario schematizzate come travi incastro-incastro. L'analisi di plasticità incrementale ne modifica lo schema statico inserendo delle cerniere plastiche che le rendono, di fatto, delle travi appoggiate. Con questa ipotesi l'applicazione dei carichi corrispondenti al 10% del sisma sul modello strutturale così modificato, lascia la struttura integralmente verificata.

Applichiamo allora, sul modello modificato, il 20% dell'azione sismica.



Cominciano a risentirne pochi maschi murari: l'analisi di plasticità riesce velocemente, con l'inserimento di opportune cerniere plastiche, ad individuare un modello equilibrato e verificato.

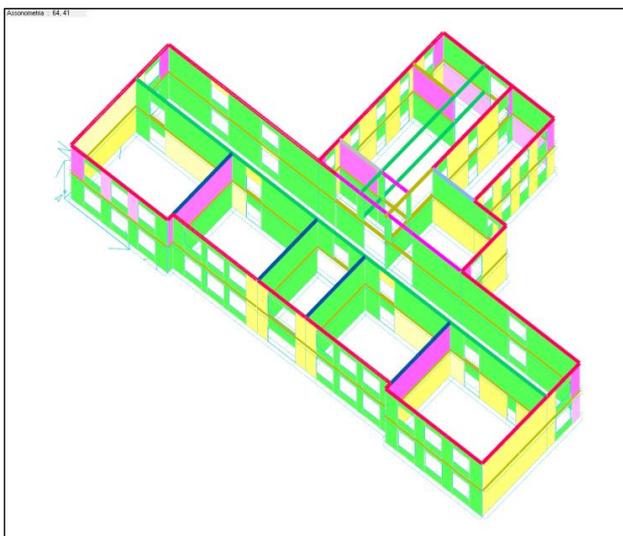
Su quest'ultimo imponiamo il 30% dell'azione sismica.



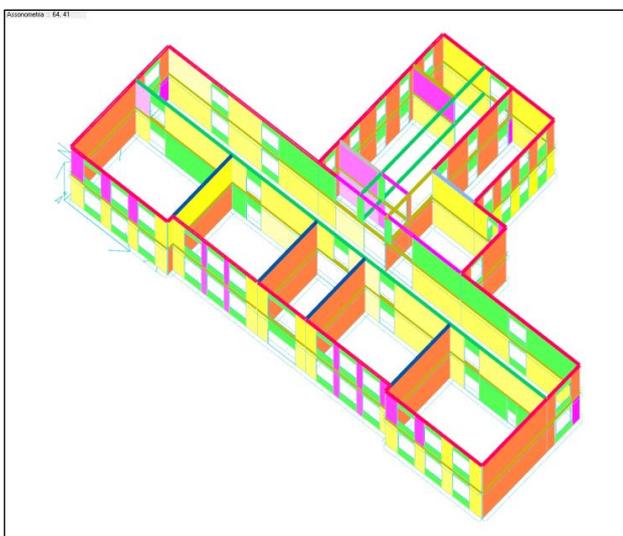
Il danno si fa più esteso, e comincia ad interessare una parte rilevante della struttura.

Tuttavia, l'inserimento di nuove cerniere plastiche riesce ancora a generare un modello equilibrato e verificato.

Imponiamo allora il 40% dell'azione sismica.

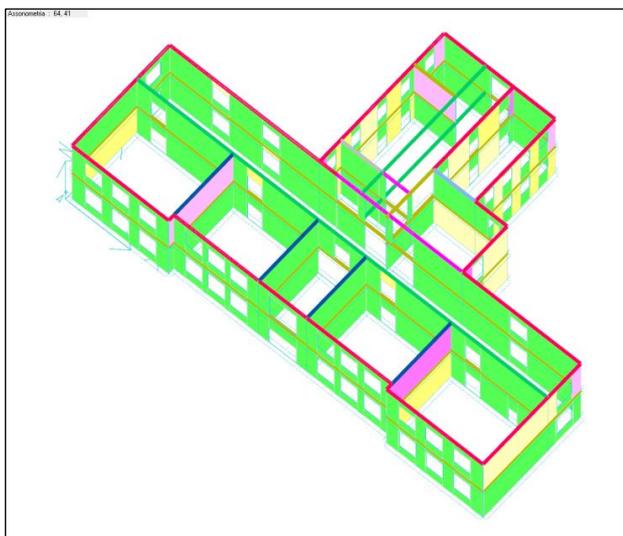


Col 40% dell'azione sismica molti elementi murari si trovano in sofferenza, e al termine dell'analisi, l'inserimento progressivo delle cerniere ha generato una configurazione per la quale la struttura è diventata labile.



Nella rappresentazione grafica sono riportati in arancione gli elementi che hanno sperimentato un drift eccessivo.

Ritorno quindi al modello strutturale verificato per il 30% del sisma ed impongo su di esso un 35% dell'azione sismica:



e la struttura arriva a verifica dopo un numero di iterazioni molto maggiore di quello richiesto dagli intervalli di azione sismica precedenti.



Abbiamo quindi ottenuto una stima della vulnerabilità sismica al 35%, in linea con i risultati del pushover, che davano 0.291 come minimo rapporto capacità/domanda: tenendo il risultato del pushover come base, la differenza nelle due valutazioni è del 20%.

Se considero, come nel documento Reluis, le sole distribuzioni uniformi, il minimo rapporto capacità domanda è 0.379, e tenendo il risultato del pushover come base, la differenza nelle valutazioni fornite dai due metodi è del -8%.: nella valutazione della PGA-du dei software presi in considerazione la massima variazione percentuale è del 30% ed in media sulla 4 analisi considerate è in un intorno dell'11%.

Possiamo sinteticamente riassumere le differenze fra i due metodi:

PUSHOVER	PLASTICIZZAZIONE PROGRESSIVA
<i>L'analisi viene effettuata nei confronti di più distribuzioni di forze, il cui insieme è rappresentativo delle sole verifiche sismiche.</i>	<i>L'analisi viene effettuata nei confronti delle combinazioni di verifica di normativa (quindi anche le combinazioni statiche) o solo alcune di esse, nel caso di analisi di vulnerabilità o miglioramento.</i>
<i>La struttura viene portata alle sue condizioni ultime.</i>	<i>Sotto le combinazioni di verifica, la struttura NON deve arrivare alle sue condizioni ultime.</i>
<i>Per effettuare le verifiche devo effettuare un parallelo tra uno SDOF e un MDOF.</i>	<i>Le verifiche sono effettuate sulla struttura in esame.</i>
<i>Per ogni distribuzione di forze viene creata una storia di danno (insieme di stati equilibrati e verificati) dalla quale posso trarre informazioni.</i>	<i>Ciò che si raggiunge per successive iterazioni è un unico stato equilibrato e verificato.</i>
<i>E' applicabile purché il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata abbia una partecipazione di massa >= 60% (per le strutture in muratura)</i>	<i>Può essere applicata anche a strutture non regolari</i>

BIBLIOGRAFIA

- [1] - Analisi critica dei metodi di analisi statica lineare e non lineare per la valutazione sismica di edifici esistenti in muratura - Serena Cattari, Alessio Cevasco, Sergio Lagomarsino, Salvatore Marino, Andrea Protelli
- [2] - Schematizzazione e modellazione degli edifici in muratura soggetti ad azioni sismiche, L'industria delle costruzioni, 25 (242), pp. 44-57- M.Dolce
- [3] - Metodi semplificati per l'analisi sismica non lineare di edifici in muratura - G. Magenes, D. Bolognini, C. Braggio - CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti
- [4] - Uso dei software di calcolo nella verifica sismica degli edifici in muratura v.3.0- Serena Cattari, Guido Magenes (a cura di) - ReLUIS, Dipartimento della Protezione Civile