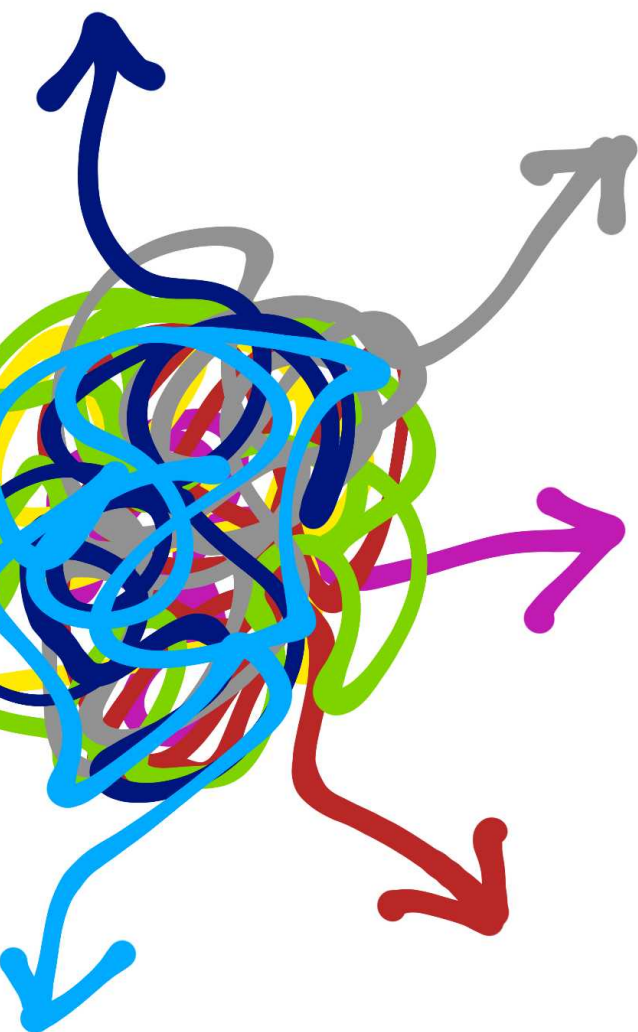


3 muri



Versione 11.5

Indice

Parte I	3Muri - Analisi strutture in muratura.	7
1	3Muri - Dalla ricerca più avanzata	7
2	Perché 3Muri: il metodo FME	8
	La duttilità strutturale	9
	Il comportamento scatolare	11
	Il comportamento della pareti al sisma	13
	Il modello teorico del macroelemento	14
	Solai rigidi e deformabili	15
	Strutture non regolari	17
	Modifica del telaio equivalente	19
	Strutture miste: elementi in c.a., acciaio, legno	20
	Analisi non lineare (push-over)	21
	Normative di Riferimento	24
	Europa	24
	Italia	25
	NTC - DM 14 gennaio 2008.....	25
	NTC 18 - D.M. 17 gennaio 2018.....	25
	N.T. - D.M. 16 gennaio 1996.....	26
	Svizzera	26
	Calcolo automatico azione sismica	27
Parte II	Le fasi di calcolo	28
1	Fase 1: input della struttura	30
	L'ambiente grafico	31
	Importazione diretta della geometria	32
	Tracciamento delle pareti	32
	Funzioni di editing avanzate	33
	Gli elementi strutturali	39
	Pannelli di muratura	39
	Strutture miste.....	42
	Elementi orizzontali lineari.....	42
	I piani ed i solai.....	43
	Solai deformabili.....	44
	Volte in laterizio.....	49
	Balconi	49
	Coperture	50
	I rinforzi strutturali	55
	Cerchiature.....	55
	Rinforzi in c.a. e acciaio.....	56
	Profilari	58
	Muratura armata.....	59
	Rinforzi con FRP.....	60
	Rinforzi con telai.....	61
	Materiali	63
	Muratura	65

Compilazione Parametri 1	66
Compilazione Parametri 2	67
Altri materiali.....	69
Librerie Materiali.....	70
L'analisi dei carichi	70
Tipi di carichi:.....	71
Le aperture (porte e finestre)	71
Vincoli esterni e fondazioni	72
Visualizzazione 2d - 3d	72
Simulazione di lesioni	73
La gestione dei dati su griglia	74
2 Fase 2: l'analisi	77
Analisi statica non lineare	79
Costruzione automatica del modello.....	79
Editing di mesh potenziato.....	80
Scelta delle condizioni sismiche.....	81
Analisi globale.....	87
Velocità di esecuzione.....	91
Verifiche locali statiche	91
Analisi Dinamica Modale	92
3 Fase 3: i risultati	92
Analisi statica non lineare	93
Presentazione sintetica.....	93
Presentazione di dettaglio.....	93
Curva sforzo deformazione.....	95
Risultati numerici.....	95
Evoluzione del danneggiamento.....	96
La presentazione 3d del modello danneggiato.....	98
Analisi pushover parete singola.....	98
Analisi fondazioni.....	100
Layout grafico elementi acciaio	101
Verifiche locali statiche	102
Analisi Dinamica Modale	102
Analisi flessione fuori piano	103
4 Relazione di calcolo	103
Parte III Le verifiche del metodo FME	107
1 Prove sperimentali	108
Parte IV Verifica dei meccanismi locali	109
1 3Muri ML	109
2 Verifica dei meccanismi locali mediante l'inserimento di tiranti	116
3 Verifica dei collegamenti catena-muro	117
4 Altre verifiche locali	117
Parte V Tavole grafiche degli interventi di adeguamento	118
Parte VI Axis VM	118

1	Analisi elementi finiti	118
Parte VII Calcolo delle fondazioni		122
1	Tipologia di fondazioni	122
2	Distribuzione delle pressioni sul terreno	123
3	Verifica della portanza e dei cedimenti	124
	Parametri fondazioni	124
	Generali	124
	Definizione strati di progetto.....	125
	Capacità portante.....	127
	Cedimenti.....	127
4	Analisi FEM delle fondazioni	130
Parte VIII ET Engineering Tools		132
1	ET CALCOLO	132
2	ET SVILUPPO	135
Parte IX Steel Connection		138
Parte X Confronto metodo FME con metodo POR e FEM		140
1	Il metodo POR	140
2	Il metodo FEM	141
3	Il metodo FME	142
4	Confronto metodo POR e FEM	149
5	Confronto metodo FME e FEM	152
Parte XI Modulo Classificazione Sismica		153
1	Introduzione	153
2	Normativa di riferimento	153
	Metodo convenzionale	155
	Valutazione classe PAM e IS-V	161
3	Cosa fa SismoTest	163
	Comandi principali	164
4	Dati del professionista	165
5	Elenco clienti	166
6	Le pratiche	168
7	Questionario	170
8	Risultati	174
Parte XII Bibliografia		175

1 3Muri - Analisi strutture in muratura.

3Muri è il programma per il calcolo sismico delle strutture in muratura secondo il DM 14-1-2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

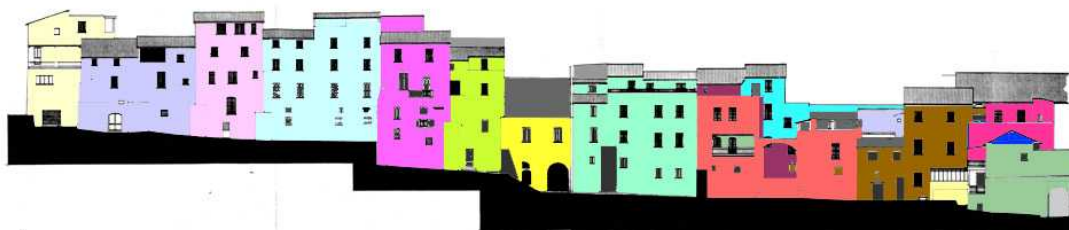
Molto semplicemente 3Muri esamina grandi e piccole strutture in muratura e miste, cioè con elementi in c.a., acciaio, legno come travi, pilastri, setti per il progetto di nuove strutture o per l'esame di edifici esistenti.

Punto di forza di 3Muri è il metodo di calcolo innovativo, (FME - Frame by Macro Element) che schematizza la struttura attraverso un telaio equivalente costituito da un particolare tipo di elemento, detto macroelemento.

Il macroelemento consente di cogliere al meglio il comportamento sismico delle strutture in muratura e fornire tutte le informazioni necessarie al progettista per un esame accurato della struttura stessa.

Dall'esame del reale comportamento della struttura è possibile quindi prevedere interventi di adeguamento sismico mediante il rinforzo delle murature esistenti, l'inserimento di nuovi elementi in muratura, muratura armata, FRP o elementi lineari in c.a., acciaio e legno.

Il programma dispone di un modulo grafico per l'introduzione della struttura con comandi intuitivi, di un solutore per la creazione del modello di calcolo e la relativa soluzione, di un post-processore per la presentazione immediata dei risultati e la creazione della relazione di calcolo.



1.1 3Muri - Dalla ricerca più avanzata

3Muri nasce dalla decisione di S.T.A. DATA, da sempre rivolta alle soluzioni innovative, di sviluppare un nuovo potente prodotto per l'analisi sismica delle strutture in muratura, i cui risultati siano fondati su solide basi teoriche.

Per questo motivo è stato scelto, come solutore, il motore di calcolo dotato della migliore capacità di simulazione del comportamento non lineare degli edifici in muratura, sviluppato in ambito di ricerca da un'equipe di specialisti guidata dal prof. Sergio Lagomarsino (Ordinario di Tecnica delle Costruzioni presso l'Università di Genova) e l'ing. Andrea Penna, l'ing. Alessandro Galasco, l'ing. Serena Cattari.

Dalla fruttuosa collaborazione tra S.T.A. DATA e gli autori del motore di calcolo è nato e continua a rinnovarsi 3muri, uno strumento efficiente, affidabile e sempre aggiornato per la pratica professionale.

1.2 Perché 3Muri: il metodo FME

Ogni programma di calcolo automatico è la concretizzazione di un modello matematico che interpreta la realtà fornendo una soluzione più o meno approssimata.

Per formulare un modello teorico in grado di cogliere tutti gli aspetti del comportamento strutturale delle murature è necessario considerare:

- un legame che descriva in modo corretto il comportamento dei materiali (muratura, calcestruzzo, acciaio) sottoposti ad azioni sismiche e che tenga conto delle specifiche modalità di rottura;
- un modello che schematizza l'intera struttura cogliendone le caratteristiche globali e l'interazione dei vari elementi (pareti e solai);
- le richieste imposte dalla Normativa.

Nella letteratura tecnica sono stati proposti diversi metodi per il calcolo sismico di strutture in muratura (metodo POR, metodo ad elementi finiti, metodo a telaio equivalente con macroelementi) sempre più raffinati e precisi.

3Muri adotta il metodo FME (Frame by Macro Elements), cioè quanto di più avanzato ci sia oggi nel settore del calcolo delle murature che si ispira sul metodo a telaio equivalente con macroelementi.



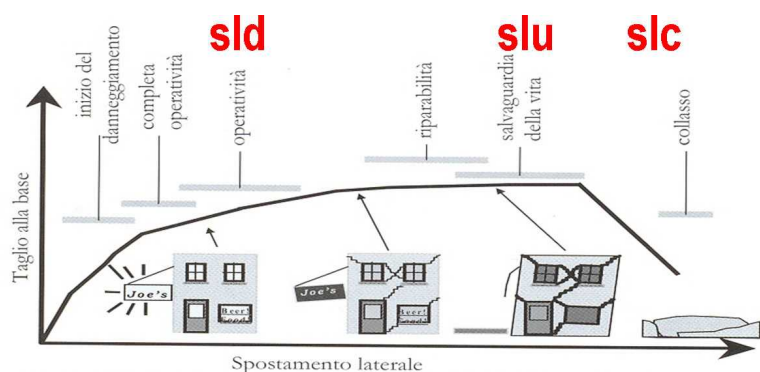
Il Metodo FME deriva dall'osservazione del reale comportamento di edifici danneggiati dal sisma e tiene in conto i differenti meccanismi di danno.

Per l'uso consapevole di un programma è necessario conoscere gli elementi costitutivi del programma stesso.

Le brevi note che seguono illustrano le problematiche sismiche ed il modello adottato da 3Muri evidenziando gli aspetti salienti.

1.2.1 La duttilità strutturale

Le nuove normative sismiche pongono in evidenza che la duttilità è il fattore più importante per la valutazione della capacità delle strutture di resistere alle azioni sismiche.



La duttilità è la capacità della struttura di deformarsi a carico quasi costante, superando la fase elastica e dissipando l'energia trasmessa dalle onde sismiche per attrito e attraverso fenomeni di isteresi.

Mentre per alcune tipologie strutturali (c.a., acciaio, legno) è ancora possibile effettuare il calcolo attraverso l'analisi elastica, tenendo conto attraverso il fattore q che esprime sinteticamente la capacità di duttilità della struttura, questo metodo è difficilmente applicabile per le murature.

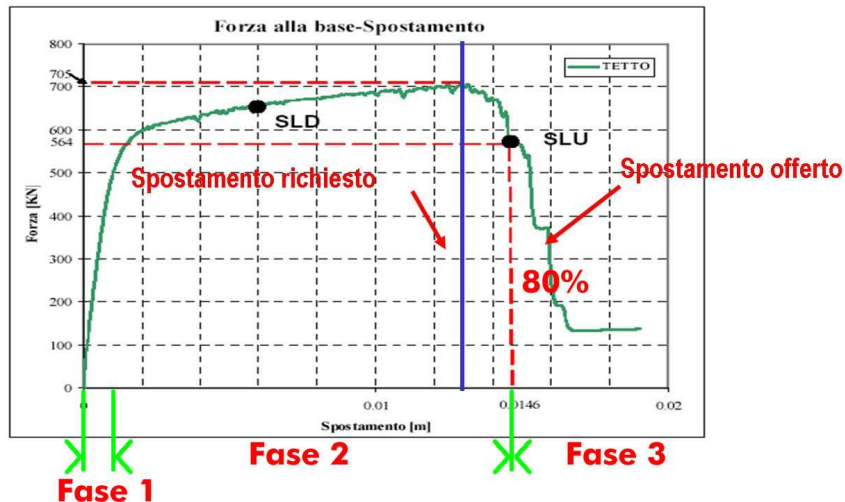
O meglio, il metodo q è applicabile, ma con criteri molto prudenziali; si ottengono in questo modo valori elevati per le azioni sismiche e quindi strutture sovradimensionate.

Per questo la ricerca teorica e sperimentale ha elaborato analisi che consentono di valutare l'effettivo comportamento delle strutture al superamento della fase elastica.

La conseguenza è la scelta della duttilità come parametro di giudizio.

Duttilità significa spostamento: la duttilità è infatti definita come du/de , cioè il rapporto tra il massimo spostamento della struttura prima del collasso e lo spostamento al limite elastico ed è quindi necessario valutare entrambi i valori.

Il risultato dell'analisi di 3Muri è quindi un diagramma di questo genere:



Curva forza alla base - spostamento del nodo di controllo

La curva indica il rapporto tra la forza sismica alla base e lo spostamento di un nodo particolare, detto nodo di controllo, in genere posizionato in sommità della struttura.

La curva riporta il comportamento della struttura al crescere dei carichi che si può suddividere in tre fasi:

Fase 1: elastica. Il comportamento iniziale è pressoché elastico e gli spostamenti sono proporzionali alle forze

Fase 2: progressivo deterioramento. A causa del superamento della fase elastica dei singoli elementi (maschi e fasce) di cui la struttura è costituita si evidenzia la progressiva riduzione della crescita della forza, sino al picco massimo di resistenza. Segue quindi la discesa in quanto si propagano le rotture degli elementi.

Fase 3 collasso. Al superamento di un limite convenzionale (80% del valore del picco massimo di resistenza) si considera la struttura collassata, quindi si è raggiunto lo Stato Limite Ultimo, che per le NTC 08 coincide con SLV, cioè lo stato limite di Salvaguardia della Vita.

Si individua in questo modo lo Spostamento Offerto, cioè il massimo spostamento che la struttura è in grado di raggiungere prima del collasso.

Tale valore è confrontato con lo Spostamento Richiesto, cioè lo spostamento imposto dalla normativa, in funzione del sito e delle caratteristiche della struttura (Vita Nominale e Classe d'Uso). Lo Spostamento Richiesto è calcolato in modo automatico dal programma.

La verifica della struttura si ottiene se:

Spostamento Offerto > Spostamento Richiesto

La stessa logica si applica per il calcolo dello Stato Limite di Danno e di Operatività.

Verifica globale della struttura

Se la disuguaglianza è vera, la struttura è globalmente verificata, e non è necessario procedere ad ulteriori analisi, anche con la presenza di elementi diversi dalla muratura (c.a., acciaio, legno).

La verifica è globale in quanto per ogni elemento presente è valutato il comportamento oltre la fase elastica, e se ne prende in conto il suo contributo tenendo conto della fase plastica e di collasso. Ciò che conta è che la struttura fornisca nel suo insieme uno Spostamento maggiore dello Spostamento Richiesto.

Se invece non si raggiunge lo Spostamento Richiesto 3Muri fornisce le informazioni circa le zone critiche in cui sarà necessario intervenire per migliorare il comportamento della struttura.

1.2.2 Il comportamento scatolare

Le strutture in muratura hanno dimostrato di resistere bene al terremoto, ma per questo è necessario che si verifichino alcune ipotesi fondamentali che saranno elencate in seguito.

Il software deve quindi prendere in conto queste caratteristiche al fine di realizzare un modello il più possibile vicino alla realtà.

Comportamento scatolare

Le pareti sono l'elemento fondamentale e, per la particolarità della muratura, manifestano un buon comportamento nel loro piano mentre è trascurabile il comportamento fuori dal piano.

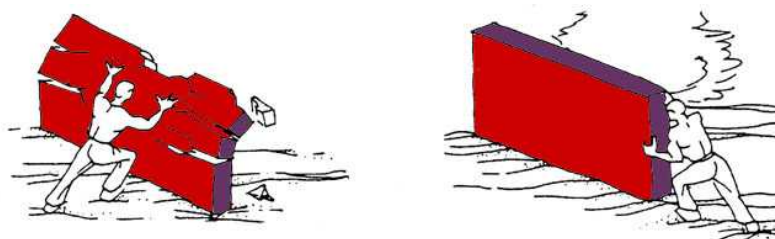


figure da Toulaitos, 1996

Al fine di ottenere adeguata resistenza globale, questa caratteristica necessita di collegamenti tra pareti e tra pareti e solai. Si realizza in questo modo il comportamento scatolare, in grado di offrire una resistenza maggiore della somma dei singoli elementi.

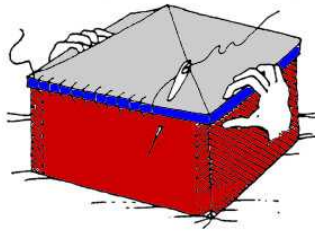
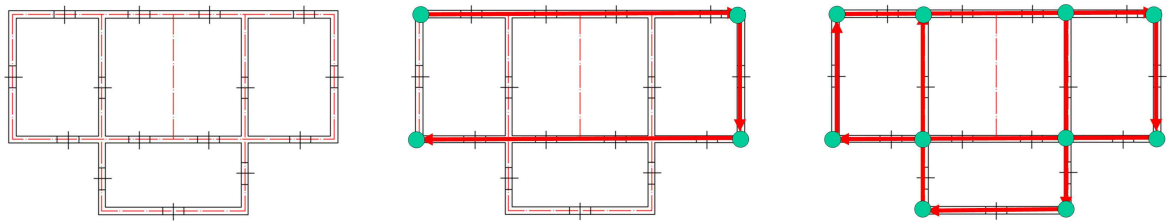


figure da Toulaiatos, 1996

Schematizzazione con 3Muri

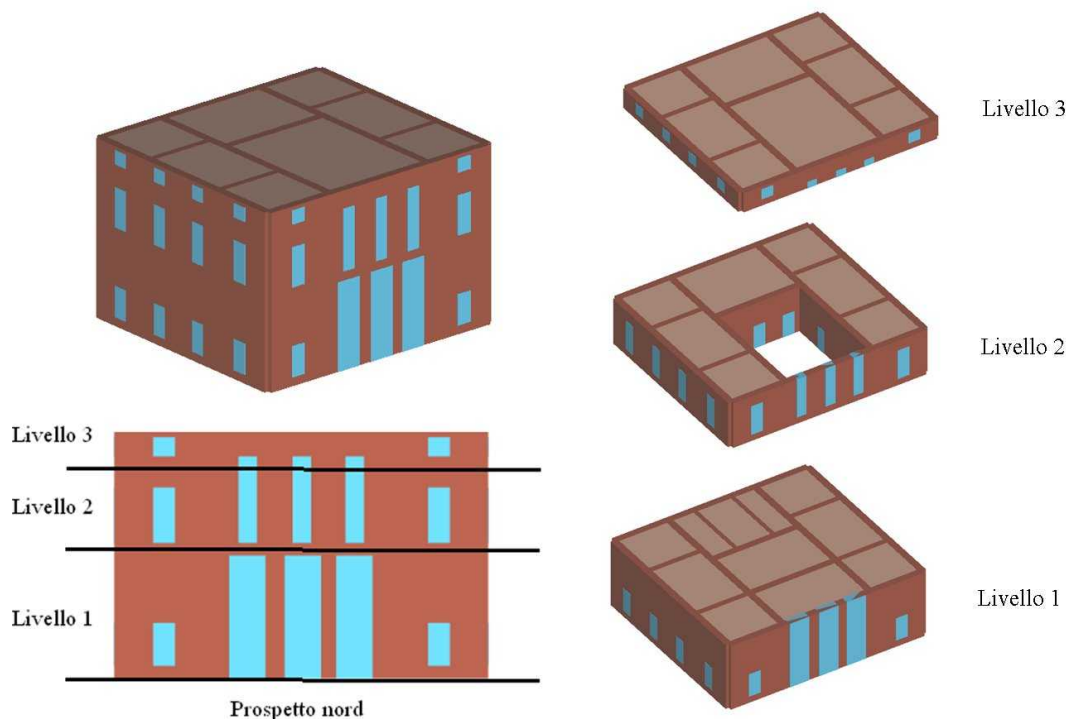
3Muri crea la struttura attraverso la definizione delle pareti riprese dalle piante.



La costruzione del modello avviene individuando le pareti che si ritengono significative.

Questa fase richiede attenzione da parte del Progettista in quanto è necessario individuare gli elementi che sono realmente efficaci al fine della resistenza globale della struttura.

Il modello che si ottiene è tridimensionale:



Modellazione per livelli

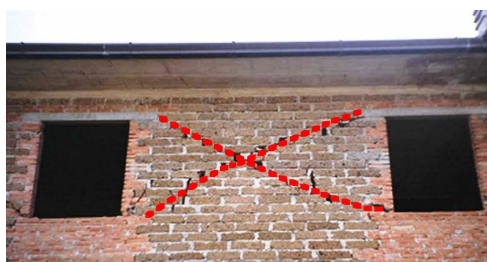
1.2.3 Il comportamento della pareti al sisma

L'osservazione delle pareti a seguito di eventi sismici ha permesso di classificare comportamenti che si ripetono con costanza.

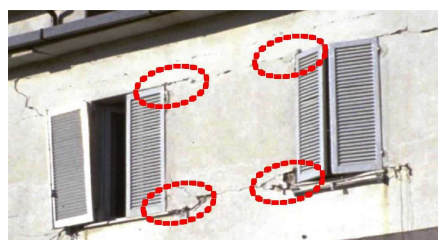
Si possono individuare tre tipologie di rotture che variano in funzione della geometria, delle caratteristiche dei materiali, delle condizioni di vincolo:

- rottura per taglio;
- rottura per pressoflessione e schiacciamento negli spigoli;
- rottura per scorrimento.

Inoltre le rotture avvengono in zone ben definite, cioè su porzioni di muratura delimitate dalle aperture.



Meccanismo di rottura per taglio



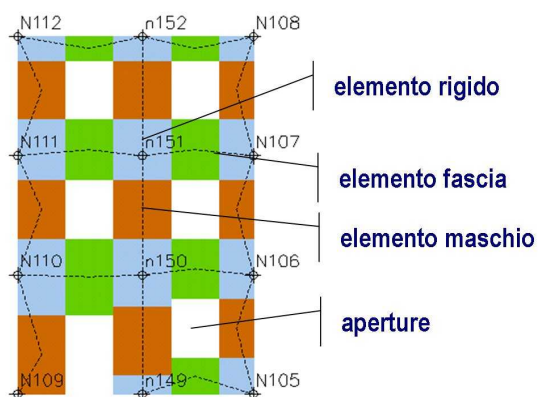
Meccanismo di rottura per pressoflessione e schiacciamento negli spigoli

Da questa osservazione scaturisce l'ipotesi che il comportamento delle pareti è rappresentabile con "macroelementi", cioè da porzioni di muratura.

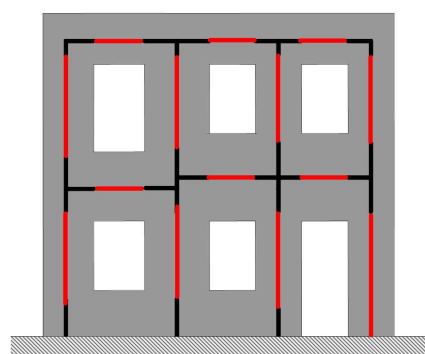
Le pareti si possono suddividere in componenti elementari: maschi, fasce ed elementi rigidi. In particolare gli elementi "maschio" sono disposti a fianco delle aperture, gli elementi "fascia" sono disposti sopra e sotto le aperture. La muratura restante che non confina con aperture e che risulta quindi contenuta, si può considerare infinitamente rigida rispetto agli altri elementi e viene modellata con elementi di rigidità infinita (tratti neri).

La ricerca teorica e sperimentale ha confermato che il comportamento di maschi e fasce, pur coinvolgendo elementi di superficie, può essere reso equivalente ad un elemento lineare.

Collegando quindi questi elementi si ottiene lo schema a telaio, detto appunto telaio equivalente.



Mesh che rappresenta la suddivisione in "macroelementi"



Individuazione del telaio "equivalente"

Il telaio equivalente consente di ben rappresentare il comportamento delle strutture in muratura; inoltre semplifica l'analisi, in quanto riduce i gradi di libertà rispetto ad altri schemi, come per esempio gli elementi finiti di superficie velocizzando i tempi di calcolo.

3Muri crea automaticamente la "mesh", cioè la divisione in maschi, fasce ed elementi rigidi, anche per pareti complesse ed esegue l'analisi non lineare al fine di determinare lo spostamento massimo.

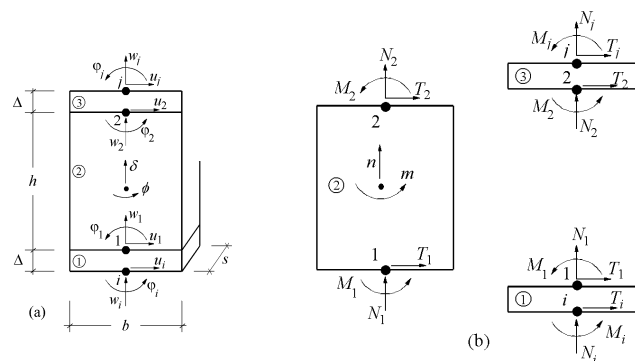
1.2.4 Il modello teorico del macroelemento

La riduzione di elementi superficiali (maschi e fasce) in elementi lineari, ha richiesto attente analisi e approfonditi studi teorici.

Si riporta una sintesi del modello che risulta alla base del metodo FME. Si tratta di un particolare tipo di elemento finito a comportamento non lineare, cosiddetto a "sandwich".

Si consideri un pannello di larghezza b e spessore s costituito di tre parti: la deformabilità assiale è concentrata nei due elementi di estremità e e f di spessore infinitesimo D , infinitamente rigidi ad azioni taglianti, e la deformabilità tangenziale è situata nel corpo centrale, di altezza h che, viceversa, è indeformabile assialmente e flessionalmente.

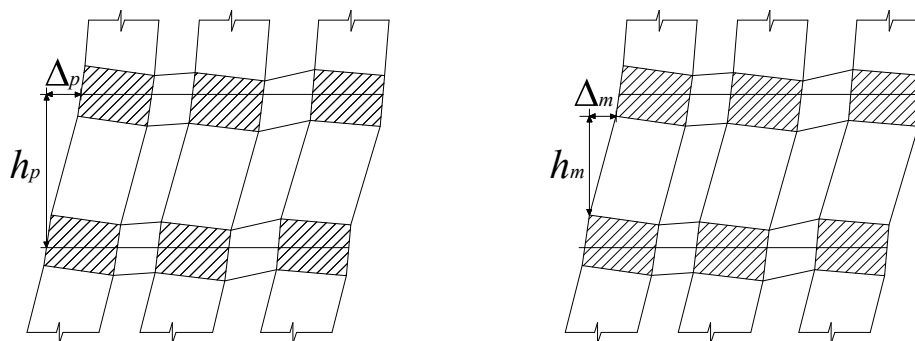
Il modello cinematico completo per il macroelemento contempla quindi i tre gradi di libertà dei nodi i e j e quelli dei nodi di interfaccia.



Il legame precedentemente descritto viene completato dall'inserimento di un meccanismo di collasso: coerentemente con le diverse normative sono definite deformazioni massime (drift) accettabili per il pannello, dovuti ai meccanismi di taglio e pressoflessione.

Se questi valori vengono superati, il pannello non è più considerato in grado di sopportare azioni orizzontali e quindi viene ridotto o annullata la sua capacità resistente.

L'elemento è sostituito da una biella, in grado di trasmettere ancora forze normali, ma senza alcuna resistenza per le azioni sismiche.



La struttura portante è modellata come assemblaggio di pareti verticali ed orizzontamenti deformabili: ogni parete è schematizzata attraverso un modello a telaio, come previsto dalla Norma, individuando maschi murari verticali e travi in muratura (architravi o fasce di piano) collegati da porzioni considerate rigide.

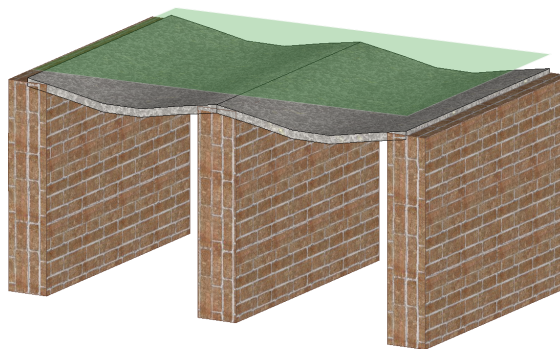
Per ulteriori informazioni vedi la bibliografia allegata.

1.2.5 Solai rigidi e deformabili

Come già evidenziato, il modello 3D della struttura è costituito da pareti e solai.

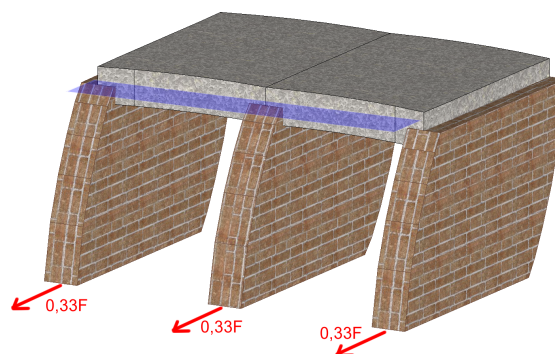
Il compito dei solai è duplice in quanto trasmettono sia i carichi verticali che le sollecitazioni orizzontali sismiche alle varie pareti.

Per quanto riguarda i carichi verticali si ottiene il seguente comportamento, che ai fini sismici non è di interesse e quindi trascurato da 3Muri..

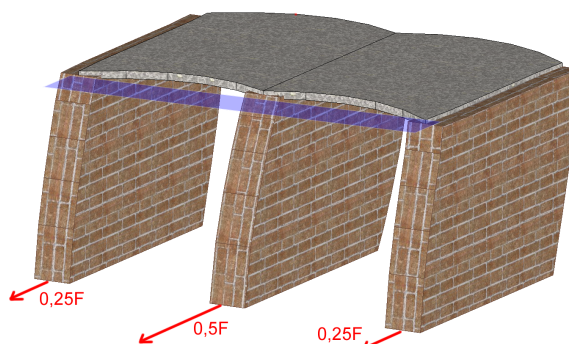


Deformazione del solaio per carico verticale

3Muri prende in conto la rigidità nel piano dei solai definiti come diaframmi, interessati dalle forze orizzontali, come quelle sismiche.



Comportamento solaio rigido



Comportamento solaio flessibile

La rigidezza nel piano del solaio induce un diverso comportamento alla struttura nel suo insieme.

Nel caso di solaio rigido, il setto centrale, pur interessato da un carico orizzontale doppio rispetto ai setti laterali, riceve una quota pari a circa 1/3 del carico totale orizzontale e le azioni si distribuiscono uniformemente su tutti i setti.

Nel caso invece di solaio flessibile, il setto centrale riceve una componente pari al 50% del carico totale sismico, doppio quindi rispetto al carico dei setti laterali; è evidente quindi l'influenza di questo componente strutturale.

Questa caratteristica risulta ancora più evidente superata la fase elastica, evitando che il cedimento della parete centrale determini il cedimento dell'intera struttura. Nel caso di solaio rigido le pareti laterali sono invece chiamate a collaborare anche nel caso di cedimento localizzato.

Per questa ragione spesso si riporta nei manuali tecnici la richiesta di solai infinitamente rigidi nel loro piano e ben collegati alle murature.

Questo è in genere vero, ma non sempre è necessario, soprattutto se per realizzare tale condizione si deve intervenire sulle strutture esistenti.

Infatti, in caso di interventi di recupero o di adeguamento sismico, la sostituzione di solai in legno o simili con solai in c.a. comporta l'aumento della massa con incremento delle azioni sismiche. Inoltre le operazioni di smontaggio e getto delle nuove strutture può essere di difficile esecuzione.

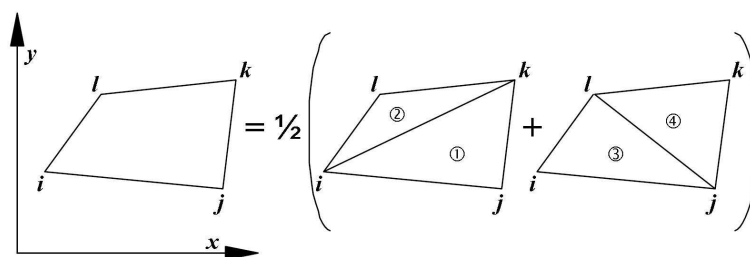
Il solaio infinitamente rigido non deve quindi essere necessariamente prescritto, anche se risulta utile; ciò che è invece necessario è valutare correttamente il comportamento della struttura tenendo conto dell'effettiva rigidità dei solai.

Per tener conto di tutte le esigenze, 3Muri è proposto in tre versioni: Piccole Strutture, Smart e Professional.

La versione 3Muri Professional e la versione Piccole Strutture differiscono solo per la dimensione massima dell'edificio.

Entrambi le versioni considerano i solai con elementi finiti superficiali con comportamento membranale, in grado di trasmettere sforzi nel piano, assegnando i parametri di rigidezza ed esaminando le tipologie più ricorrenti, comprese le volte.

Inoltre i solai presentano comportamento anisotropo, per tenere conto delle diverse rigidezze nelle due direzioni principali.



Schema degli elementi di solaio con comportamento membranale anisotropo.

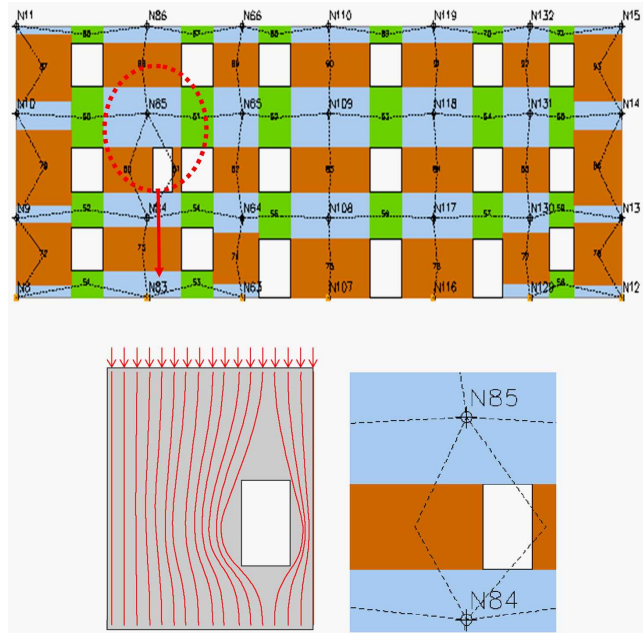
Inoltre la presenza di cordoli sulle murature, influenza il comportamento delle pareti stesse attraverso le fasce.

La versione 3Muri Smart prevede invece solai rigidi nel piano; questa ipotesi è accettabile nel caso di strutture nuove o in cui solai sono comunque dotati di rigidezza tale da poterla considerare infinita.

1.2.6 Strutture non regolari

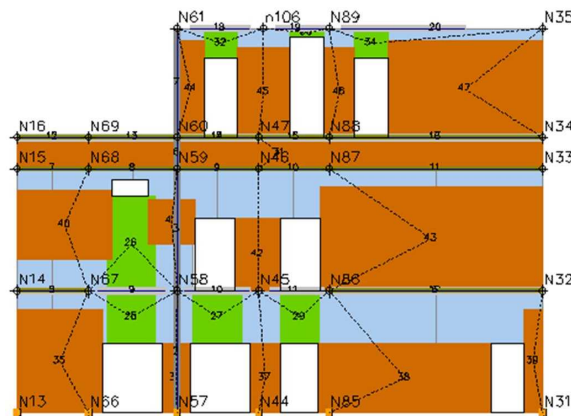
Nel caso di strutture non regolari, cioè in cui sono presenti piani non completi e sfalsati, le aperture non si ripetono con regolarità, i materiali non sono omogenei, le fondazioni sono a quote diverse, sono presenti strutture in c.a, acciaio, legno, ecc.,

3Muri è in grado di costruire comunque un telaio in grado di cogliere gli aspetti ingegneristici del problema.

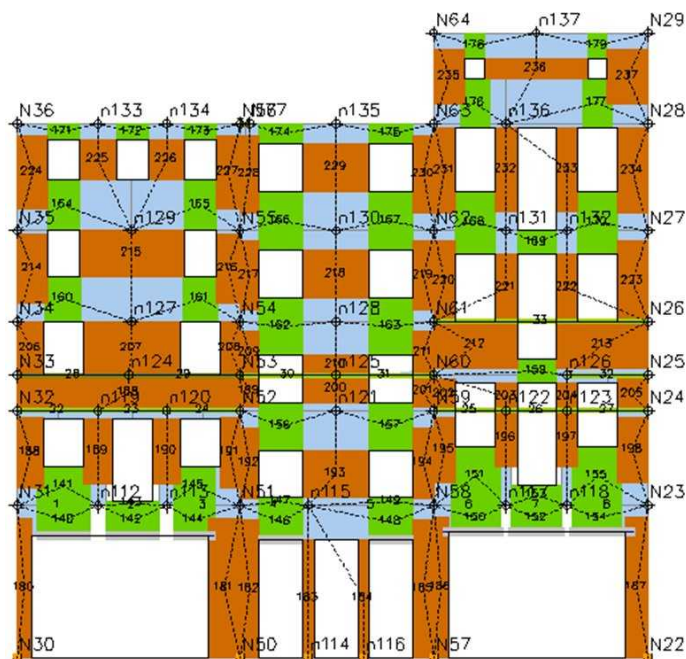


Vista in dettaglio di un particolare della parete schematizzata con modello a telaio equivalente

Anche in casi complessi il meshatore è in grado di modellare la struttura tenendo conto delle irregolarità



Creazione automatica del telaio equivalente

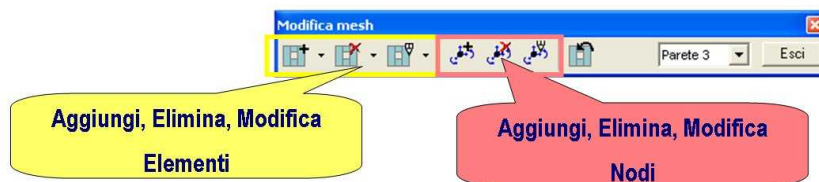


Creazione automatica del telaio equivalente per una parete complessa

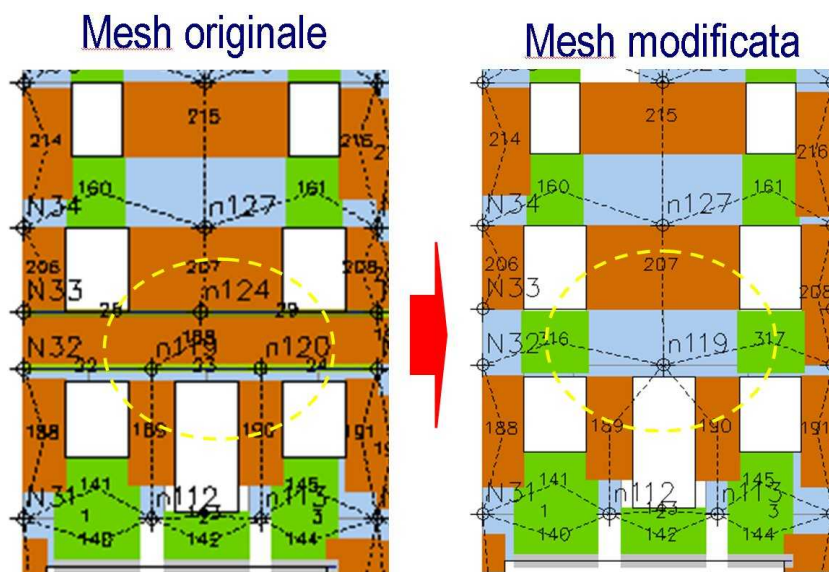
1.2.7 Modifica del telaio equivalente

In rari può essere necessario un intervento manuale per modificare quanto è stato proposto in automatico.

Anche in questi caso sono disponibili potenti funzionalità che consentono tale operazione.



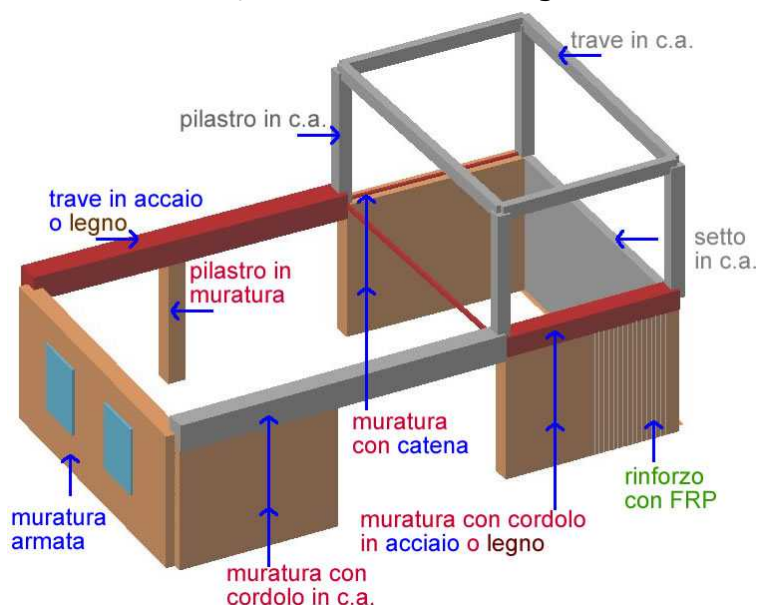
Opzioni per la modifica manuale del telaio equivalente



Esempio di modifica manuale di telaio equivalente

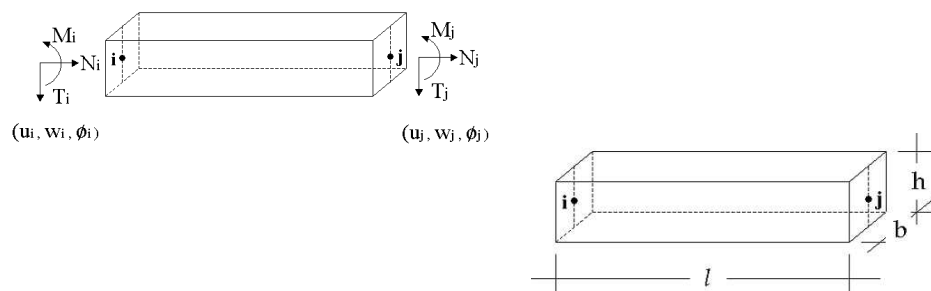
1.2.8 Strutture miste: elementi in c.a., acciaio, legno

3Muri consente di esaminare strutture in muratura con la presenza di ulteriori tipologie di elementi resistenti, come illustrato in figura.



3Muri esamina la non linearità della muratura con quella di altri elementi strutturali (pilastri, travi, catene, setti) realizzati in materiali differenti come c.a., acciaio, legno.

L'elemento trave non lineare in calcestruzzo armato è un elemento a sei gradi di libertà con resistenza limitata e comportamento elastico-perfettamente plastico.



Nella modellazione è possibile tenere conto di disomogeneità o discontinuità significative nello spessore, nell'altezza e nel materiale degli elementi murari.

Per ciascun elemento il comportamento elastico lineare è determinato direttamente a partire dal calcolo dei contributi di rigidezza a taglio e flessionale, computabili sulla base delle proprietà meccaniche e geometriche (modulo elastico di Young E , modulo a taglio G e geometria della trave): nel calcolo di tali fattori è fatto riferimento alla sola sezione in calcestruzzo, trascurando il contributo offerto dall'armatura e tenendo conto della riduzione di rigidezza dovuta alla fessurazione.

I differenti contributi sono opportunamente assemblati nella matrice di rigidezza elastica del singolo elemento.

I limiti di resistenza, relativi ai meccanismi di rottura considerati, coincidono con il valore ultimo, poiché vige l'ipotesi di comportamento elastico-perfettamente plastico, senza, dunque, fenomeni di incrudimento.

1.2.9 Analisi non lineare (push-over)

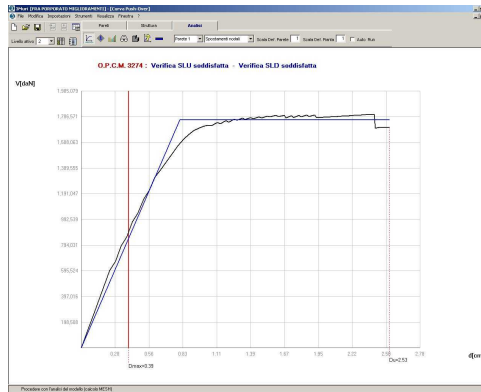
3Muri studia il comportamento "globale" della struttura mediante l'analisi non lineare ed il controllo degli spostamenti, superando la verifica puntuale.

Il progettista dispone di uno strumento che gli consente di indagare a fondo il comportamento strutturale, individuando gli aspetti più critici.

Seguendo le indicazioni della Normativa e della bibliografia più aggiornata, la risposta strutturale è descritta in termini di spostamenti piuttosto che di forze, tenuto conto della maggiore sensibilità del danneggiamento agli spostamenti imposti.

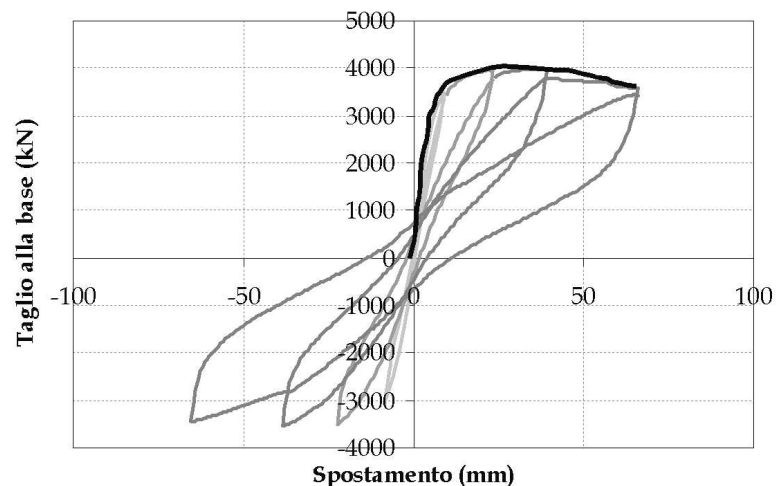
L'analisi statica non lineare (pushover) caratterizza il sistema sismico resistente tramite curve di capacità.

Sono analisi "statiche" in quanto la forzante esterna è applicata staticamente alla struttura e "non lineari" a causa del modello comportamentale assunto per gli elementi resistenti della struttura che passano dalla fase elastica alla fase plastica ed infine alla rottura.



Il grafico illustra la curva sforzo – deformazione, riportando secondo l’asse X gli spostamenti di un punto significativo della struttura (nodo di controllo) e secondo l’asse Y le forze corrispondenti. La curva rappresenta quindi come si comporta globalmente la struttura all’aumento del carico evidenziandone il comportamento non lineare.

Tali curve intendono rappresentare l’involuppo dei cicli d’isteresi prodotti durante la realizzazione del sisma e possono essere considerate come un indicatore del comportamento post-elastico della struttura. L’analisi push-over nasce come semplificazione dell’analisi dinamica non lineare, ottenendo lo stesso risultato, ma con minor fatica e maggiore velocità di calcolo.



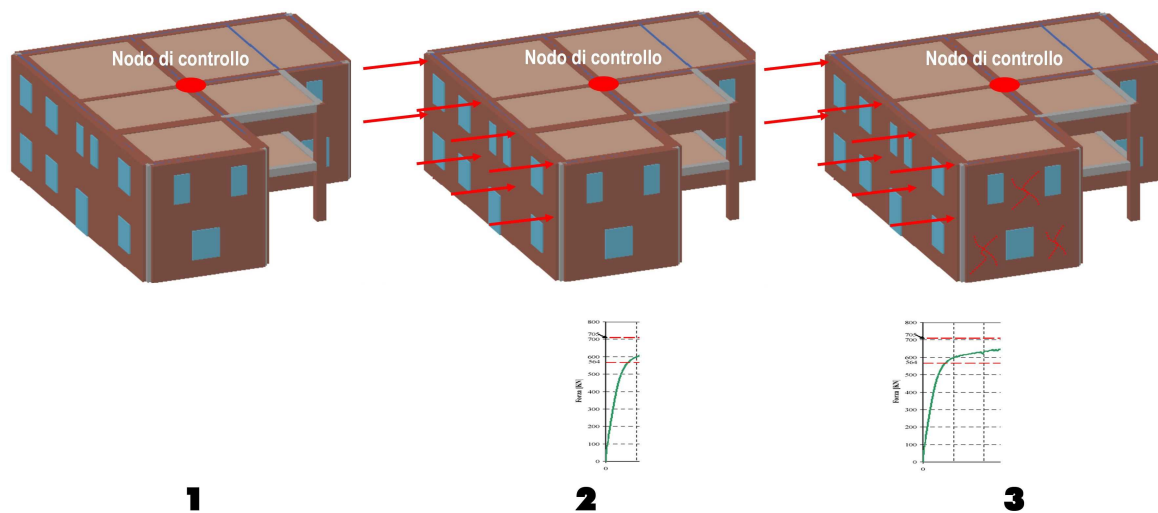
L’analisi “push-over” si può considerare come l’involuppo dei punti massimi delle curve evidenziate dall’analisi dinamica non lineare.

L’approccio FME (Frame by Macro Element) consente di limitare il numero di gradi di libertà e quindi di rappresentare la risposta di edifici in muratura complessi con un onere computazionale relativamente modesto.

I tempi di calcolo risultano ridotti potendo operare rapidamente e simulare diverse ipotesi e soluzioni.

L’analisi statica non lineare (push-over) consente di analizzare la struttura in tutte le fasi comprese tra la fase iniziale di applicazione del carico sismico sino al completo collasso della struttura.

Le figure seguenti illustrano le diverse fasi in cui si sviluppa il calcolo.



1 **2** **3**
Applicazione progressiva delle forze alla struttura

Fase 1

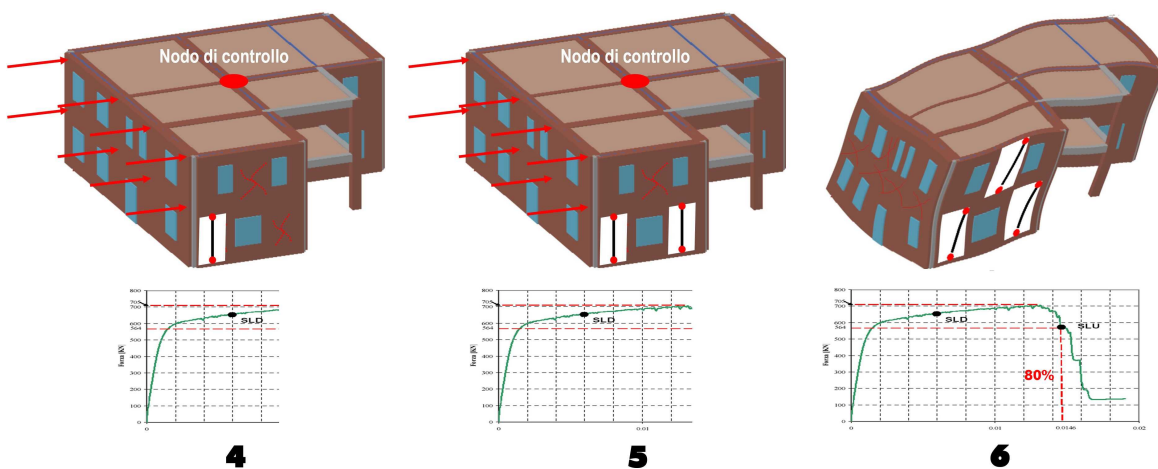
Nella fase 1 la struttura è scarica ed è necessario individuare il nodo di controllo. Si tratta di un punto di solito situato all'ultimo piano che serve come punto di riferimento per la costruzione della curva forza-deformazione. 3Muri automaticamente realizza la media dei valori di spostamento del piano

Fase 2

In questa fase si applicano le forze che saranno incrementate passo passo.

Fase 3

Al crescere delle forze alcuni elementi subiranno un degrado, passando dalla fase elastica alla fase plastica, cioè al limite del comportamento elastico.



4 **5** **6**
Risultato progressivo dell'analisi non lineare (pushover) fino al collasso degli elementi

Fase 4

Aumentando ancora le forze ci sarà ulteriore passaggio dalla fase plastica alla rottura vera e propria.

In questo caso l'elemento non si considera più attivo per contrastare i carichi sismici orizzontali, mentre è ancora attivo per i carichi verticali.

In pratica viene inserita una biella verticale.

Fase 5

Gli elementi collassati si propagano man mano che gli elementi maschi e fasce raggiungono lo stato limite.

Fase 6

Al termine la struttura risulta collassata quando nella curva forza alla base - spostamento si è raggiunto un valore pari a 80% del valore massimo raggiunto.

Tale criterio varia da normativa a normativa.

Carichi applicati

Sono applicate due tipologie di carichi orizzontali: carichi gravitazionali mantenuti costanti ed un sistema di forze orizzontali che, mantenendo invariati i rapporti relativi fra le forze stesse, vengano tutte scalate in modo da far crescere monotonamente lo spostamento orizzontale di un punto di controllo sulla struttura, fino al collasso della struttura.

Per le forze orizzontali sono previste due condizioni: carichi proporzionali all'altezza dei piani e proporzionali al primo modo di vibrare.

L'algoritmo di calcolo è ottimizzato per ottenere rapidamente l'analisi anche per strutture di notevoli dimensioni.

1.2.10 Normative di Riferimento

Il programma 3Muri è distribuito in diverse lingue (italiano, inglese, tedesco) e con differenti normative.

La versione "Standard" del programma contiene al suo interno alcuni moduli, gli altri sono disponibili su licenza.

1.2.10.1 Europa

La normativa sismica di riferimento è Eurocodice 8.

1.2.10.2 Italia

- Norme Tecniche per le Costruzioni 08 - D.M. 14 gennaio 2008
- Norme Tecniche per le Costruzioni 05 - D.M. 14 settembre 2005
- Ordinanza 3274 come modificato dall' O.P.C.M. 3431 - 3 maggio 2005

Le suddette normative prevedono al loro interno il calcolo dei parametri di vulnerabilità sismica secondo quanto prescritto dall'O.P.C.M. 3362 - 8 luglio 2004.

- Norme Tecniche per le Costruzioni in zona Sismica - D.M. 16 gennaio 1996

1.2.10.2.1 NTC - DM 14 gennaio 2008

Le prescrizioni per questa normativa mostrano le seguenti peculiarità:

Carico sismico: La definizione degli spettri mediante il carico sismico, non è più legata alla zonizzazione ma alle coordinate geografiche (latitudine, longitudine), secondo quanto prescritto dal "reticolo di riferimento" in base alle indicazioni riportate nell'Allegato A delle Norme Tecniche.

Stati Limite: gli stati limite esaminati (paragrafo 3.2.1 delle Norme Tecniche) sono:

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)
- Stato Limite di Danno (SLD)
- Stato Limite di Operatività (SLO)

1.2.10.2.2 NTC 18 - D.M. 17 gennaio 2018

Le novità apportate dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni sono di seguito elencate.

Carattere generale

- Più importanza alle verifiche in condizioni di incendio (2.2.6).
- Non è più possibile eseguire le verifiche alle tensioni ammissibili per le strutture in zona 4.
- Possibile riduzione dei sovraccarichi verticali uniformemente distribuiti (3.1.4.1).
- Sono fornite indicazioni specifiche per la modellazione della legge costitutiva del calcestruzzo confinato (4.1.2.1.2.1).
- Nelle verifiche a stato limite ultimo si aggiunge la verifica di duttilità (4.1.2.3, 7.3.6.1, 7.4.4.1.2, 7.4.4.5.2).

Progettazione per azioni sismiche

- Differenze nel metodo semplificato (7.0)

- Non applicabile più a tutte le strutture ricadenti in zona 4, ma applicabile solo se $ag \cdot S > 0,075g$
- Spettro di progetto non più costante.
- Distinzione nelle verifiche di elementi secondari e di elementi costruttivi non strutturali (7.2.3).
- Per gli elementi secondari si considerano condizioni sismiche di progetto allo SLC (7.2.3).
- Per strutture non dissipative per le verifiche allo SLV non è più necessario usare fattore di struttura unitario. Nelle NTC17 il fattore di struttura è considerato pari a $2/3q_{CDB}$ e comunque al massimo 1,5. Questo permette di applicare delle azioni sismiche di intensità ridotta rispetto alle NTC08.
- Periodo del modo di vibrare principale approssimato per l'analisi statica lineare equivalente calcolato in maniera differente.
- Analisi non lineari
 - Verifica di duttilità da applicare allo SLC

Costruzioni esistenti

- Diventano obbligatorie le verifiche a SLE per gli edifici in classe IV (8.3).
- Introduzione del rapporto Z_e (8.3): Il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile della struttura e l'azione sismica massima non deve essere sempre ≥ 1 , ma può anche essere minore a seconda del tipo di intervento da eseguire (8.4.2 e 8.4.3).

1.2.10.2.3 N.T. - D.M. 16 gennaio 1996

Secondo quanto riportato nella normativa, si rende necessaria la verifica di resistenza strutturale che equivale a controllare che la struttura sia in grado di sopportare le azioni sismiche previste dalla normativa.

Il programma calcola il valore del carico sismico per l'edificio modellato e lo confronta con il massimo carico sopportabile dall'edificio corrispondente al valore di picco della curva di capacità.

La verifica risulterà soddisfatta se:

F_h (carico sismico richiesto dalla norma) < F_u (carico ultimo dell'edificio)

1.2.10.3 Svizzera

Le normativa di riferimento sono:

- SIA 2018
- SIA 266
- SIA 261

- SIA 260

1.2.11 Calcolo automatico azione sismica

Inserite le caratteristiche della struttura con i relativi carichi distribuiti sui solai, il primo passo è l'analisi dei carichi con l'assegnazione alle pareti dei carichi di competenza.

Quindi 3Muri calcola le azioni sismiche sulla struttura, tramite l'applicazione di forze sui nodi del telaio equivalente.

Il calcolo delle forze sismiche è calcolato automaticamente utilizzando i parametri della normativa scelta.

In particolare per quanto riguarda le NTC 08 sono stati implementati delle funzioni per il calcolo dei parametri sismici in funzione della zona in cui si trova la struttura:

NT 08
Parametri di pericolosità sismica

Calcola

	SLV	SLD	SLO
a	0.548	0.284	0.231
F _g	2.76	2.59	2.58
T _c *	0.27	0.19	0.18
T _R	475	50	30

Classe suolo

A

	SLV	SLD	SLO
S _S	1.00	1.00	1.00
T _B	0.09	0.06	0.06
T _C	0.27	0.19	0.18
T _D	1.82	1.72	1.69

Categoria topografica

T1 S_T 1

OK Annulla ?

Calcolo dei parametri sismici

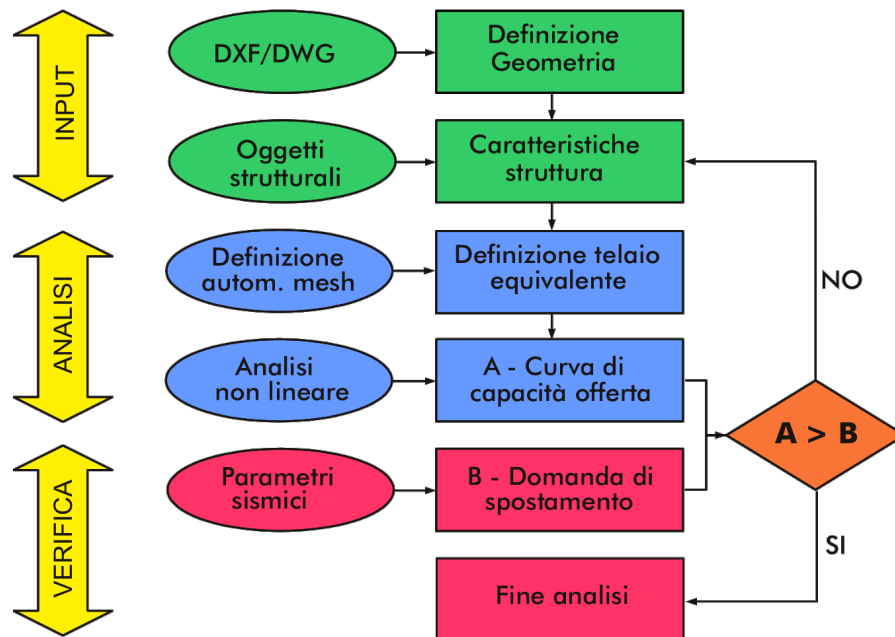
Definita la città, il programma propone automaticamente i valori di longitudine e latitudine del centro del comune, che potranno essere ancora modificati.

Stabilita la "Vita nominale" e la "Classe d'uso" sono presentati i parametri sismici a_g , F_0 , T_C^* e T_R per gli stati limite di Salvaguardia della vita, Danno e Operatività.

Tali valori saranno utilizzati per la verifica della struttura.

2 Le fasi di calcolo

Come riportato nello schema, le operazioni di introduzione dei dati e di controllo dei risultati si suddividono in tre fasi principali: Input, Analisi, Verifica.



Flusso generale dei dati

Definizione geometria

Le caratteristiche geometriche della struttura, cioè la disposizione in pianta delle pareti e le altezze dei piani costituiscono un supporto di base per l'inserimento degli "oggetti strutturali" trattati nella fase seguente.

I dati geometrici, principalmente segmenti, sono introdotti in modo grafico direttamente o lucidando un file in formato DXF o DWG.

Caratteristiche struttura

La struttura è costituita da "oggetti strutturali" che determinano gli elementi resistenti.

Gli oggetti previsti sono principalmente pannelli di muratura verticali con eventuali rinforzi (catene, cordoli, pilastri), solai per la ripartizione delle azioni orizzontali, elementi lineari (travi, pilastri) nelle varie tipologie di materiali (c.a., acciaio, legno).

Ogni oggetto è caratterizzato dal materiale e da ulteriori parametri geometrici (spessore, caratteristiche d'inerzia, proprietà resistenti).

Per le strutture in c.a. sono richiesti i parametri di armatura, in quanto esegue l'analisi non lineare anche di questi elementi.

Definizione telaio equivalente

A partire da geometria ed oggetti strutturali inseriti vengono ricavati i dati per l'analisi secondo il modello 3Muri, cioè il telaio equivalente.

Il risultato di questa analisi è la presentazione di una mesh che schematizza maschi, fasce, travi, tiranti e pilastri. Questi elementi possono ancora essere modificati manualmente per tener conto di situazioni particolari.

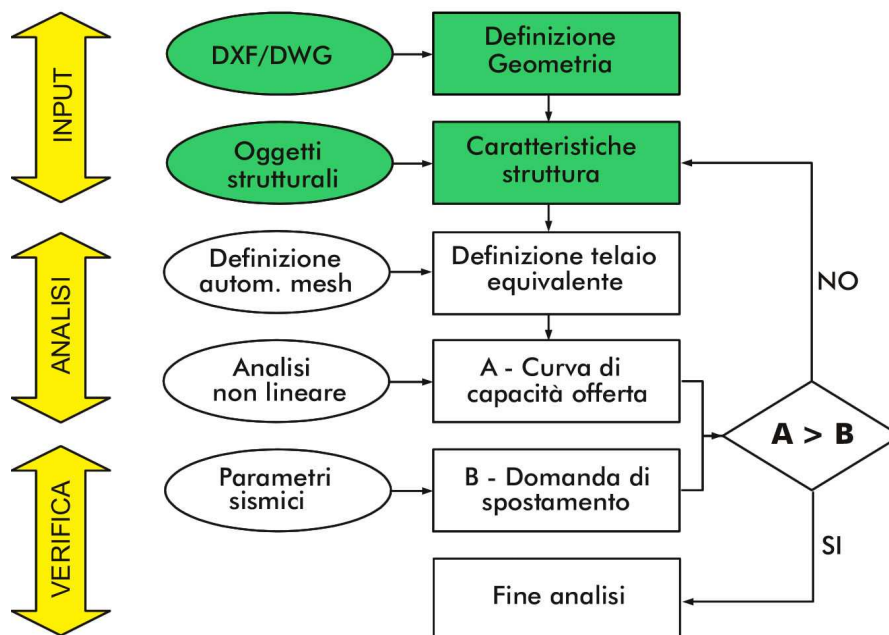
Analisi non lineare

Quest'analisi è condotta aumentando in modo monotono i carichi e ricavando lo spostamento orizzontale della struttura.

Superando un valore convenzionale di spostamento, calcolato automaticamente, si considera la struttura collassata e si può costruire la curva Forza orizzontale – Spostamento orizzontale, che rappresenta la Curva di capacità offerta, cioè il comportamento della struttura al variare dei carichi orizzontali.

Da notare che questa curva è indipendente dal terremoto, in quanto si tratta di una caratteristica intrinseca della struttura, funzione solo di geometria e caratteristiche di resistenza del materiale.

2.1 Fase 1: input della struttura



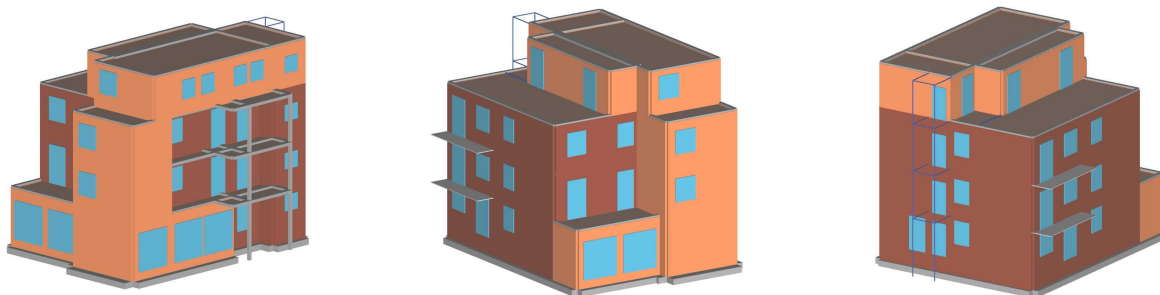
Flusso della prima fase: input della struttura

La costruzione del modello viene eseguita in modo interattivo, introducendo graficamente la struttura e controllando in ogni momento i dati ed i risultati.

La prima fase prevede l'input completamente grafico della struttura attraverso "oggetti strutturali": pannelli di muratura, travi e pilastri in c.a., acciaio, legno, muratura, catene, cordoli.

Sono calcolati in automatico parametri fondamentali per l'analisi "push-over" come la flessibilità dei solai prendendo in conto le diverse tipologie (solai in legno, in acciaio e laterizio, in c.a. semplici o incrociati, volte, ecc.).

Il modello viene completato con i carichi introdotti direttamente sui solai, i vincoli, le caratteristiche del terreno.



Viste 3D della modellazione in 3Muri di un edificio

2.1.1 L'ambiente grafico

L'ambiente grafico si presenta con una barra verticale sul lato sinistro dedicata ai comandi grafici e tre cartelle che rappresentano le fasi di input e di analisi, cioè la sequenza logica delle operazioni previste.



Barra per comandi grafic

Area dedicata all'introduzione della Geometria

Questa parte consente l'introduzione della piante con la suddivisione del modello in pareti



Comandi per la costruzione della geometria

Area dedicata all'introduzione degli Oggetti Strutturali

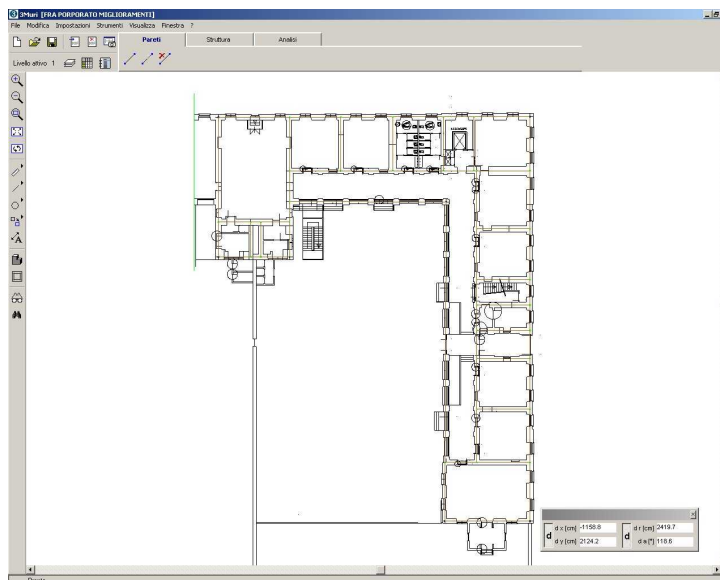
In questa parte si introducono le caratteristiche dei vari oggetti strutturali (pareti, travi, pilastri, aperture, balconi.)



Comandi per l'introduzione degli Oggetti Strutturali

2.1.2 Importazione diretta della geometria

Per velocizzare la costruzione del modello è prevista l'importazione del progetto architettonico o del rilievo della struttura esistente dell'edificio da file DXF o DWG da usare come sfondo da lucidare e operando direttamente sulla pianta dei vari livelli di solaio.



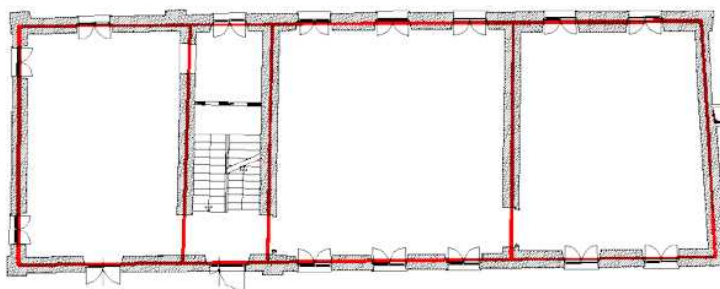
Rilievo edificio esistente

2.1.3 Tracciamento delle pareti

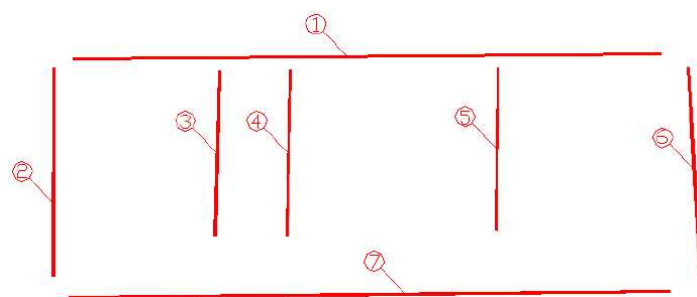
Partendo dai disegni architettonico o per introduzione diretta tramite i comandi Cad di cui dispone 3Muri, si tracciano le pareti, che rappresentano gli elementi resistenti verticali in muratura.

Attraverso questa operazione si individuano gli elementi resistenti verticali che, tramite il loro comportamento scatolare, sono in grado di contrastare le azioni sismiche.

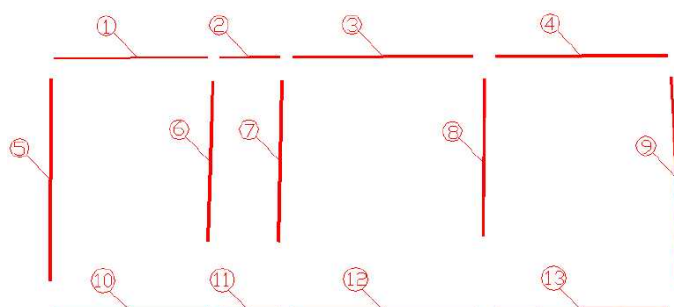
In seguito sarà possibile suddividere ogni parete in sottoelementi, differenziando quindi per ogni zona spessore, materiale ed altre proprietà.



Tracciamento delle pareti



Individuazione delle pareti



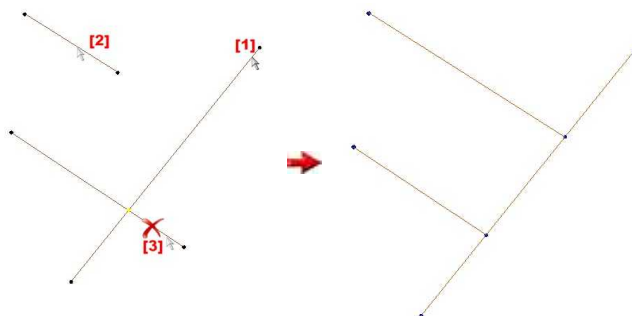
Ulteriore suddivisione per tener conto di tipologie diverse di muratura

2.1.4 Funzioni di editing avanzate

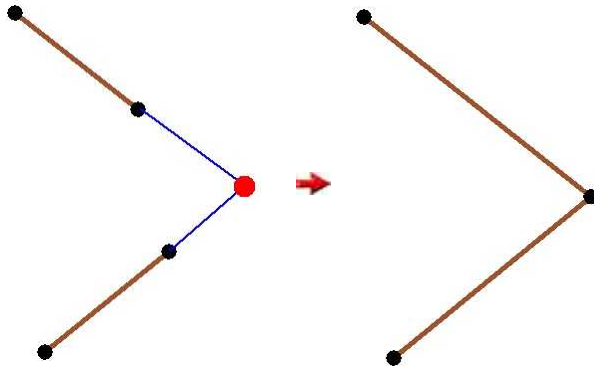
Rettifica pareti: Permette di rettificare le pareti precedentemente inserite.



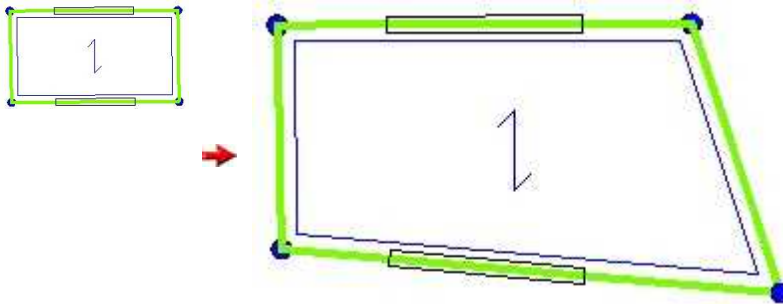
Estendi/Taglia parete: permette di allungare o accorciare una parete esistente.



Raccorda pareti: Classico comando cad per raccordare due pareti che non si incrociano.

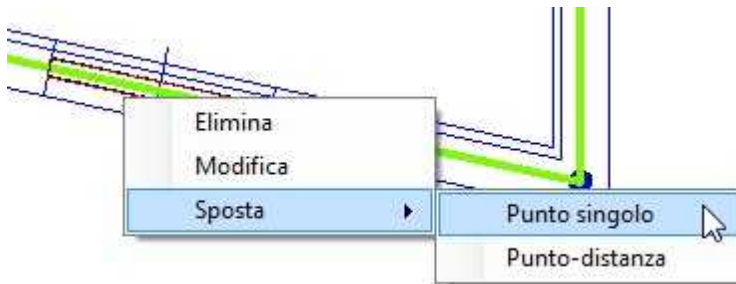


Stira: Questo comando permette di spostare un nodo estremo di parete.



Spostamento di porte e finestre

Selezionando con il tasto destro del mouse è possibile spostare un'apertura già inserita.



E' necessario definire il vettore spostamento cliccando in due punti, punto di partenza e punto di arrivo.

Nuove modalità di modifica dei solai



Orditura:

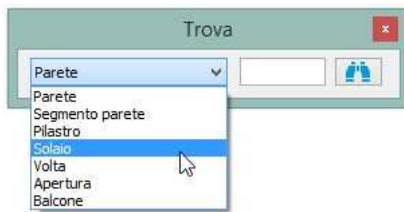
Selezionare una parete che delimita il solaio per ridefinire la direzione di orditura del solaio.

Modifica vertici:


Una volta inserito un solaio è possibile editare i vertici agganciandoli a nodi differenti.


Funzioni di ricerca degli oggetti strutturali

Il comando “Trova” che permette di trovare nell’area grafica una parete, un segmento di parete, un solaio, un pilastro, un balcone noto l’identificativo.



- Selezionare dal menù a tendina la tipologia di elemento che si desidera cercare.

- Premere  per avviare la ricerca.

Il risultato della ricerca viene mostrato disponendo l'elemento ricercato al centro del video, con il puntatore del mouse sopra e un apposito marcatore che lo evidenzia.. 

Funzionalità di Importazione di file DXF

Eliminare o spostare un DXF in modo agevole trascinandolo nell'area grafica, queste nuove funzioni sono direttamente disponibili premendo il tasto destro del mouse nell'area grafica.

Tabella elementi editabile

Richiamando la tabella mediante l'apposito pulsante, appare una finestra che permette di visualizzare le caratteristiche di tutto ciò che l'utente ha inserito attraverso l'interfaccia, nella fase di creazione del modello. La struttura ad albero sulla sinistra facilita l'operazione di navigazione all'interno delle tabelle presenti.

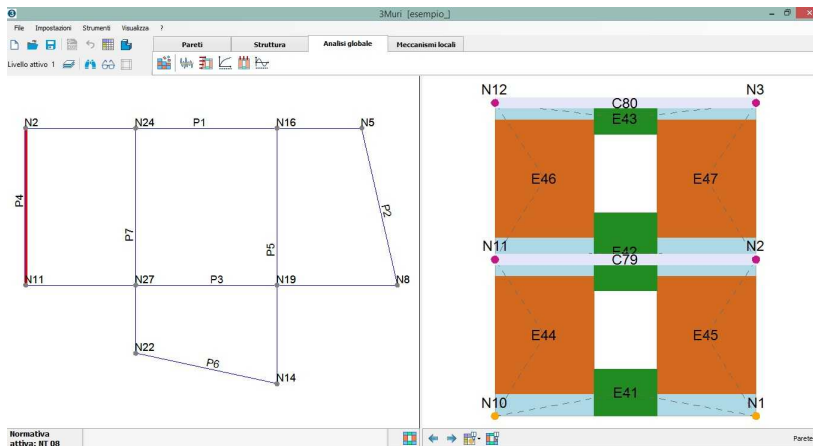
La caratteristica principale di questa tabella è la possibilità di essere editata.

Ogni modifica nella tabella comporta il cambiamento diretto delle proprietà del modello.

Nuova visualizzazione mesh del telaio equivalente

L'ambiente grafico viene separata in due aree distinte, a sinistra la pianta e a destra il prospetto di mesh della parete selezionata.

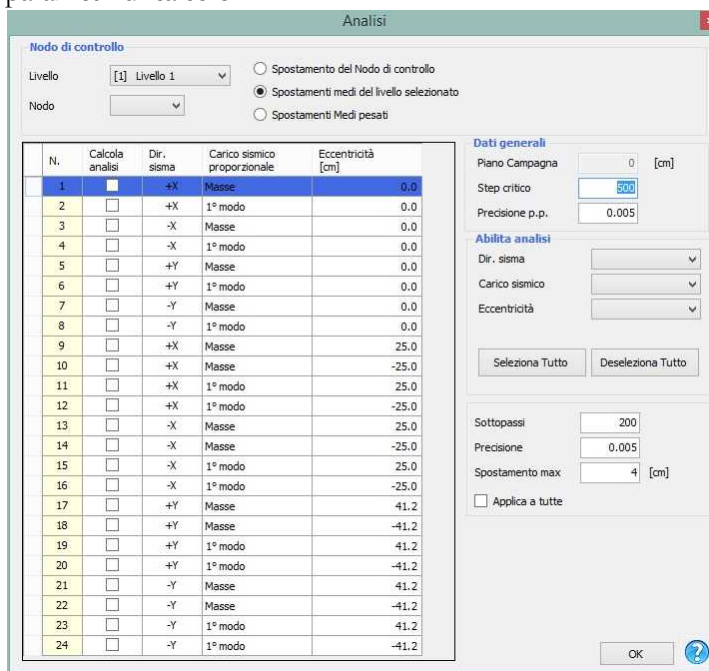
La selezione di una parete avviene con un semplice click sulla pianta.



Sia nell'ambiente della vista in pianta (sinistra) che il prospetto di mesh (destra) sono disponibili i comandi cad (zoom, pan, ecc...)

Gestione dei parametri di analisi

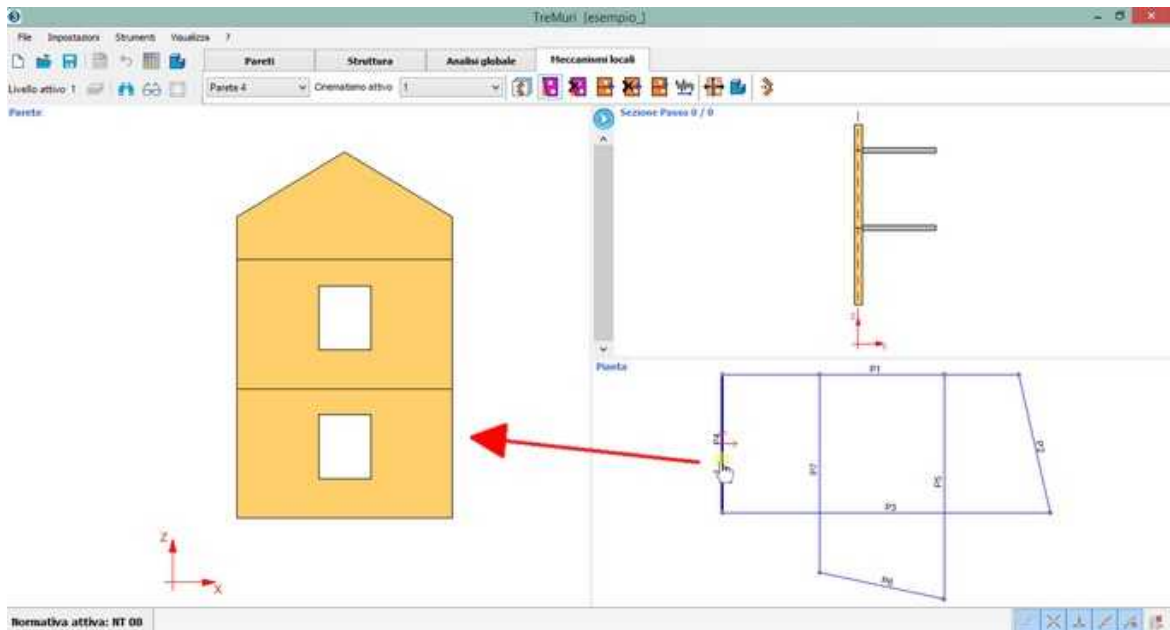
La finestra di calcolo, presenta in tabella i dati "essenziali" per descrivere le analisi, sulla destra i parametri di calcolo.



Maggiore interazione grafica nell'ambiente dei meccanismi locali

In alternativa all'utilizzo del menu a tendina, ora è possibile cliccare direttamente sulla pianta per caricare il prospetto della parete di interesse.

Gli ambienti cad della pianta e del prospetto sono stati ottimizzati per una più versatile gestione grafica della fase di input.



Compilazione proprietà travi in legno

Inserendo b e h vengono calcolati A , J , W in automatico.

Trave Acciaio / Legno

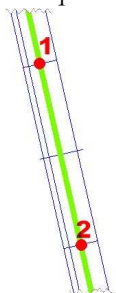
Legno Acciaio

b	20 [cm]
h	30 [cm]
Quota	300 [cm]
Area	600.00 [cm ²]
J	45'000.00 [cm ⁴]
W plastico	3'000.00 [cm ³]

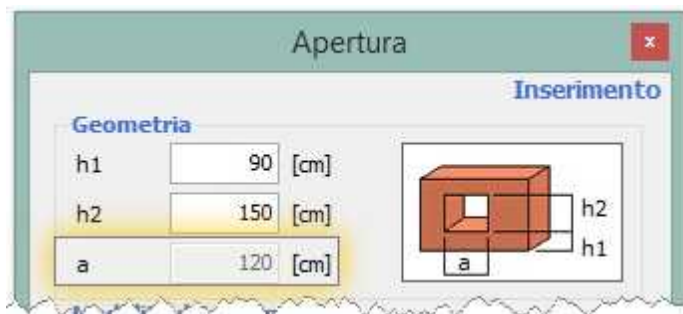
Scon. I Scon. J

Inserimento aperture per due punti

Con questa modalità di input non è necessario conoscere la larghezza dell'apertura.



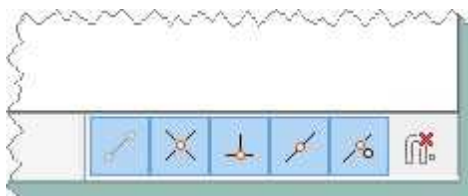
Sono necessari 2 click in corrispondenza dell'inizio [1] e della fine dell'apertura [2].
La larghezza non è richiesta ma calcolata automaticamente dalla distanza [1]-[2].



Utilizzo degli Snap

Gli snap sono gestibili in modo totalmente parametrico mediante la pulsantiera riportata in basso a destra.

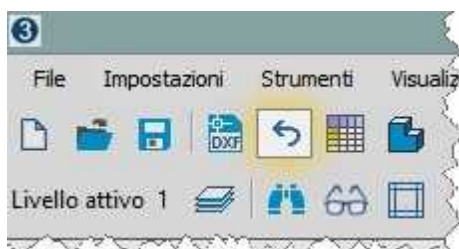
E' possibile accenderli o spegnerli in base alle necessità del momento.



Utilizzo di Pan e zoom

I nuovi comandi di zoom e pan sono direttamente disponibili nella gestione della "rotella del mouse"

Comando "Annulla"



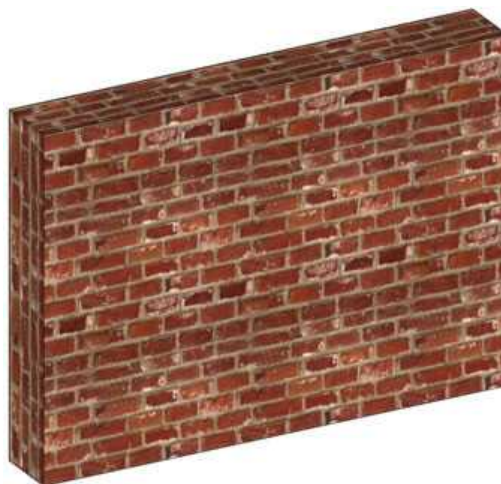
2.1.5 Gli elementi strutturali

Definite le pareti ed i livelli si possono inserire gli elementi strutturali resistenti.

3Muri considera strutture miste, esaminando gli "oggetti strutturali" più usuali, come pannelli, travi, pilastri e solai.

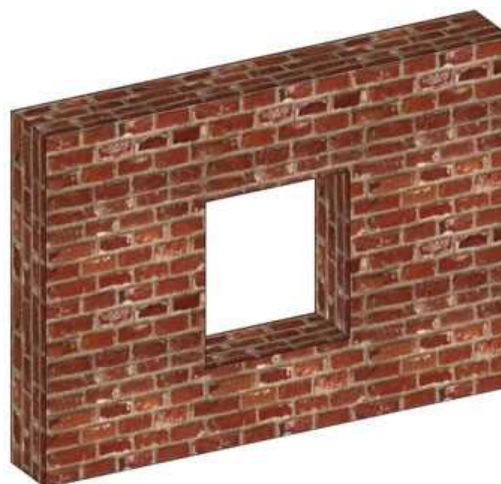
2.1.5.1 Pannelli di muratura

Sono costituiti da:
pannelli murari semplici:



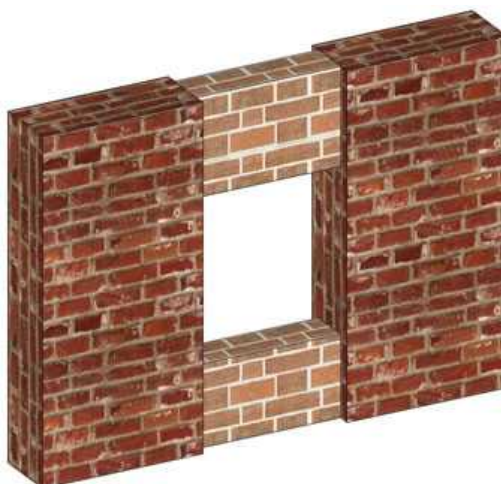
Pannello murario

Pannello con aperture

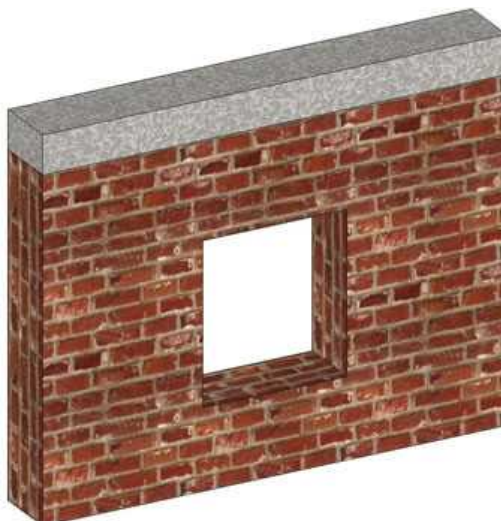


Pannello murario con apertura

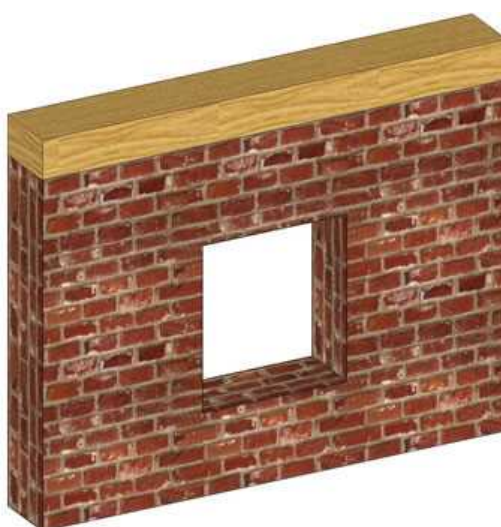
in corrispondenza delle aperture è possibile differenziazione il tipo di materiale e lo spessore;



Pannello murario con apertura con differenziazione di materiale
Pannello con materiale e spessore differenziato
e con cordoli in c.a., acciaio, legno posti a livello di solaio;



Pannello murario con apertura con cordolo in c.a.

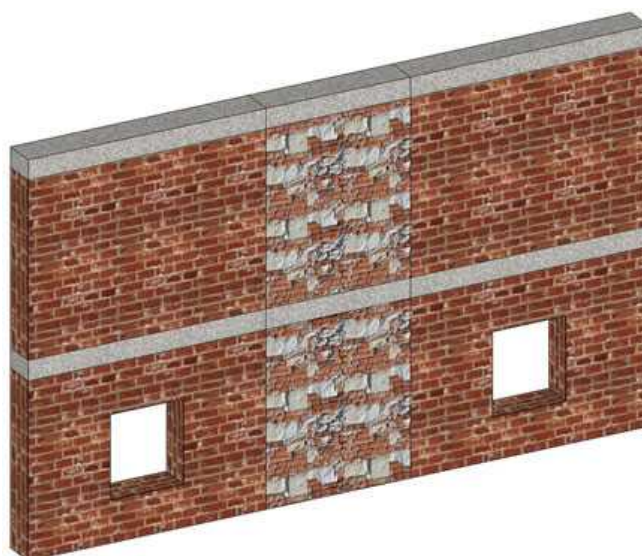
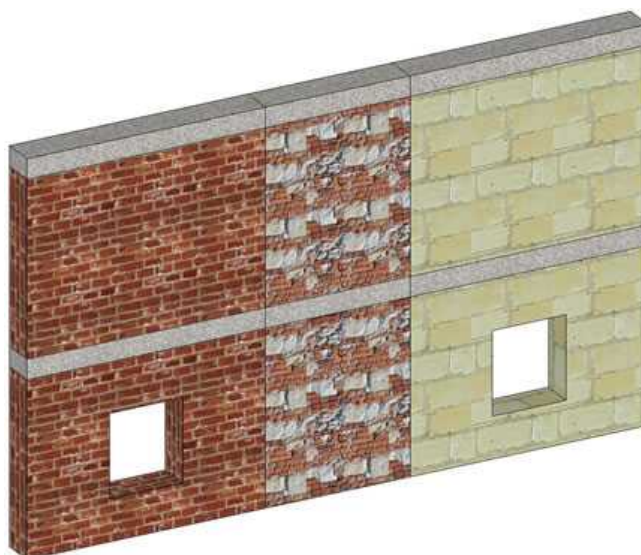


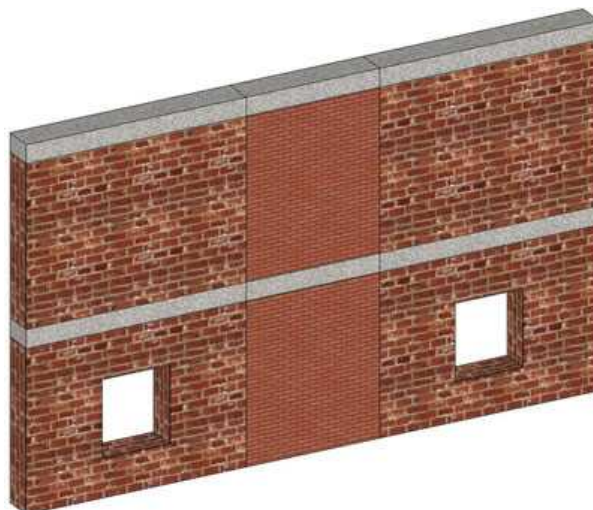
Pannello murario con apertura con cordolo in legno



Pannello murario con apertura con cordolo in acciaio

Sono previste inoltre murature miste, costituite da diverse tipologie di materiali:

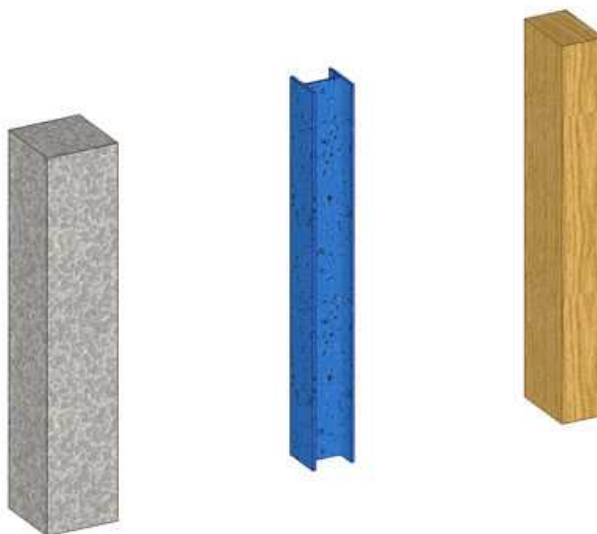




2.1.5.2 Strutture miste

3Muri consente la modellazione di struttura in muratura con la presenza di altri elementi di materiali diversi.

In particolare è possibile definire travi e pilastri in muratura, c.a., acciaio, legno.

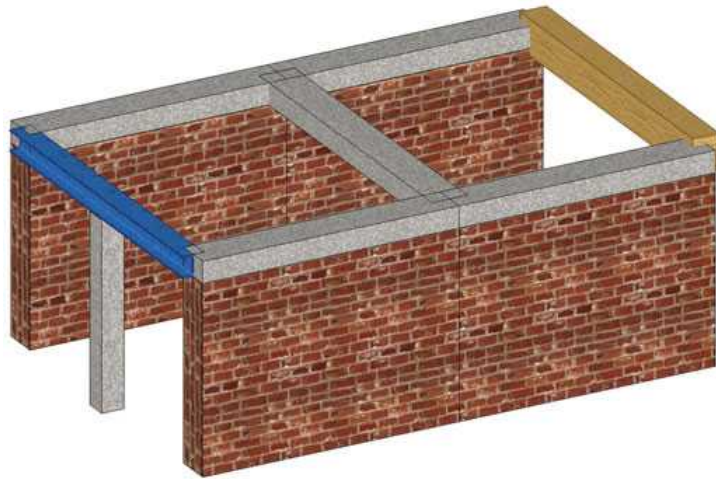


Varie tipologie di pilastri: in c.a., in acciaio e legno

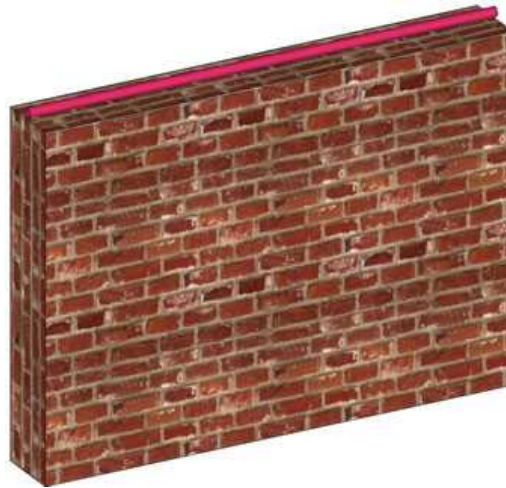
2.1.5.3 Elementi orizzontali lineari

Sono costituiti da travi in c.a., acciaio, legno.

Tali elementi possono essere posizionati da parete e parete o appoggiati su pilastri intermedi.



Disposizione di pannelli in muratura con travi in acciaio, c.a. e legno

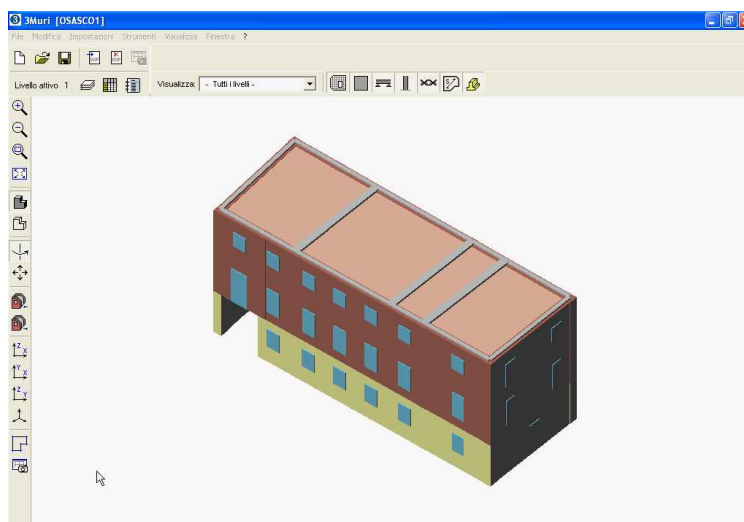


Pannello in muratura con catena di contenimento

2.1.5.4 I piani ed i solai

La struttura è suddivisa in livelli dotati di quota z ; i livelli comprendono i solai. Questi possono appartenere allo stesso livello se la loro quota non è molto diversa.

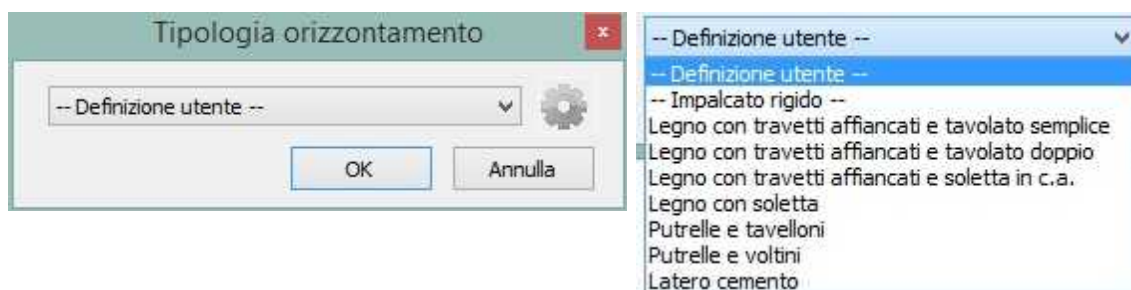
Edifici regolari in elevazione, possono essere facilmente ricreati duplicando un livello già definito.



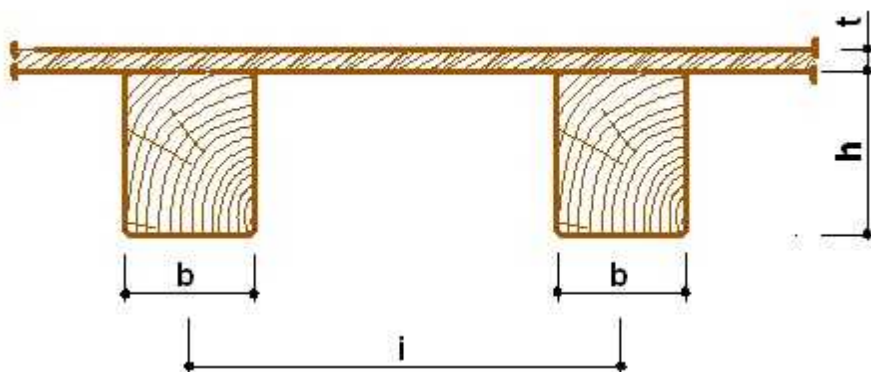
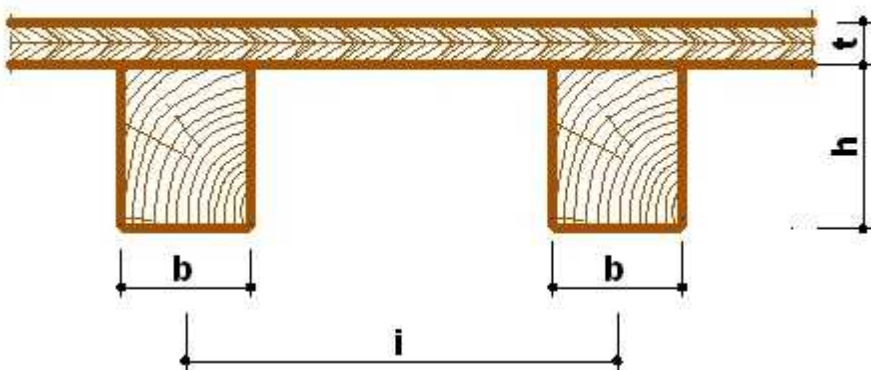
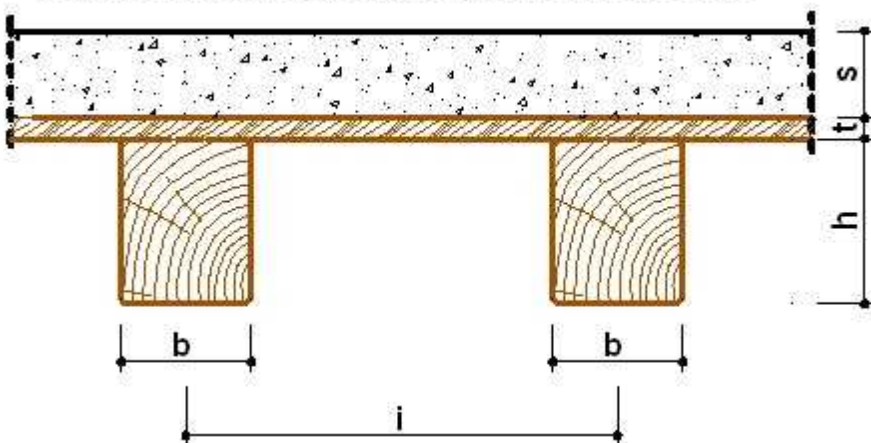
Struttura su più livelli

2.1.5.4.1 Solai deformabili

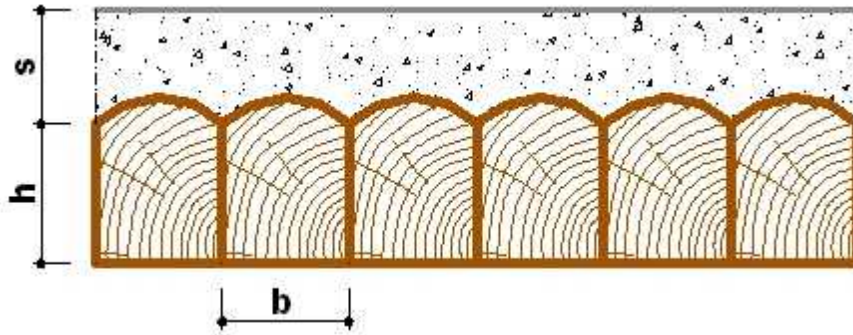
3Muri prevede le tipologie più ricorrenti nella pratica professionale, di cui calcola in automatico i valori necessari partendo dalla geometria e tenendo anche in conto lo stato di conservazione e la reale disposizione (es. se sono effettivamente ammortati nelle murature o meno).



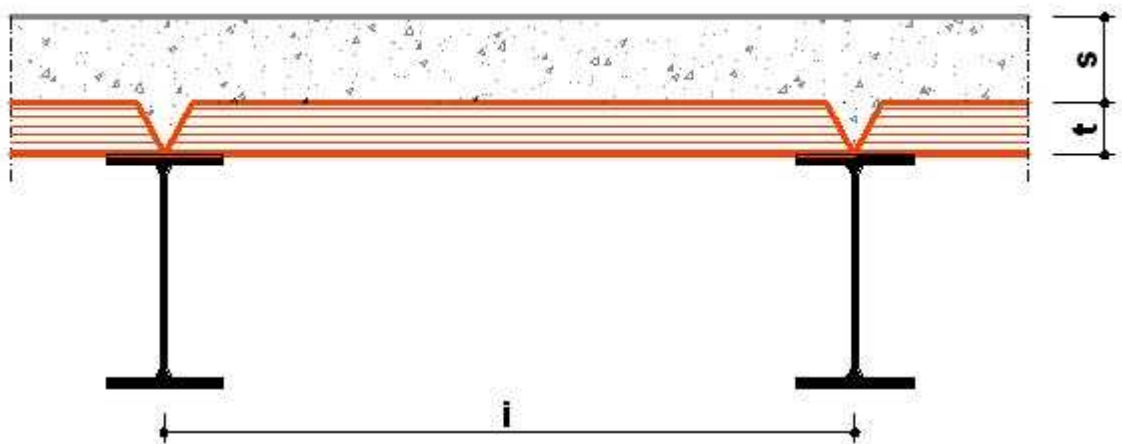
La finestra orizzontamenti permette di definire le caratteristiche meccaniche di svariate tipologie di solai tra i più comuni; il programma prende in esame le seguenti:

Legno con travetti affiancati e tavolato semplice**Legno con travetti affiancati e tavolato doppio****Legno con travetti affiancati e soletta C.A.**

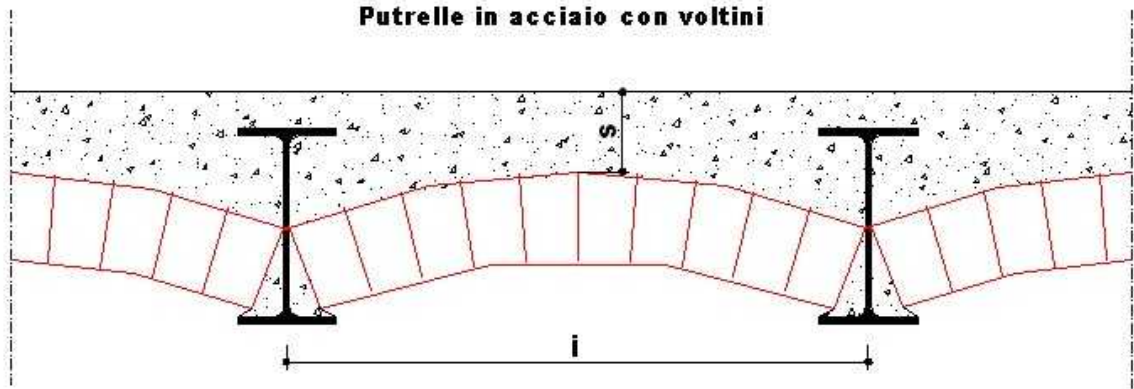
Legno con soletta

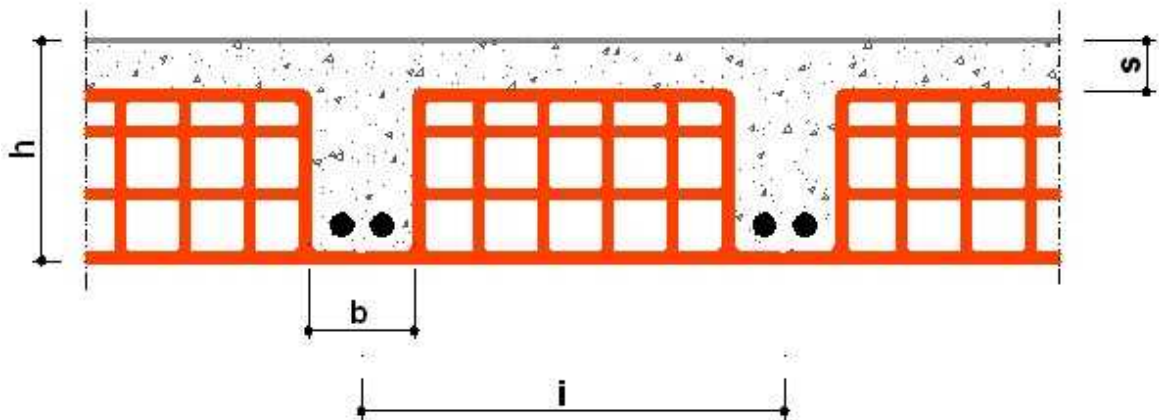


Putrelle in acciaio e tavelloni



Putrelle in acciaio con voltini



Latero cemento

Per ciascuna delle tipologie di solai elencate qui sopra, l'utente può decidere quali tra le componenti strutturali risultano ben collegate nella muratura (garantire il collegamento equivale a garantire un maggior contributo alla resistenza del sistema globale).

Orizzontamenti

- Legno con travetti affiancati e tavolato semplice
- Legno con travetti affiancati e tavolato doppio
- Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
- Legno con soletta
- Putrelle e tavelloni
- Putrelle e voltini
- Latero cemento

Presenza di una soletta continua

Valori calcolati

Spessore	4.0	[cm]
G	12'083.33	[N/mm ²]
Ex	55'100.00	[N/mm ²]
Ey	29'000.00	[N/mm ²]
V	0.2	

Parametri

b [cm]	10
h solaio [cm]	22
i [cm]	50
S [cm]	4
E calcestruzzo [N/mm ²]	29000

OK Annulla ?

Dopo aver inserito i parametri geometrico meccanici, attivando il pulsante OK, viene richiesto di selezionare ordinatamente i nodi su cui poggierà il solaio e quindi un elemento strutturale di riferimento per definire la direzione dell'orditura del solaio (parallela, perpendicolare o a scelta).

A selezione terminata viene presentata la finestra seguente.

Solaio Mod

Carichi

Quota [cm]

Gk1 [daN/m²]

Gk2 [daN/m²]

Qk [daN/m²]

Verifiche statiche

Carico dominante Lungh. appoggio [cm]

NT 08

Ψ_2 Ψ_0 Normativa

Tipo

Latero cemento

Spessore [cm]

G [N/mm²]

Ex [N/mm²]

Ey [N/mm²]

ν

Scarico masse

Monodirezionale Bidirezionale

Scarico direzione principale %

Visualizzazione

Colore materiale Texture

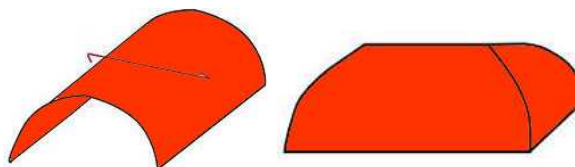
OK Annulla

2.1.5.4.2 Volte in laterizio

Anche in questo caso, definite le geometrie ed i materiali, il programma calcola le caratteristiche di peso e rigidezza da utilizzare nell'analisi.



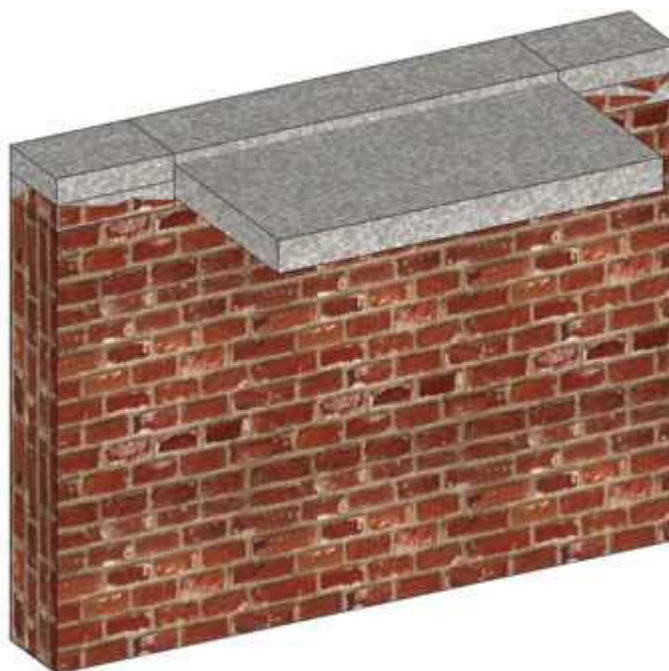
Volta a padiglione Volta a crociera Volta a vela



Volta a botte Volta a botte con teste di padiglione

2.1.5.4.3 Balconi

Anche i balconi sono presi in conto per la loro effettiva disposizione, anche se il loro contributo è solo in termini di massa.



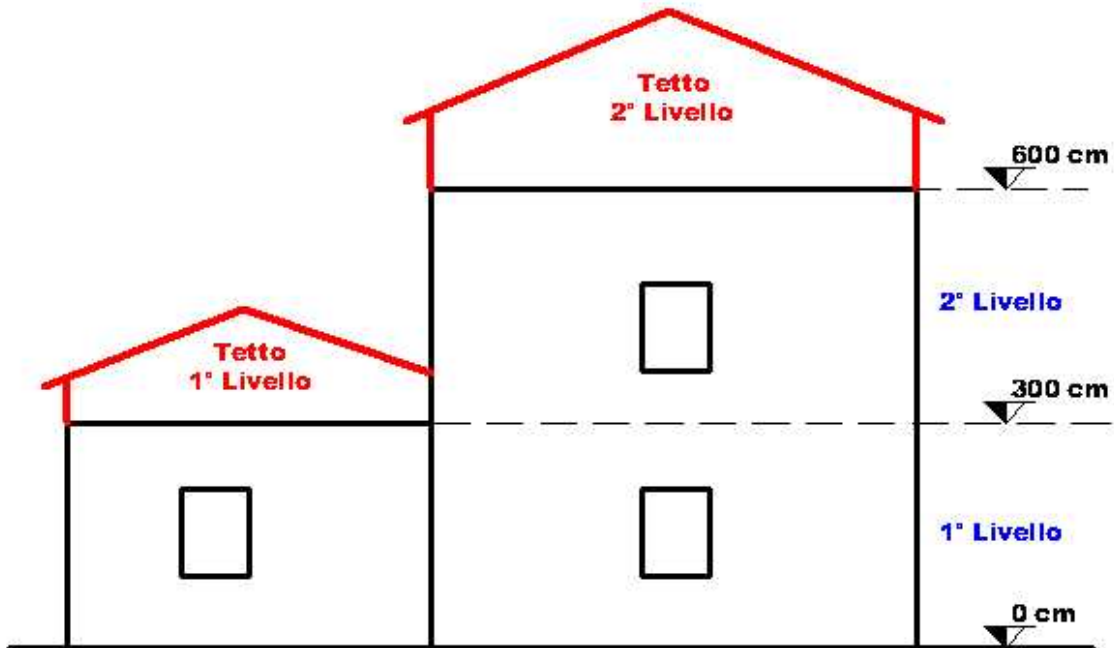
Pannello murario con balcone

2.1.5.4.4 Coperture

Le coperture sono costituite da un insieme di elementi strutturali che fanno parte del livello attivo; è quindi possibile definire un tetto per ogni livello.

Questa modalità di inserimento permette di definire un sistema di coperture a quote differenziate.

Un tetto lo si considera facente parte del livello a cui corrisponde alla sua quota inferiore (vedere figura seguente).



La copertura può essere modellata come "non strutturale" oppure "strutturale", vediamo la differenza:

NON Strutturale:

Questo è il caso tipico di una copertura in legno in una struttura esistente; in questo caso affidare la portanza sismica e la capacità di trasferire le forze a un sistema a bassa rigidità (come il legno), di cui spesso si possiedono limitate informazioni in merito al buon ammassamento con la muratura, costituisce un rischio che il progettista può non voler correre.

In questi casi è bene trascurare resistenza e rigidità di tali elementi, facendo in modo che non entrino in gioco al momento della mesh e vengano trasformati in carichi applicati alla struttura sottostante.

Le stesse porzioni in muratura (es. timpani), in assenza di falde a buona rigidità, potrebbero dar luogo a meccanismi di fuori piano; in tal caso sarebbe opportuno omettere la rigidità di tali elementi murari.

In questa condizione, la mesh dell'edificio sarebbe la medesima al caso in cui fosse stata eseguita la mesh prima di inserire il tetto.

Strutturale:

Nei casi in cui la falda possieda una rigidezza significativa, è possibile utilizzarla per avere una ripartizione delle forze più coerente con la realtà.

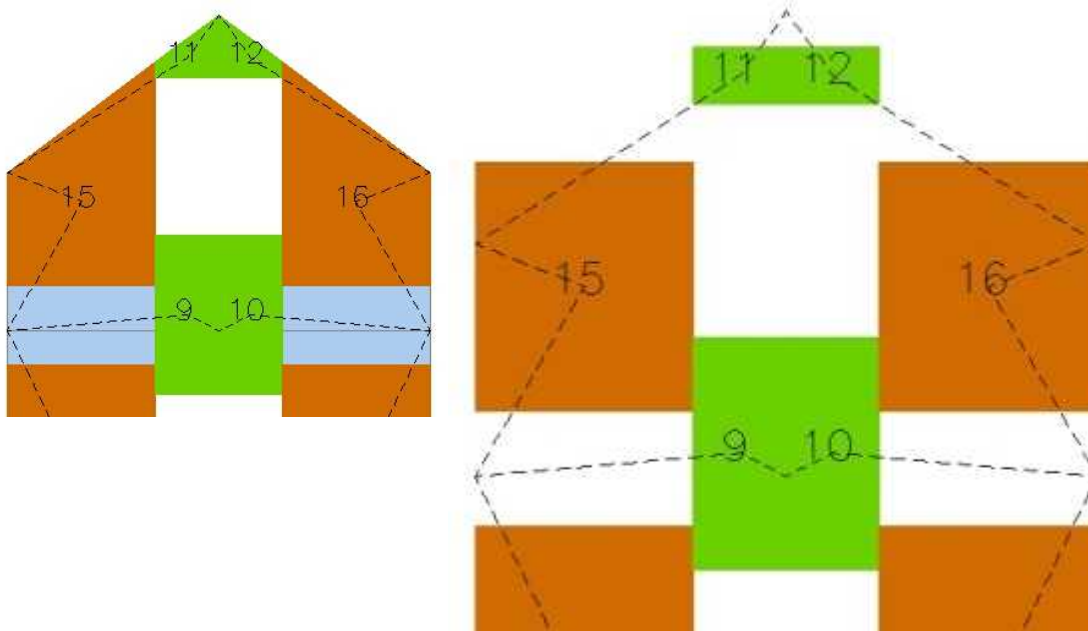
In tal caso è necessario che nella mesh della struttura siano coinvolti tutti gli elementi strutturali della copertura.

Le falde sono costituite da delle superfici (anche NON piane) che vengono discretizzate mediante mesh triangolare con elementi di tipo membrana (stesso elemento usato per i solai).

Data l'irregolarità delle strutture esistenti, capita spesso che per seguire in modo accurato il profilo murario vengano posate travi dell'orditura di una singola falda non complanari, questo è il motivo per cui è possibile inserire anche falde non piane.

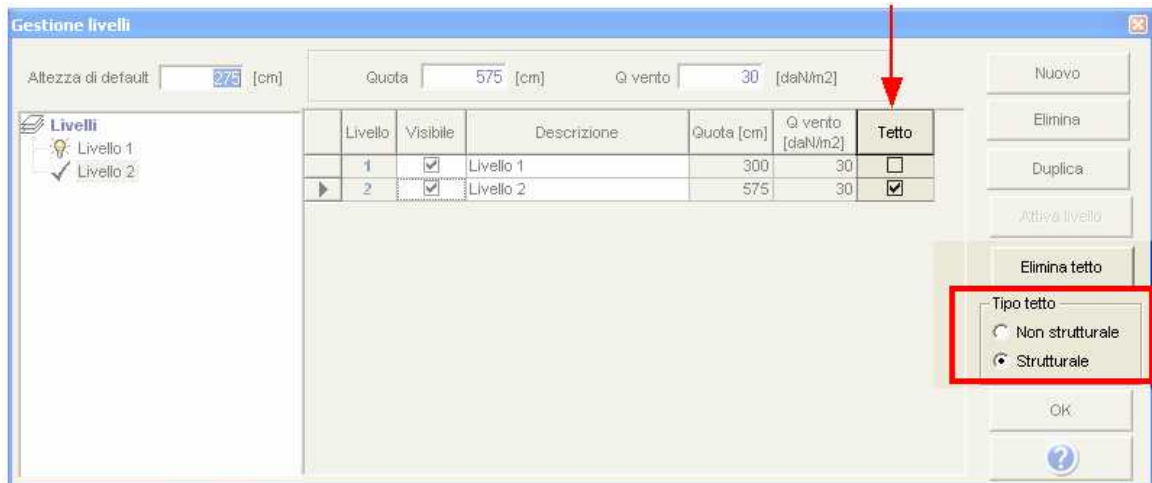
I maschi murari vengono modificati in altezza e forma per seguire correttamente il perimetro della falda.

Esempio di mesh mostrato Schema degli elementi maschio/fascia con le nell'ambiente analisi altezze effettive utilizzate per il calcolo



La tipologia di modellazione "non strutturale" o "strutturale" viene condotta mediante l'apposita funzione nella finestra di "Gestione livelli".

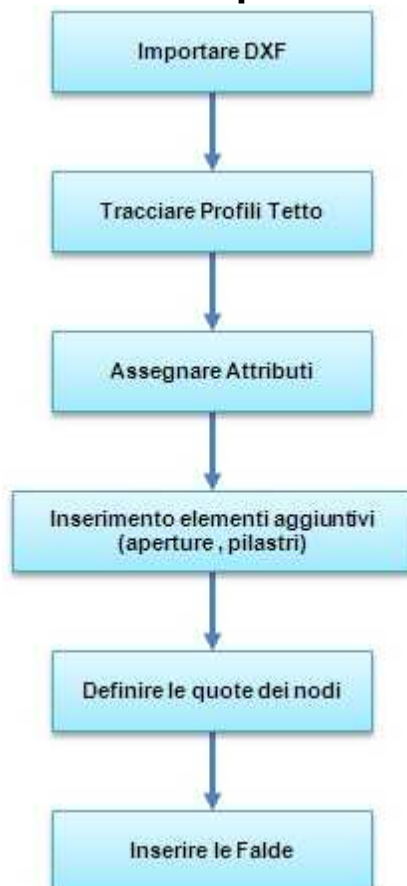
Questa opzione è una proprietà del singolo livello, permettendo di decidere se una copertura sia strutturale o meno a seconda del piano di appartenenza.



Quando viene inserito un tetto per un livello, compare la spunta nella corrispondente casella della colonna **"Tetto"**.

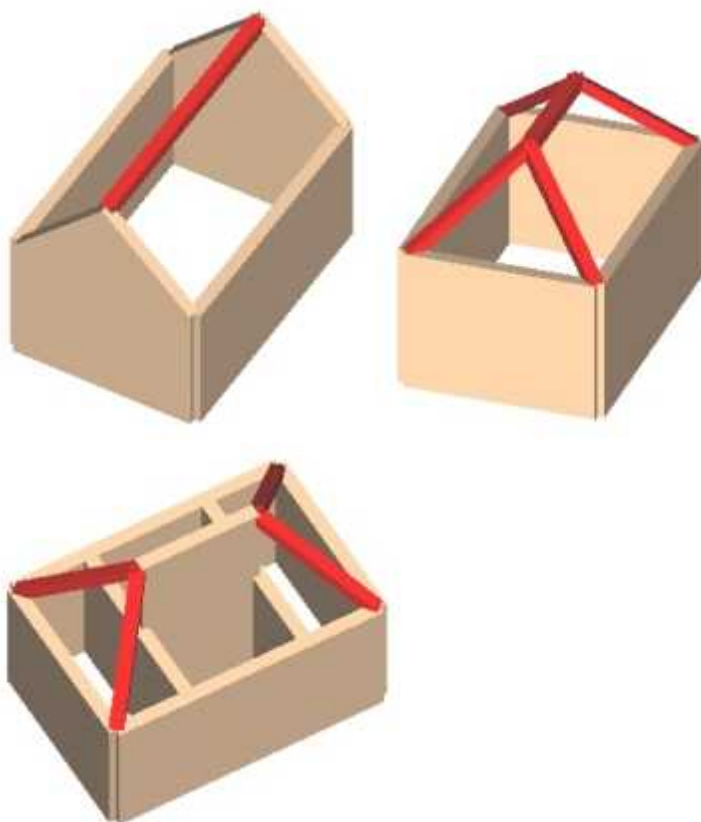
Si può decidere di eliminare una copertura da un livello semplicemente premendo il pulsante **"Elimina tetto"**.

Modalità di Input:



Tracciamento Profili Tetto

I profili tetto (vedi in rosso nella figura seguente) sono elementi utili esclusivamente per la modellazione della copertura e possono essere creati e modificati nell'ambiente copertura.



Modellazione dei vari componenti del tetto

Questi elementi servono a definire gli elementi principali dell'orditura quali colmi, complivi e displuvi.

Assegnazione Attributi

Questo comando è del tutto analogo a quello di "Definizione degli oggetti strutturali" già noto per l'ambiente struttura.

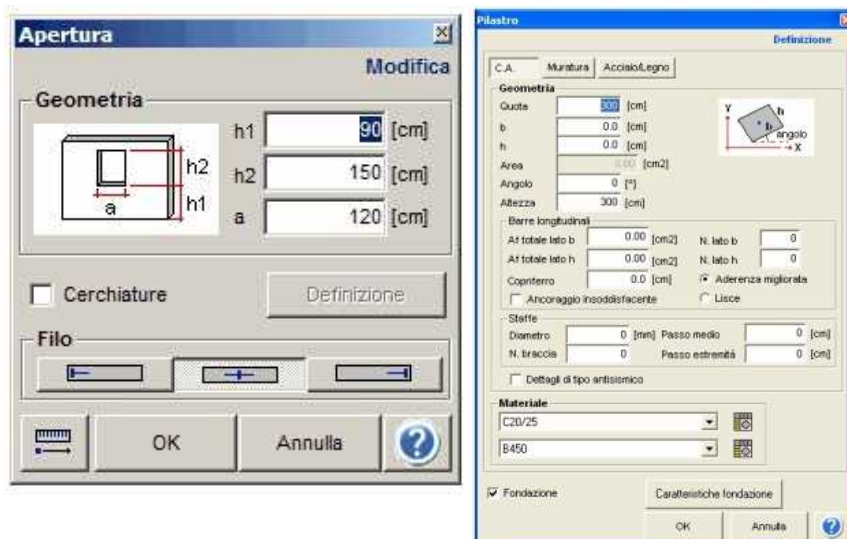
Potrà essere quindi utilizzato per definire sia le murature perimetrali che le caratteristiche delle travi dell'orditura.

Inserimento di elementi Aggiuntivi

Nel piano di copertura possono essere inseriti sia le aperture nei timpani che pilastri di sostegno degli elementi di orditura.

Inserimento Aperture

Inserimento Pilastri



Definire le Quote dei Nodi

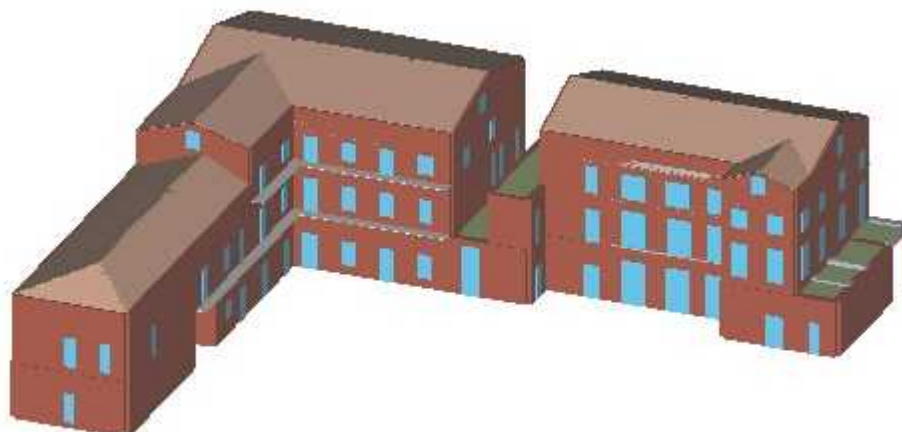
L'assegnazione delle quote degli elementi strutturali che costituiscono la copertura viene definita assegnando la quota ai nodi.

Premendo l'apposito pulsante compare la finestra per la definizione della quota.



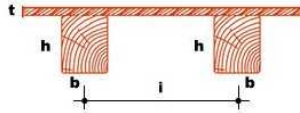
Inserimento delle Falde

Le falde possono appartenere a diverse famiglie strutturali, le stesse che troviamo per la definizione dei solai.



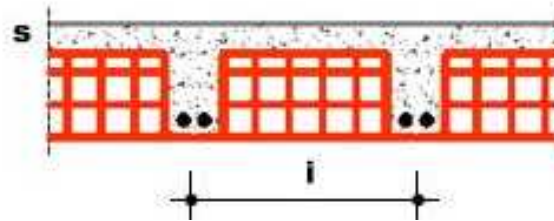
Modellazione 3D di un edificio complesso

Falde in legno



Solaio con travetti affiancati e tavolato semplice o doppio con travetti affiancati e soletta in c.a.

Falde in Latero-cemento



2.1.6 I rinforzi strutturali

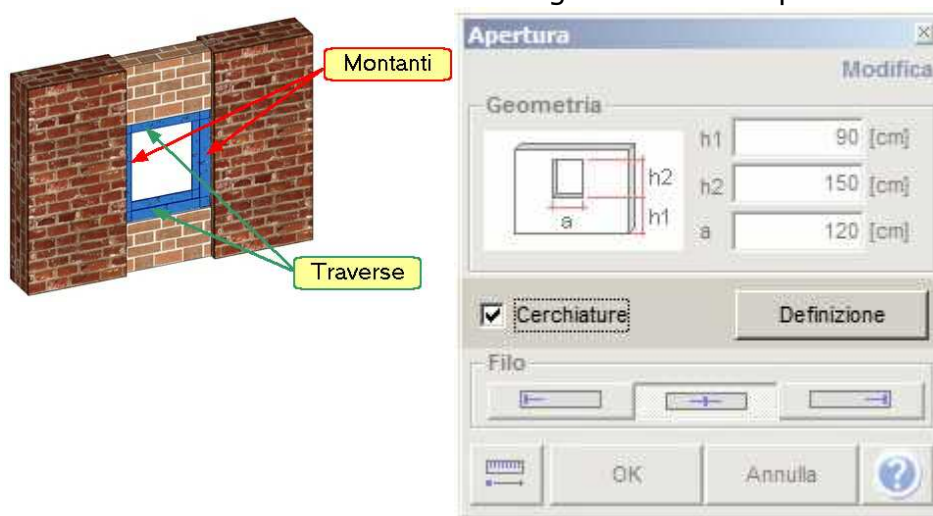
Il modello strutturale può comprendere anche elementi che sono soggetti a diverse tipologie di rinforzi.

In particolare può rendersi necessario inserire nuovi elementi al fine di adeguare sismicamente la struttura che non ha raggiunto il livello di sicurezza richiesto.

Attraverso l'esame degli elementi deteriorati è possibile individuare le zone soggette a rinforzo.

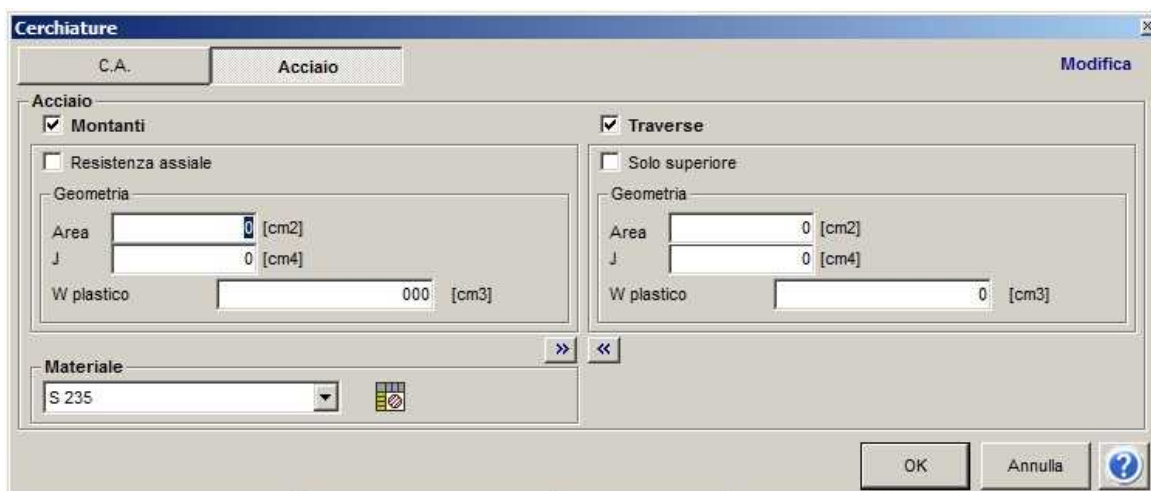
2.1.6.1 Cerchiature

La funzionalità di inserimento delle cerchiature in porte e finestre si attiva direttamente nella area dedicata alla gestione delle aperture.



Possono essere selezionate le due tipologie di cerchiature principali:

- Cerchiature in c.a.
- Cerchiature in Acciaio



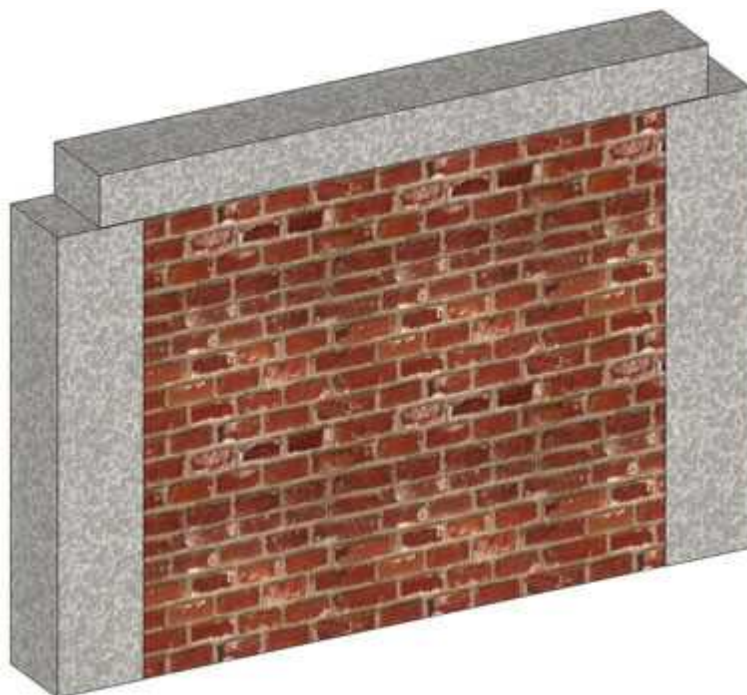
Visualizzazione della finestra di dialogo dedicata alle cerchiature

2.1.6.2 Rinforzi in c.a. e acciaio

3Muri rende possibile il collegamento tra elementi muratura con elementi verticali ed orizzontali in c.a., ferro, legno.

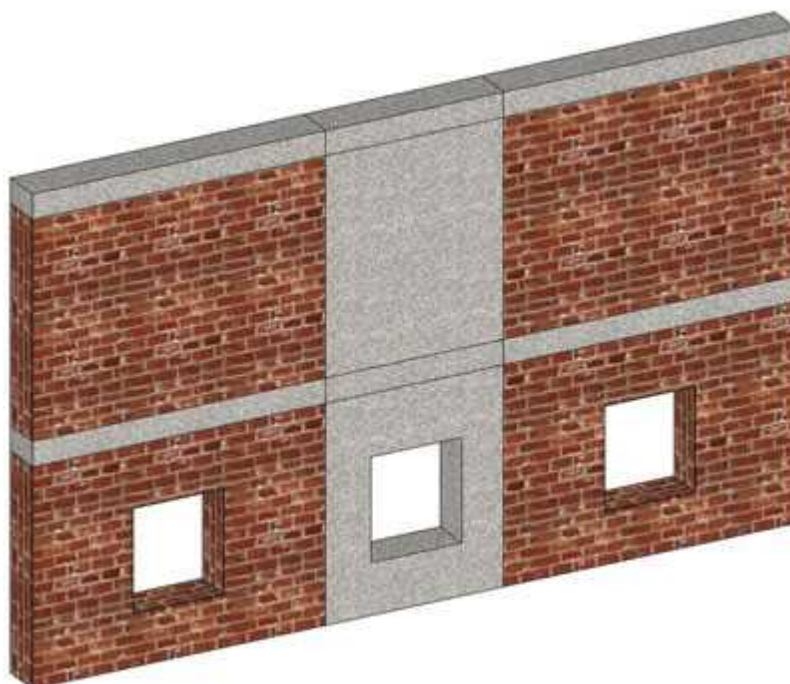


Pannello murario con elementi verticali in c.a. ed elemento trasversale in acciaio



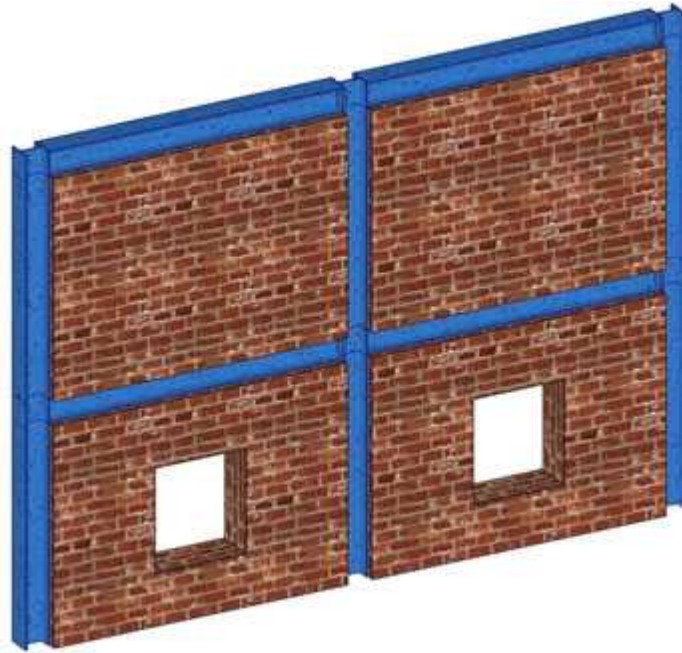
Pannello murario con elementi verticali e trasversali in c.a.

E' possibile introdurre setti posizionati tra pannelli in muratura.



Pannelli murari intervallati ad un elemento in c.a.

Per un rinforzo diffuso è possibile inserire telai in acciaio disposti sia orizzontalmente che verticalmente.

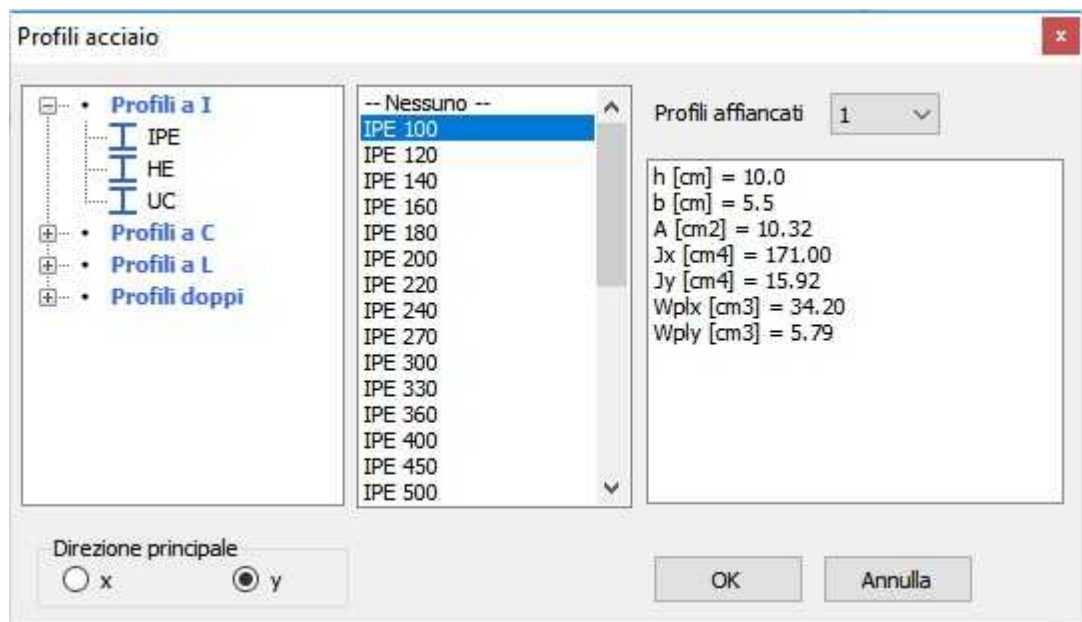


Elementi in acciaio contornanti i pannelli murari

2.1.6.3 Profilari

E' possibile richiamare la libreria dei profili metallici di cui si desidera reperire le caratteristiche.

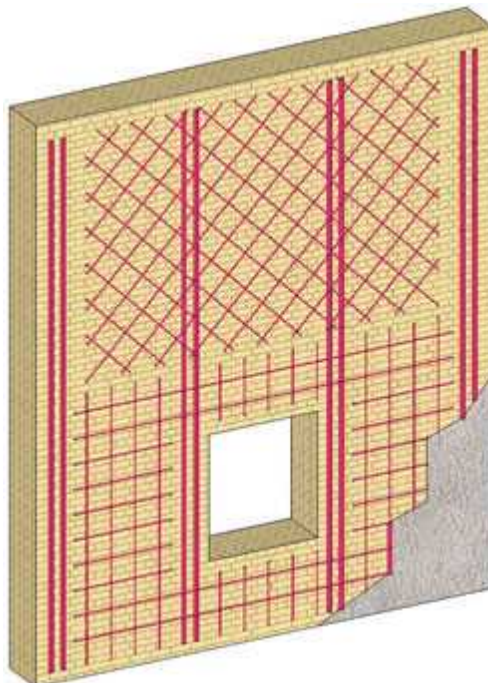
Selezionando la famiglia e la dimensione del profilo, vengono presentate le caratteristiche meccaniche che verranno usate nel calcolo.



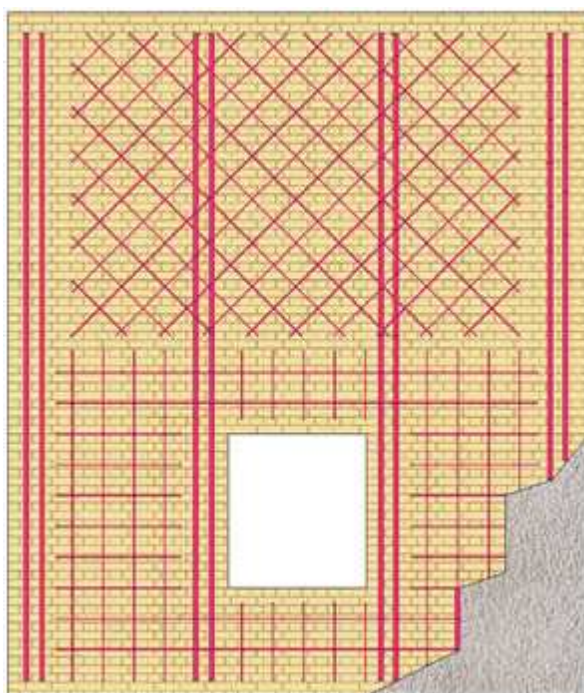
2.1.6.4 Muratura armata

La muratura armata consente di aumentare sensibilmente la duttilità della struttura.

3Muri prevede la distribuzione degli strati di acciaio sia in zone concentrate che in modo diffuso.



Pannelli con muratura armata

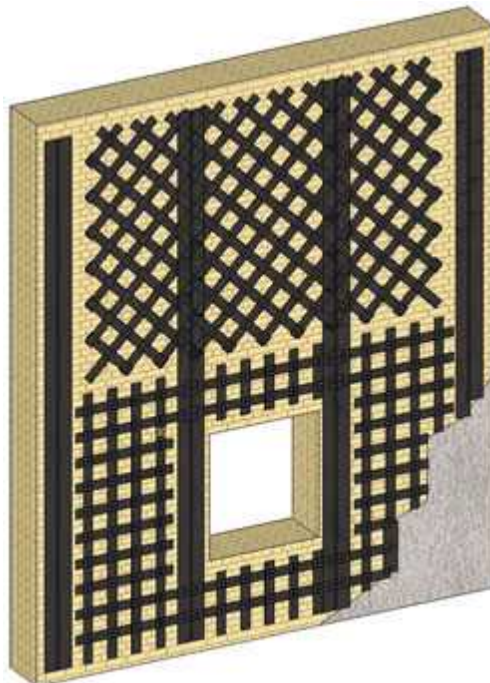


•

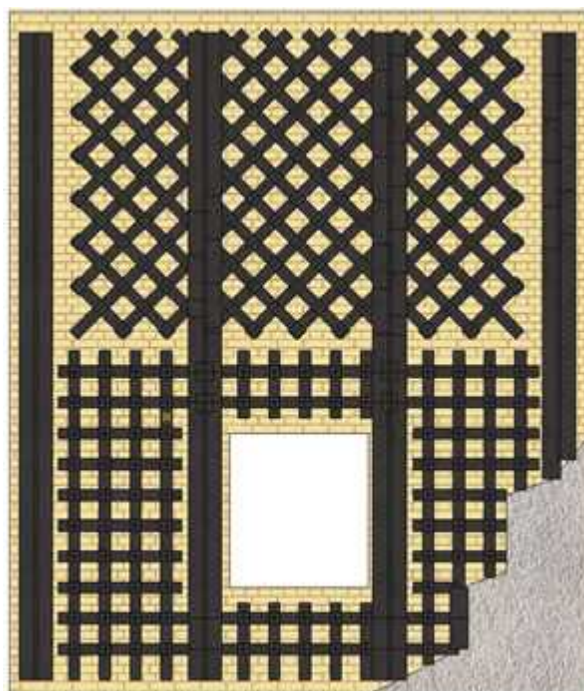
2.1.6.5 Rinforzi con FRP

Per aumentare la duttilità e rinforzare localmente zone ammalorate, è possibile disporre strisce in FRP.

3Muri prevede la distribuzione delle strisce in FRP sia in zone concentrate che in modo diffuso.



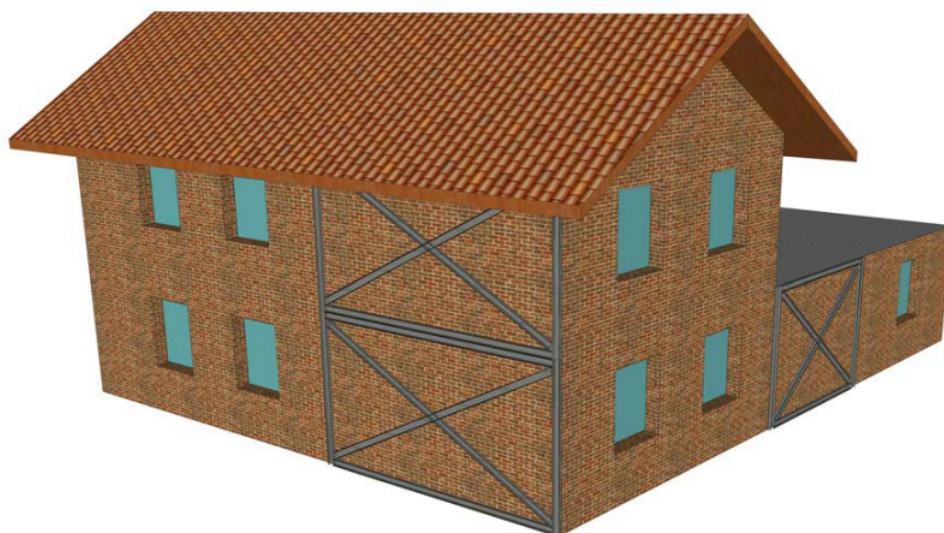
Pannelli con rinforzi in FRP



2.1.6.6 Rinforzi con telai

3Muri permette di inserire diverse tipologie di rinforzo:

- Rinforzo di parete
- Rinforzo di solaio/falda
- Rinforzo mediante travi reticolari

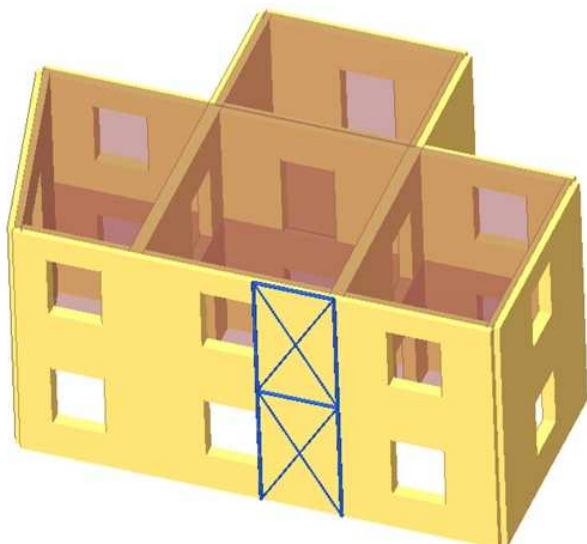


Struttura rinforzata mediante telai

Rinforzi di pareti mediante telai

Selezionando una parete e scegliendo la voce "Telai di rinforzo", è possibile inserire graficamente gli elementi di rinforzo, che verranno successivamente mostrati anche nella vista assonometrica.

Possono essere inseriti travi in acciaio o legno e catene (elementi con solo resistenza a trazione)

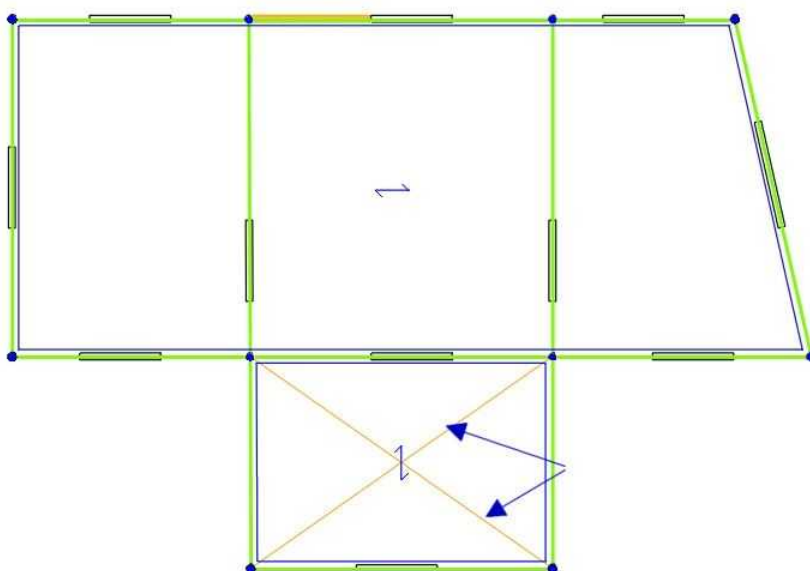


Parete rinforzata mediante telai

Rinforzi di solai mediante telai

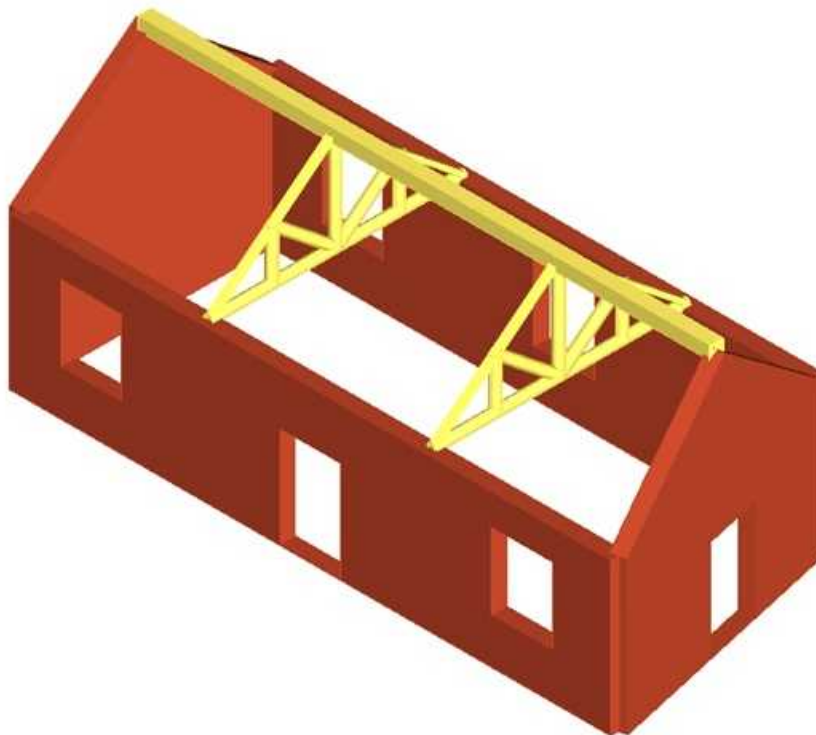
I solai di edifici esistenti, molto spesso realizzati in legno, possiedono rigidzze estremamente limitate, permettendo importanti deformazioni e distorsioni in pianta. Non è sempre possibile inserire delle solette di completamento per limitare le distorsioni in pianta e pertanto si rende necessario l'inserimento di rinforzi diagonali su solai e falde.

La figura seguente mostra un rinforzo diagonale applicato sulla pianta del solaio.



Rinforzi mediante trave reticolare

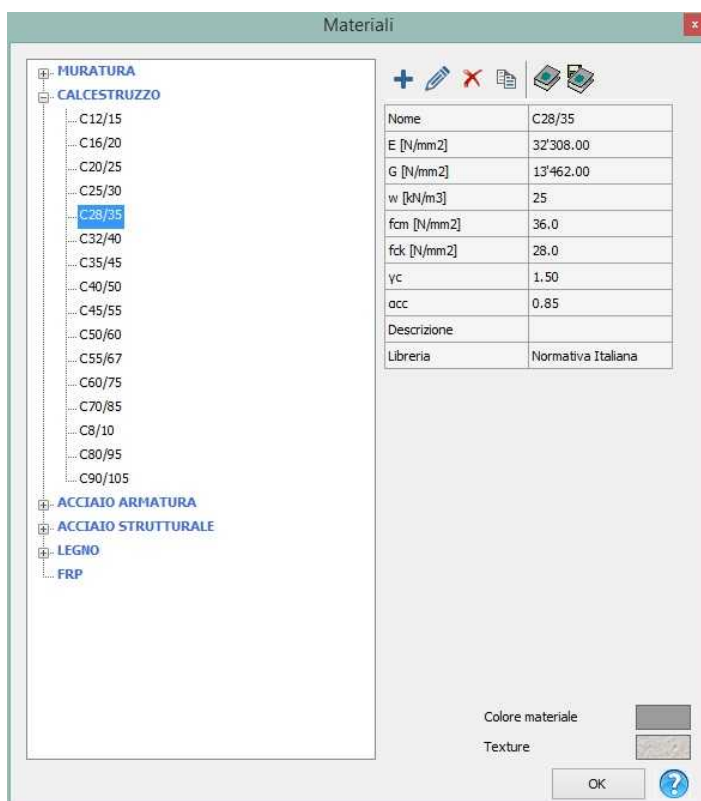
Un'ulteriore applicazione dei sistemi di rinforzo è mirata a definire travi reticolari negli elementi di copertura. Un esempio di applicazione è mostrato nella seguente figura.



2.1.7 Materiali

E' possibile definire le caratteristiche dei materiali muratura, calcestruzzo, acciaio e legno, comunemente impiegati negli oggetti strutturali pannello murario, catena, trave, pilastro e solaio.

Il concetto di livello di conoscenza sarà presente solo per la definizione di tipologie di materiale esistente e serve per definire il fattore di confidenza che il programma applicherà alle resistenze medie.



Visualizzazione della finestra di dialogo dedicata ai materiali

La barra dei comandi contiene i comandi principali per la gestione dei materiali



A ciascun materiale viene associato un colore a scelta dell'utente che verrà utilizzato nella finestra di visualizzazione 3D.

2.1.7.1 Muratura

Quando si inserisce una nuova tipologia di materiale muratura vengono presentate due opzioni di inserimento:

E: Modulo di elasticità longitudinale

G: Modulo di elasticità tangenziale

w: Peso specifico

fm: Resistenza a compressione media

fvm0: (*Mohr-Coulomb*) La resistenza media a taglio in assenza di azione assiale

fvlim: (*Mohr-Coulomb*) La resistenza a taglio limite (valore suggerito 2.2 N/mm² §7.8.2.2.2 - D.M.14-01-2008)

τ: (*Turnšek Cacovic*) Resistenza a taglio

fk: Resistenza a compressione caratteristica

γm: Fattore di sicurezza del materiale

FC: Fattore di confidenza

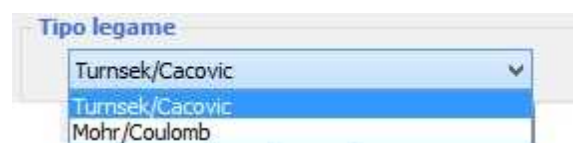
fm, fvm0, fvlim, τ: I valori mostrati nella maschera sono da considerarsi *NON ridotti* per il fattore di confidenza (FC), la riduzione verrà applicata direttamente in fase di calcolo.

Nella finestra che permette di inserire le caratteristiche del materiale muratura, vengono visualizzati dei pulsanti che supportano l'utente nell'individuare di tali parametri.

In alternativa a l'utilizzo di tali finestre, l'utente può decidere di inserire direttamente i valori delle caratteristiche.

Sia per il materiale esistente che per il nuovo è possibile decidere il tipo di legame a taglio da impiegare:

- **Criterio Turnšek Cacovic**
- **Criterio Mohr-Coulomb**



Il criterio **Turnšek Cacovic** rappresenta un tipo di rottura taglio diagonale e ne è consigliato l'utilizzo in particolare per le *murature esistenti*.

Il criterio **Mohr-Coulomb** rappresenta un tipo di rottura taglio scorrimento e ne è consigliato l'utilizzo in particolare per le *murature nuove*.

Nel caso di muratura esistente realizzata in laterizio, può essere sensato decidere di adottare un criterio di rottura Mohr-Coulomb al fine di esaminare un criterio di rottura più opportuno per la tipologia muraria esaminata.

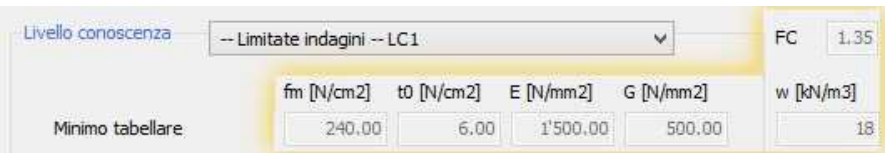
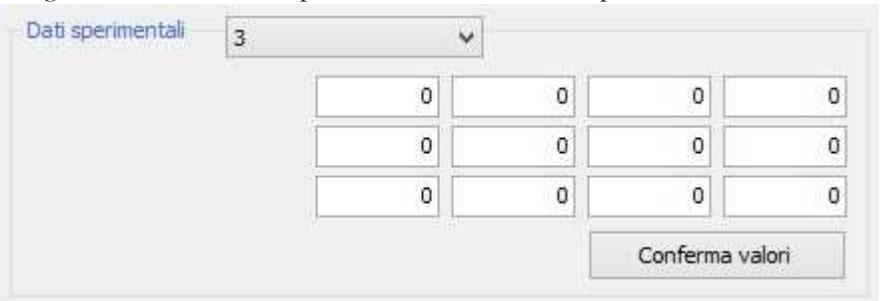
Nella parte bassa della schermata compare un pulsante **[Parametri muratura]** che richiama un aiuto alla compilazione delle caratteristiche meccaniche.

	Turnšek Cacovic	Mohr-Coulomb
Materiale Esistente	<u>Compilazione Parametri 1</u> §C8A.2.	<u>Compilazione Parametri 2</u> §11.10.3.
Materiale Nuovo	<i>Nessun aiuto alla compilazione</i>	<u>Compilazione Parametri 2</u> §11.10.3.

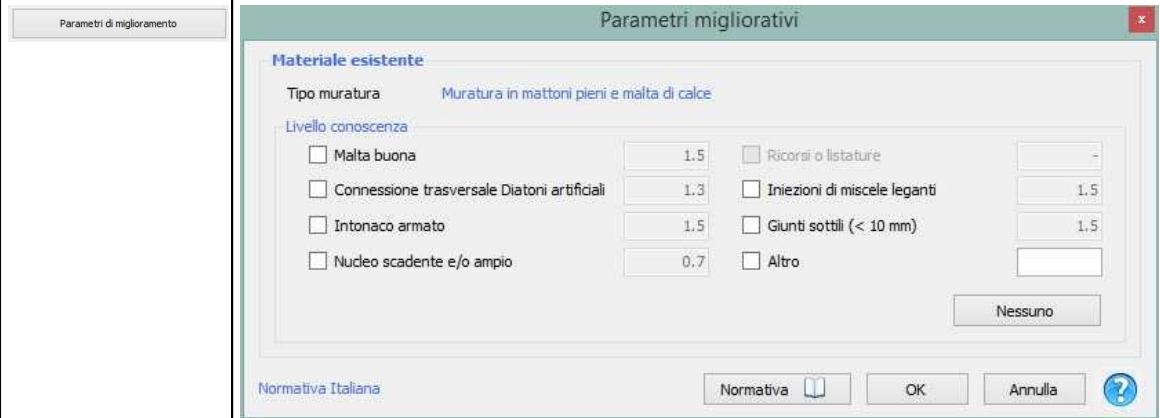
2.1.7.1.1 Compilazione Parametri 1

In questa finestra è possibile usare le indicazioni presentate nell' allegato §C8A.2. della circolare n.617 del 02-02-2009

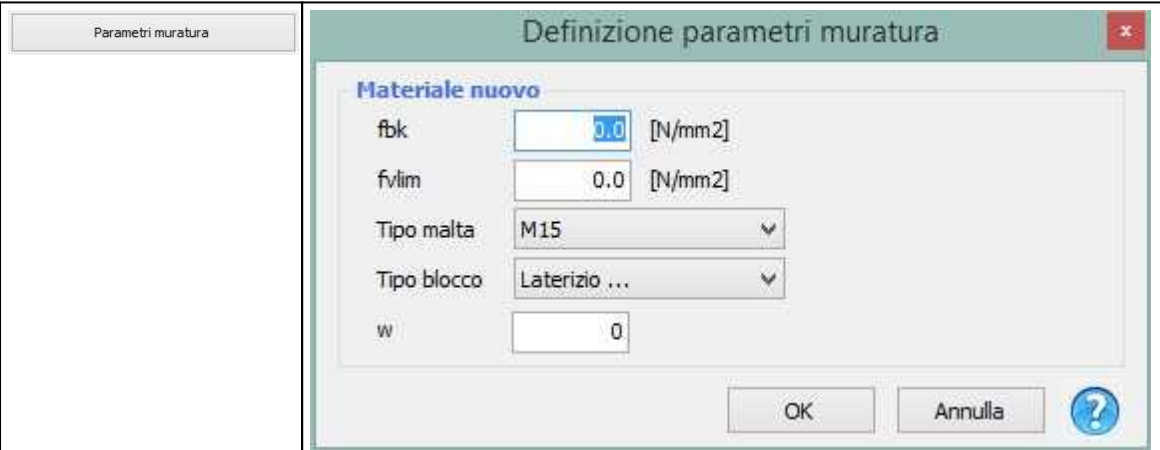
Tipo di muratura	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</p> <p>Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)</p> <p>Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nudo interno</p> <p>Muratura in pietre a spacco con buona tessitura</p> <p>Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)</p> <p>Muratura a blocchi lapidei squadrati</p> <p>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</p> <p>Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI)</p> <p>Muratura in blocchi laterizi forati (perc. foratura < 45%)</p> <p>Muratura in blocchi laterizi forati, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)</p> <p>Muratura in blocchi di calcestruzzo (perc. foratura tra 45% e 65%)</p> <p>Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni</p> </div>
Livello di Conoscenza	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>-- Limitate indagini -- LC1</p> <p>-- Limitate indagini -- LC1</p> <p>-- Estese indagini -- LC2</p> <p>-- Esaustive indagini -- LC3</p> </div>

Vengono forniti automaticamente i valori delle caratteristiche	
Se si lavora con livello di conoscenza 3	<p>Vengono richiesti i valori sperimentali derivanti dalle prove.</p>  <p>Premendo su “Conferma valori” vengono definiti quelli di calcolo.</p>

Dopo aver definito le caratteristiche dei materiali, è possibile definire eventuali parametri di miglioramento, secondo quanto indicato nella vigente normativa.



2.1.7.1.2 Compilazione Parametri 2



fbk: resistenza caratteristica a compressione

	fvlim: resistenza tagliante limite Tipo malta: classificazione delle malte §11.10.3. D.M.14-01-2008
--	---

2.1.7.2 Altri materiali

Le finestre per la definizione delle proprietà meccaniche dei materiali diversi dalla muratura, sono rappresentati come segue.

Proprietà materiale

Inserimento

Tipo: **Calcestruzzo**

Nome: Nuovo

Colore materiale: [Color selection]

Texture: [Texture selection]

Condizione del materiale: Esistente Nuovo

Rigidezza fessurata

Livello conoscenza: -- Limitate indagini -- LC1

E [N/mm ²]	
G [N/mm ²]	0
w [kN/m ³]	0
f _{cm} [N/mm ²]	0
f _{ck} [N/mm ²]	0
acc	0.85
FC	1.35
γ _c	0

Descrizione: [Text area]

Libreria: Progetto

OK Annulla ?

Selezionando la voce "Altro" nella tendina è possibile inserire direttamente il fattore di confidenza.

Livello conoscenza

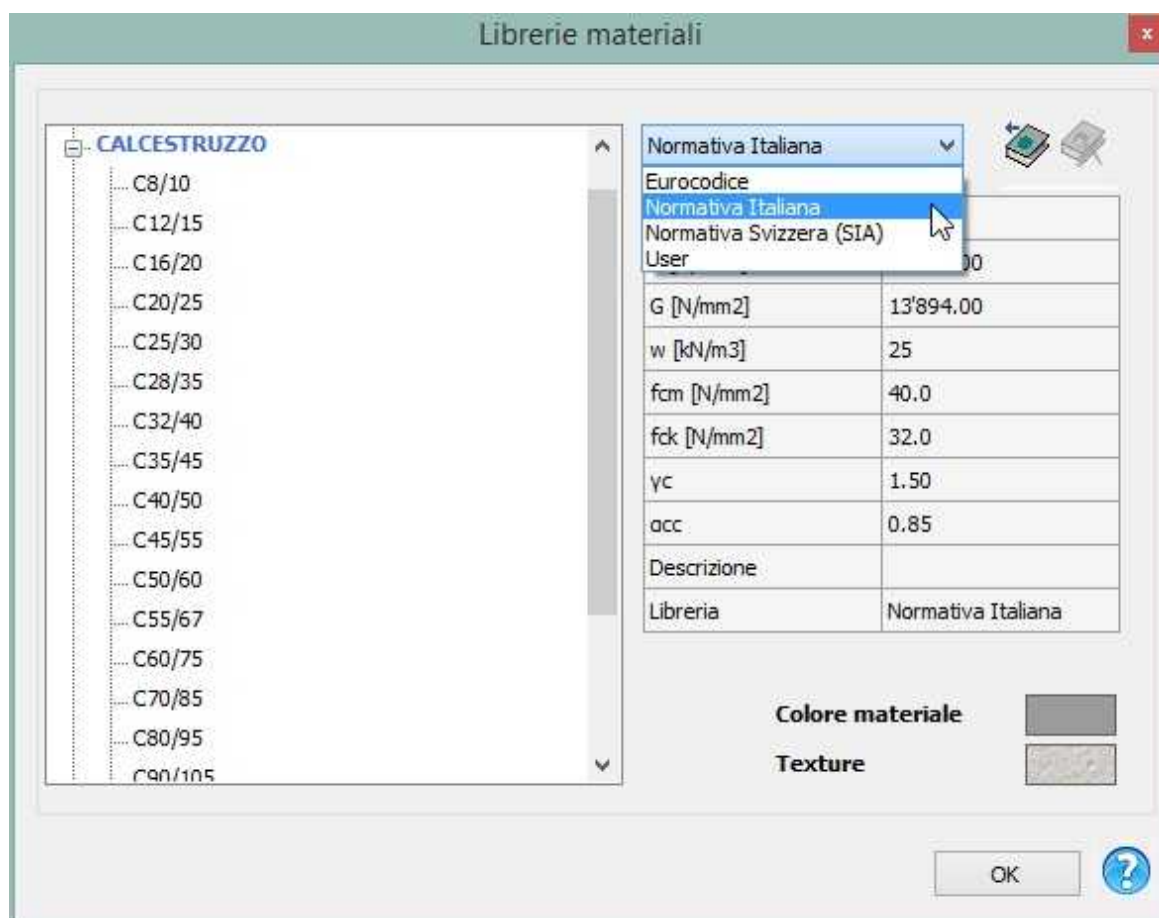
- Altro --
- Limitate indagini -- LC1
- Estese indagini -- LC2
- Esaustive indagini -- LC3
- Altro --

E [N/mm ²]	0
G [N/mm ²]	0
w [kN/m ³]	0
f _{cm} [N/mm ²]	0
f _{ck} [N/mm ²]	0
acc	0.85
FC	1
γ _c	0

2.1.7.3 Librerie Materiali

Il programma 3Muri è dotato di 3 tipologie di librerie principali:

- Libreria di progetto: Insieme di materiali contenuti all'interno del progetto, mostrati nella finestra materiale (solo questi materiali risultano disponibili per il progetto attivo).
- Libreria da Normativa: Le proprietà dei materiali sono definiti secondo le indicazioni delle varie normative, esiste una libreria per ogni normativa. All'apertura di un nuovo lavoro viene caricato in libreria di progetto il contenuto della libreria corrispondente alla normativa selezionata.
- Libreria Utente.



2.1.8 L'analisi dei carichi

I carichi vengono introdotti direttamente sui solai.

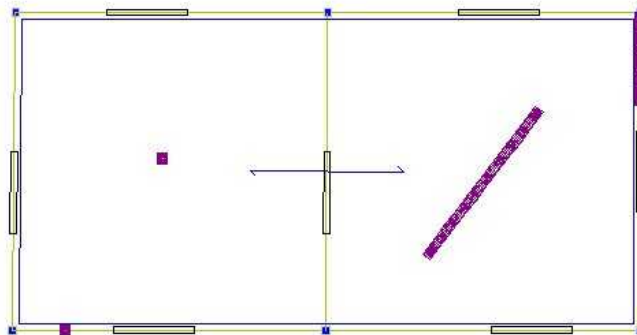
Il peso proprio delle murature è calcolato in automatico mentre i carichi dei solai, suddivisi tra permanenti e variabili, sono ripartiti automaticamente sulle murature su cui appoggiano secondo la loro reale disposizione, monodirezionale o bidirezionale.

2.1.8.1 Tipi di carichi:

Sono disponibili i seguenti tipi di carico:

- concentrati sui solai
- concentrati sui muri
- lineari sui solai
- lineari sui muri
- distribuiti sui solai e sui balconi

I carichi sono rappresentati graficamente come nella figura seguente:

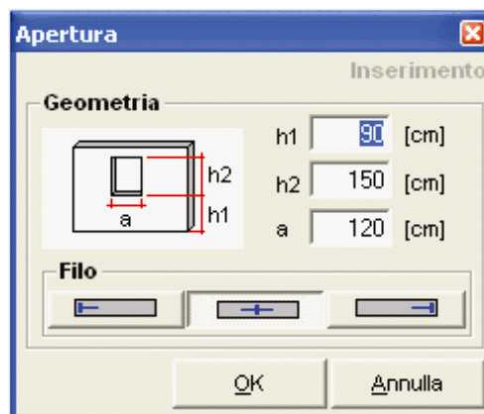


Rappresentazione dei carichi in pianta

2.1.9 Le aperture (porte e finestre)

Dopo aver definito tutti gli elementi murari, è possibile interrompere la continuità strutturale mediante l'inserimento di porte o finestre mediante il comando apertura.

Attraverso la fase successiva di meshatura, cioè di definizione dei maschi, delle fasce e degli elementi rigidi, il programma valuta l'influenza delle aperture e ne determina gli effetti.



Attraverso la stessa maschera è possibile inserire porte e finestre

2.1.10 Vincoli esterni e fondazioni

Il programma inserisce automaticamente i vincoli alla base del modello; sono previsti anche vincoli di tipo elastico in grado di simulare l'interazione struttura terreno.



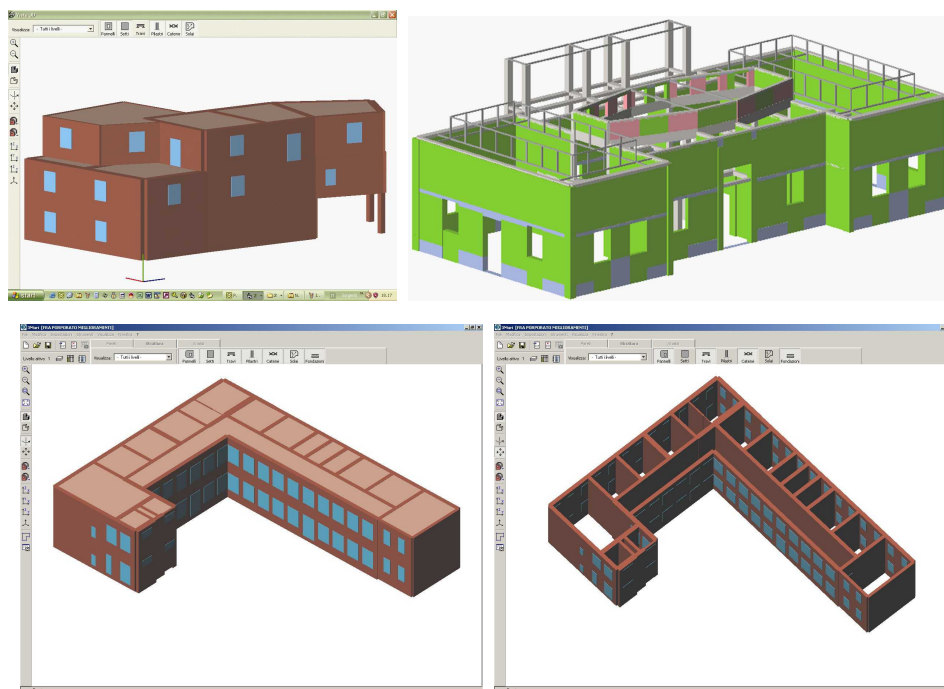
I vincoli prevedono tutte le tipologie con i parametri di elastici per i vincoli elastici

Sono previste fondazioni continue in c.a.



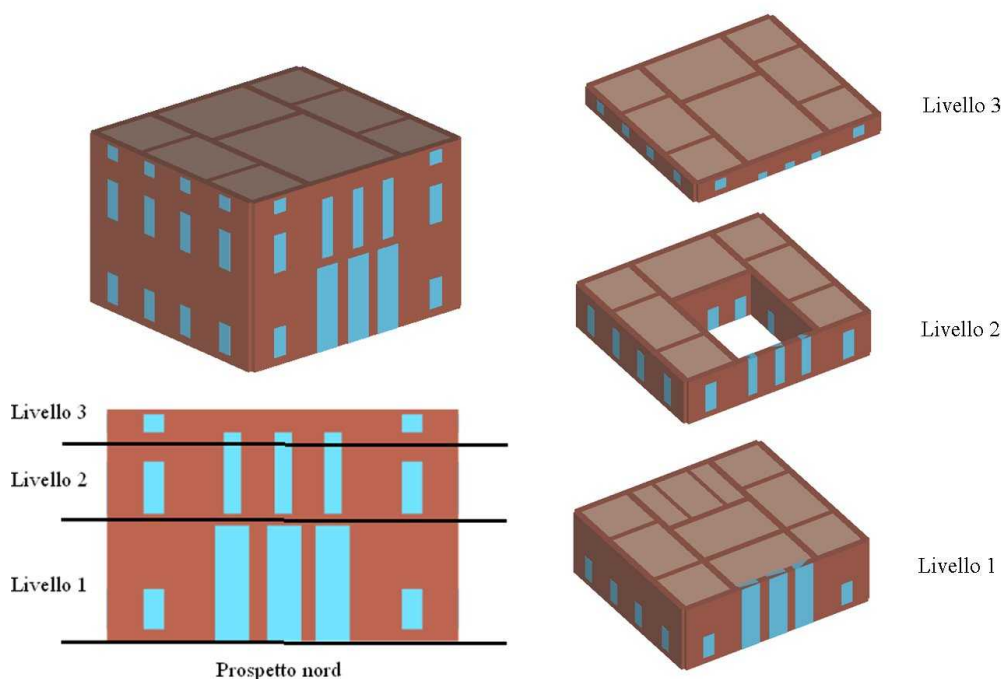
2.1.11 Visualizzazione 2d - 3d

Il programma permette la visualizzazione del modello dell'edificio, attraverso le piante dei diversi piani ed i prospetti delle singole pareti, così da verificare velocemente ed efficacemente il modello; è inoltre possibile la visualizzazione tridimensionale della struttura con la possibilità di rotazione.



Varie viste 3D della struttura nei vari livelli

Operando attraverso appositi filtri è possibile selezionare e deselezionare parti della struttura (pareti, solai, travi e pilastri), filtrando in questo modo gli oggetti visualizzati.



2.1.12 Simulazione di lesioni

Lesioni e dissesti possono essere inclusi nella modellazione, adottando opportune condizioni di vincolo ovvero riduzioni della continuità strutturale.

2.1.13 La gestione dei dati su griglia

La funzione **Tabella** permette di visualizzare e modificare direttamente nella griglia di presentazione dei dati le caratteristiche di tutto ciò che l'utente ha inserito attraverso l'interfaccia, nella fase di creazione del modello. La struttura ad albero sulla sinistra facilita l'operazione di navigazione all'interno delle tabelle presenti.

L'albero è organizzato in 4 rami principali:

Materiali: Contiene le tipologie dei materiali impiegati nel progetto con le caratteristiche meccaniche.

Rinforzi: Contiene le caratteristiche del tipo di rinforzo del materiale muratura

Elementi: Contiene gli elementi impiegati distinti per tipologia (secondo quanto indicato nella finestra di definizione delle caratteristiche descritta nel seguito) raggruppati in base al livello.

Carichi: Contiene le caratteristiche dei carichi concentrati/lineari applicati alla struttura

N.	Parete	Livello	Copertura	Materiale	Rinforzo	Altezza [cm]	Spessore [mm]	Spessore SottoFinestre [mm]
1	1	1	<input type="checkbox"/>	Muratura		3000.0	300.0	300.0
3	2	1	<input type="checkbox"/>	Muratura		3000.0	300.0	300.0
5	3	1	<input type="checkbox"/>	Muratura		3000.0	300.0	300.0
7	4	1	<input type="checkbox"/>	Muratura		3000.0	300.0	300.0

La caratteristica principale di questa tabella è la possibilità di essere editata.

Ogni modifica nella tabella comporta il cambiamento direttamente delle proprietà del modello.

Solo i campi con lo sfondo bianco sono abilitati per la modifica, lo sfondo grigio indica un campo fisso non assoggettato alle modifiche dell'utente.

Le modifiche in tabella possono essere di due differenti tipi:

- Modifica singola:

Selezionando direttamente il valore in una cella è possibile modificare il valore per l'elemento evidenziato.

Altezza [cm]	Spessore [cm]	Spessore SottoFinestra [cm]
300	30	30
300	30	30
300	30	30
300	30	30

- Modifica multipla:

Dopo aver selezionato una colonna è possibile richiamare un menu contestuale mostrato premendo con il tasto destro del mouse sul titolo della colonna.

Altezza [cm]	Spessore [cm]	Spessore SottoFinestra [cm]	Materiale
300			
300			
300	30	30	Muratura
300	30	30	Muratura

Selezionando la voce "Imposta valore comune" viene mostrata una piccola finestra per definire un unico valore comune a tutti gli elementi.


Imposta valore comune ✕


OK
Annulla

Questa opzione è utile quando si decide di applicare una certa modifica ad un gruppo esteso di elementi.

Tutti gli elementi strutturali "composti" (pannello+cordolo; pannello+catena; pannello+trave acciaio/legno) sono riportati "scomposti" all'interno della tabella negli elementi che lo costituiscono.

Tale scomposizione permette ad esempio di modificare le caratteristiche di tutte le murature indipendentemente che siano sovrastate da catene, cordoli o da nessun altro elemento.

Accedendo alla tabella elementi, è possibile distinguere un elemento "composto" da uno "semplice" dal simbolo  che rappresenta l'esistenza di un collegamento con un altro elemento.

Selezionando con il tasto destro del mouse il simbolo , compare il comando [Vai a...]

MODELLO					
Materiali					
Muratura (1)					
Legno (1)					
Elementi					
Pannello murario (21)					
Trave Acciaio / Legno (1)					
Catena (15)					
Orizzontamenti (5)					
Apertura (21)					
N.	Parete	Livello	Copertura	Materia	
7		4	<input type="checkbox"/>	Muratura	
9		5	<input type="checkbox"/>	Muratura	
11		6	<input type="checkbox"/>	Muratura	
13		7	<input type="checkbox"/>	Muratura	
15		1	<input type="checkbox"/>	Muratura	
16		2	<input type="checkbox"/>	Muratura	
18		2	<input type="checkbox"/>	Muratura	
22		2	<input type="checkbox"/>	Muratura	

Selezionando tale comando, si viene reindirizzati ad un'altra tabella con evidenziata la riga corrispondente all'elemento accoppiato al primo elemento.

Es:

Se dalla tabella "pannello murario", seleziono il comando [Vai a...] corrispondente al pannello 18 vengo reindirizzato alla tabella "catena" con evidenziato il medesimo elemento 18 con le proprietà della catena accoppiata al pannello murario 18 da cui sono partito (tutti gli elementi che costituiscono un'entità composta possiedono il medesimo identificativo).

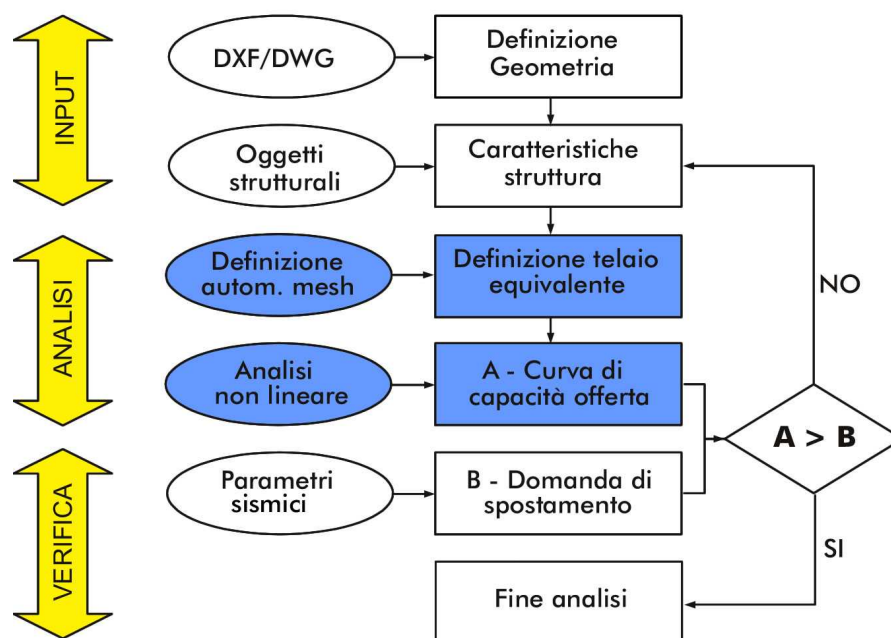
MODELLO					
Materiali					
Muratura (1)					
Legno (1)					
Elementi					
Pannello murario (21)					
Trave Acciaio / Legno (1)					
Catena (15)					
Orizzontamenti (5)					
Apertura (21)					
N.	Parete	Livello	Copertura	Quota [cm]	
1		1	<input type="checkbox"/>		
3		2	<input type="checkbox"/>		
5		3	<input type="checkbox"/>		
7		4	<input type="checkbox"/>		
9		5	<input type="checkbox"/>		
11		6	<input type="checkbox"/>		
13		7	<input type="checkbox"/>		
15		1	<input type="checkbox"/>		
16		2	<input type="checkbox"/>		
18		4	<input type="checkbox"/>		

Nella parte bassa della tabella viene mostrata una tabella con funzioni di filtro, permette di filtrare il contenuto della tabella in base ai soli livelli di interesse.

Livello	Mostra
Livello 1	<input checked="" type="checkbox"/>
Livello 2	<input checked="" type="checkbox"/>
Seleziona Tutto	Deseleziona Tutto

2.2 Fase 2: l'analisi

Terminata l'introduzione dei dati è possibile procedere con l'analisi dell'intera struttura come indicato nello schema.



Flusso della seconda fase: l'analisi

Area dedicata al calcolo ed alla presentazione dei risultati

Al termine dell'introduzione dei dati segue il calcolo e la presentazione dei risultati



Comandi per l'analisi e la presentazione dei risultati

Questa è suddivisa in due fasi.

Fase 1 - Definizione del telaio equivalente

A partire da geometria ed oggetti strutturali inseriti vengono ricavati i dati per l'analisi secondo il modello 3Muri, cioè il telaio equivalente.

Il risultato di questa analisi è la presentazione di una mesh che schematizza maschi, fasce, travi, tiranti e pilastri. Questi elementi possono ancora essere modificati manualmente per tener conto di situazioni particolari.

Fase 2 - Analisi non lineare

Quest'analisi è condotta aumentando in modo monotono i carichi e ricavando lo spostamento orizzontale della struttura.

Superando un valore convenzionale di spostamento, calcolato automaticamente, si considera la struttura collassata e si può costruire la curva Forza orizzontale – Spostamento orizzontale, che rappresenta la Curva di capacità offerta, cioè il comportamento della struttura al variare dei carichi orizzontali.

Da notare che questa curva è indipendente dal terremoto, in quanto si tratta di una caratteristica intrinseca della struttura, funzione solo di geometria e caratteristiche di resistenza del materiale.

2.2.1 Analisi statica non lineare

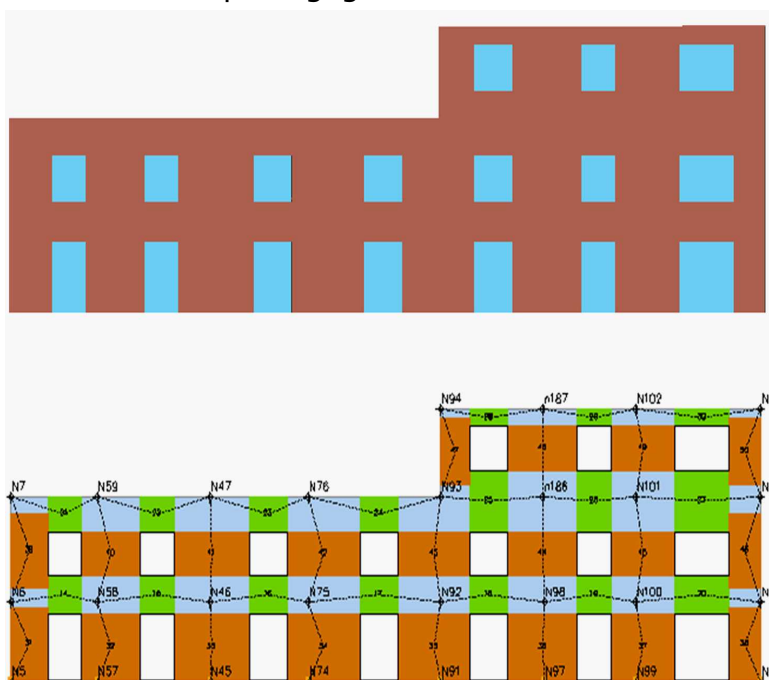
L'analisi principale per la verifica sismica è l'analisi statica non lineare (push-over).

2.2.1.1 Costruzione automatica del modello

Definita la geometria strutturale dell'edificio, come assemblaggio di pannelli murari, un algoritmo riconosce le connessioni tra di essi e provvede ad identificare automaticamente maschi, fasce e nodi.

Il programma permette la determinazione automatica del telaio equivalente suddividendo i pannelli murari in elementi rigidi, maschi, fasce e creando la struttura da analizzare.

Grazie ad un meshatore evoluto, sono presi in esame situazioni anche molto complesse con risultati sempre ingegneristicamente corretti.

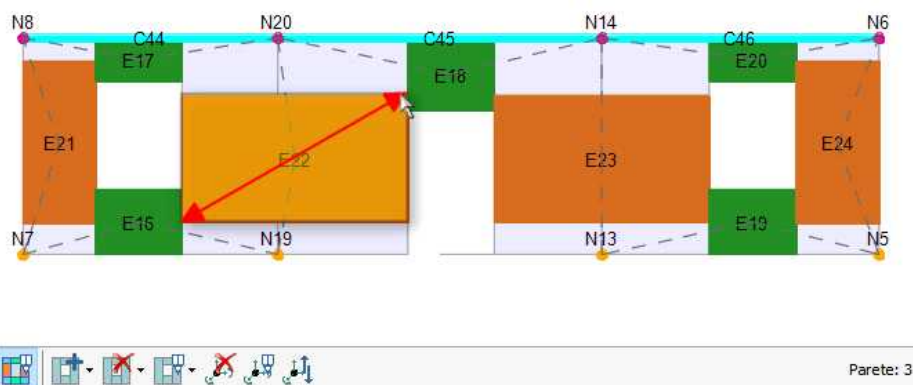


La figura sopra rappresenta il modello geometrico introdotto dall'utente, a seguito di meshatura automatica, con l'individuazione di maschi, fasce, elementi rigidi e la presentazione del telaio equivalente.

La struttura introdotta sopra è automaticamente schematizzata con il telaio equivalente tenendo conto delle aperture, delle pareti confinanti dei vincoli esterni con la determinazione automatica di maschi, fasce ed elementi rigidi.

In ogni nuova versione del programma 3Muri, la generazione automatica della mesh viene continuamente aggiornata in modo da diventare sempre più performante e fornire soluzioni di calcolo più vicine alle necessità del progettista.

Per i casi più complessi, l'attuale editing di mesh permette di adeguare manualmente la mesh creata automaticamente. Inserire nuovi elementi, modificare quelli già presenti definendone l'ingombro graficamente senza dover definire le dimensioni dei singoli maschi murari.



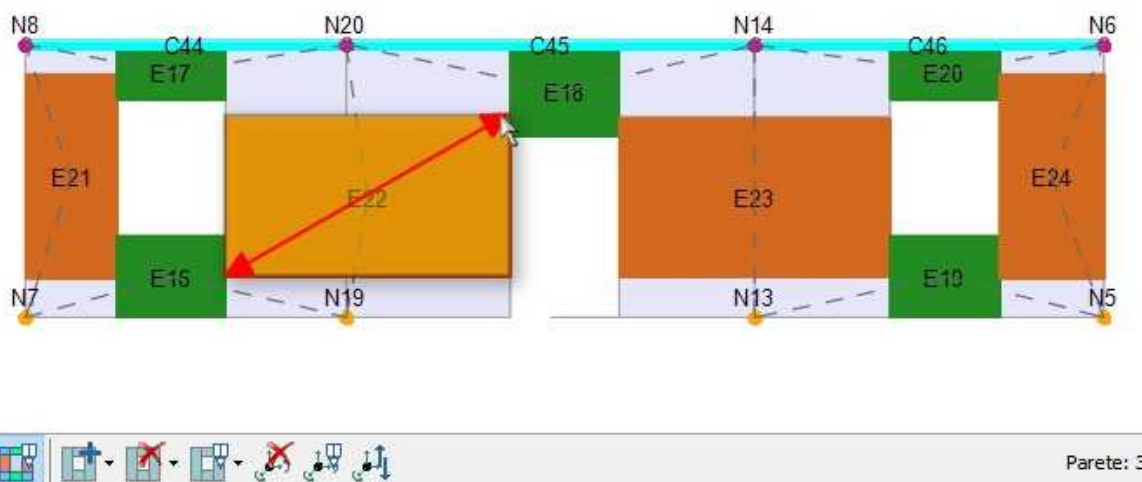
2.2.1.1.1 Editing di mesh potenziato

In ogni nuova versione del programma 3Muri, la generazione automatica della mesh viene continuamente aggiornata in modo da diventare sempre più performante e fornire soluzioni di calcolo più vicine alle necessità del progettista.

Per i casi più complessi, l'attuale editing di mesh permette di adeguare manualmente la mesh creata automaticamente.

E' ora possibile:

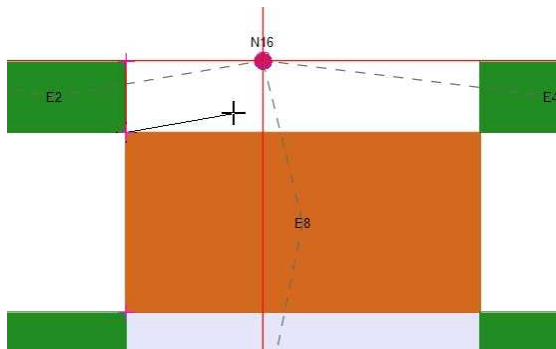
- Inserire nuovi elementi, modificare quelli già presenti definendone l'ingombro graficamente senza dover definire le dimensioni dei singoli maschi murari.



Ogni inserimento di maschio o fascia è dotato di un pulsante che permette di definire graficamente il rettangolo di ingombro dell'elemento.

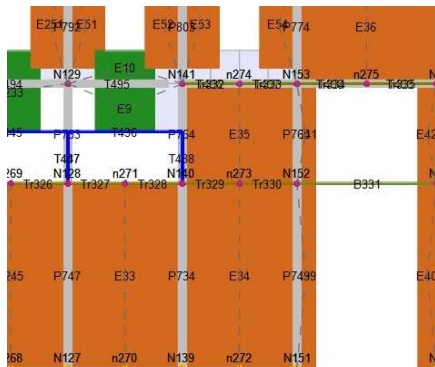


- Anche il poligono "rigido" del nodo è definibile mediante l'inserimento di una poligonale.

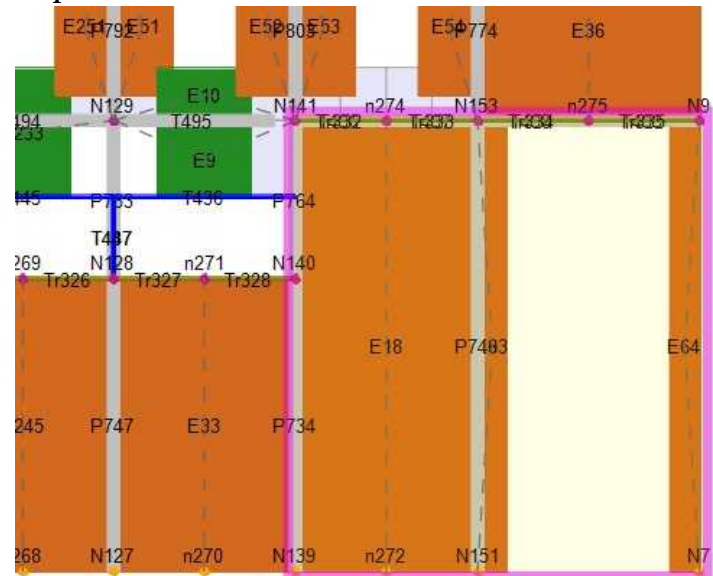


- Unire maschi su livelli differenti per creare "doppi volumi"

Prima dell'unione



Dopo l'unione



2.2.1.2 Scelta delle condizioni sismiche



Carico sismico: permette di impostare le zona sismica e la classe del suolo secondo le indicazioni della norma .

Per maggiori dettagli in merito a quanto indicato nelle seguenti finestre, si faccia riferimento a quanto descritto nelle corrispondenti norme.



NTC08



Eurocodice

Carico sismico

Forma spettro: Parametrica Diagramma Spettro

Classe suolo: A Calcola

	SLV	SLD	SLO
a_g [m/s ²]	1.28	0.50	0.38
F_0	2.46	2.43	2.46
T^*_C [s]	0.26	0.23	0.20
T_R	475.00	50.00	30.00
S_S	1.00	1.00	1.00
T_B [s]	0.09	0.08	0.07
T_C [s]	0.26	0.23	0.20
T_D [s]	2.12	1.80	1.75

Categoria topografica: T1 S_T 1.0

OK Annulla ?

Carico sismico

Forma spettro: Parametrica Diagramma Spettro

	NC	SD	DL
Verifica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
a_{gR} [m/s ²]	0.00	0.00	0.00
Classe suolo	A	A	A
S	1.00	1.00	1.00
T_B [s]	0.15	0.15	0.15
T_C [s]	0.40	0.40	0.40
T_D [s]	2.00	2.00	2.00

Coefficiente di importanza (I): 0.00

Ripristino default OK Annulla ?

 Eurocodice NL (Olanda)

 SIA

Carico sismico

Forma spettro: Parametrica Diagramma Spettro

	NC	SD	DL
Verifica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
k_{ag}	0.00	0.00	0.00
$a_{g,ref}$ [m/s ²]	0.00	0.00	0.00
T_B [s]	0.00	0.00	0.00
T_C [s]	0.00	0.00	0.00

Tipo suolo: Normale

OK Annulla ?

Carico sismico

Forma spettro: Parametrica Diagramma Spettro

Zona: Z1 a_g 0.600 [m/s²]

Classe suolo: A

S: 1.00

T_B : 0.15 [s]

T_C : 0.40 [s]

T_D : 2.00 [s]

Coefficiente di importanza (I): 1

OK Annulla ?

 NTC18

Carico sismico

Forma spettro: Parametrica Diagramma Spettro

Classe suolo: A Calcola

	SLC	SLV	SLD	SLO
► Verifica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
a_g [m/s ²]	0.65	0.55	0.28	0.23
F_0	2.81	2.76	2.59	2.58
T^*_C [s]	0.29	0.27	0.19	0.18
T_R	975.00	475.00	50.00	30.00
S_S	1.00	1.00	1.00	1.00
T_B [s]	0.10	0.09	0.06	0.06
T_C [s]	0.29	0.27	0.19	0.18
T_D [s]	1.86	1.82	1.72	1.69

Categoria topografica: T1 S_T 1.0

OK Annulla ?

NTC18

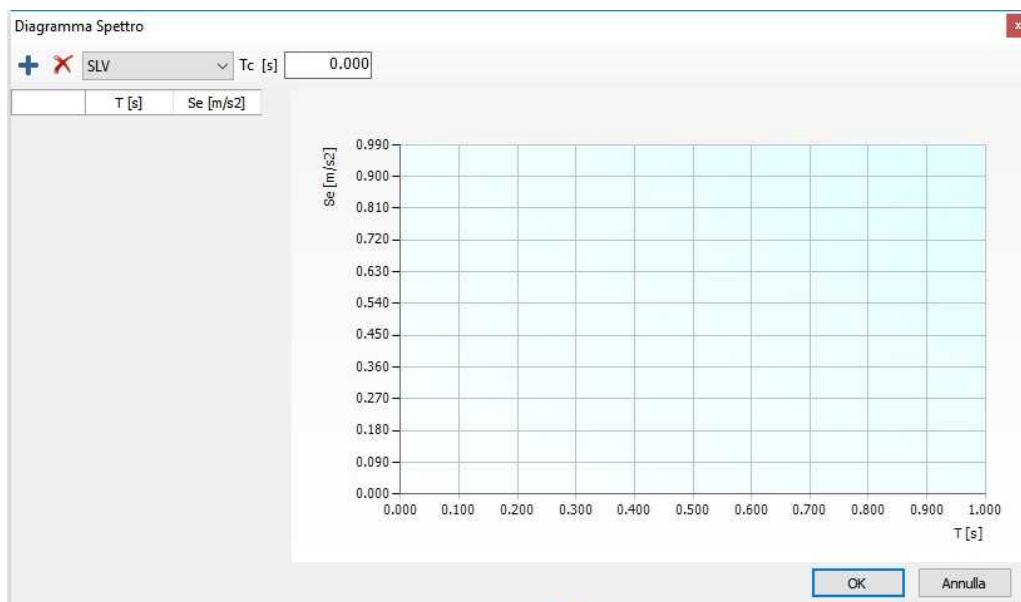
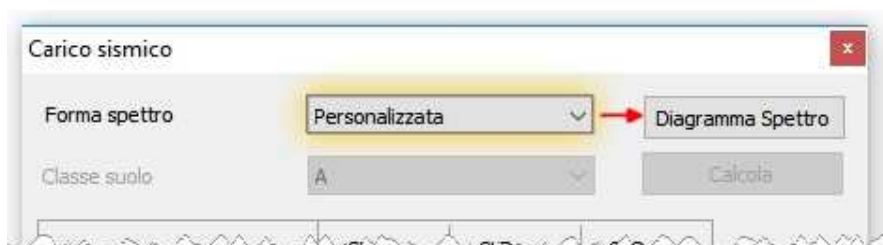
E' importante sottolineare che, a differenza della normativa precedente, vi è la possibilità di selezionare gli stati limite sui quali condurre la verifica, mediante la casella di spunta.

Eurocodice

Mediante la casella di spunta è possibile selezionare di quale stato limite condurre la verifica.

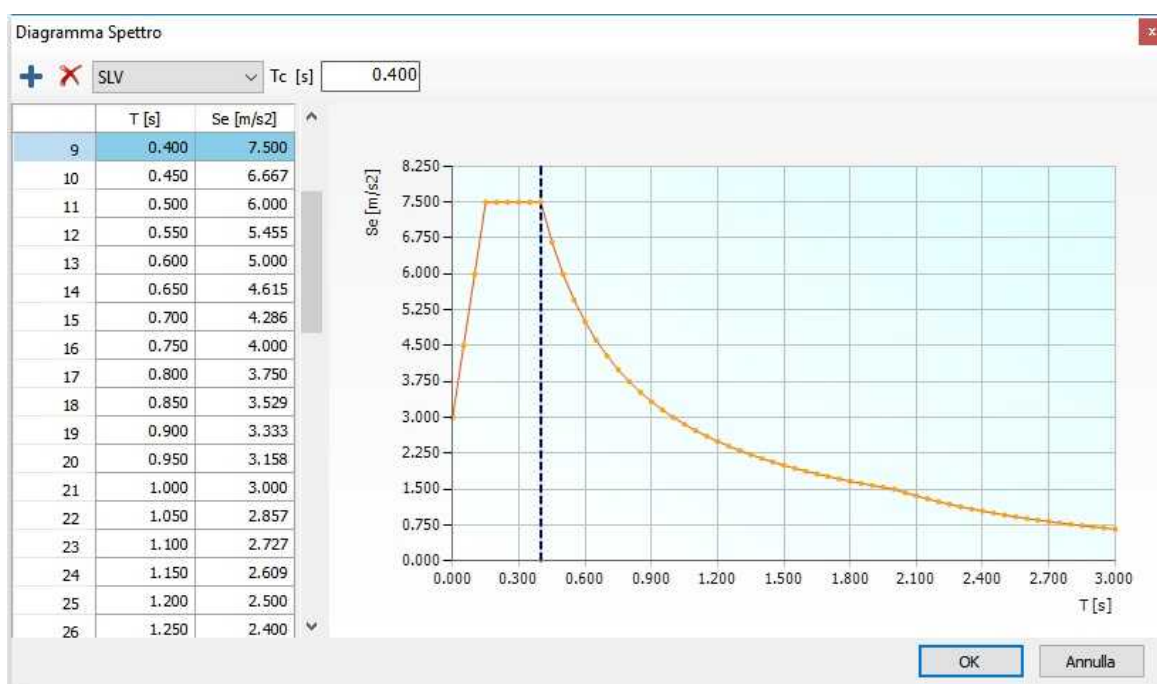
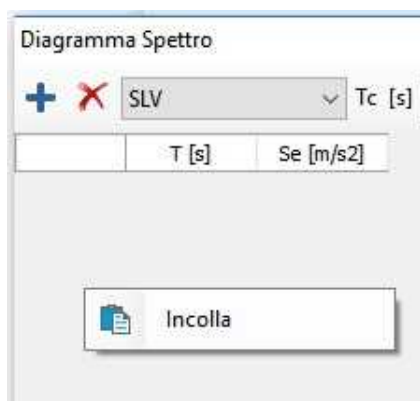
Definizione dello spettro per punti

Selezionando Forma spettro "Personalizzata" Si attiva il comando [Diagramma Spettro]



Esistono due differenti modalità per imputare la forma della curva :

- Mediante il pulsante [+] per creare la tabella una riga alla volta
- Mediante il comando incolla per dati provenienti da sorgenti esterne (es. Excel). Il comando Incolla compare con la pressione del tasto destro del mouse nell'area della tabella.



Il valore di T_c (periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante) deve essere definito manualmente dall'utente mediante il campo testuale in alto o cliccando direttamente su un punto del diagramma.

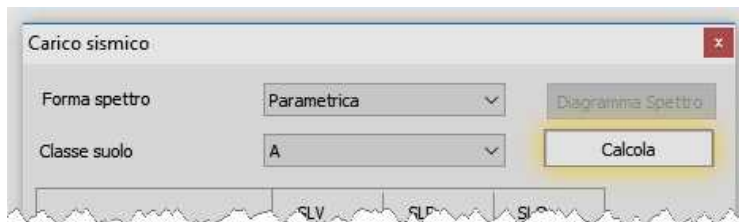
La tendina nella barra contiene la lista degli stati limite, selezionare ciascuno stato limite per definire singolarmente i punti dello spettro.

Qualora venga utilizzata la definizione per punti, la finestra dei risultati presenterà l'indice di vulnerabilità come fattore moltiplicativo della forma spettrale qui definita, tale da individuare il raggiungimento della condizione ultima dello stato limite richiesto.

NTC18

Nelle Norme Tecniche del Gennaio 2008, gli spettri sismici dipendono non più dalla zona sismica (come nelle norme precedenti) ma dalle coordinate geografiche del sito.

Nella finestra "Azione sismica" i "parametri di pericolosità sismica" sono definibili mediante il pulsante "Calcola".



Premendo tale pulsante viene presentata la seguente maschera:

E' possibile selezionare direttamente il comune mediante il Database interno oppure inserire direttamente la latitudine e la longitudine del sito.

World Geodetic System 84 (WGS 84)

Calcola i valori necessari a definire la forma dello spettro per ciascun stato limite riassumendoli nella parte bassa della finestra.

2.2.1.3 Analisi globale



Per accedere all'analisi globale della struttura selezionare "Calcolo globale" dalla tendina.

In questa fase viene eseguito il calcolo con la normativa attiva.

Molti dei parametri di calcolo definiti nella finestra "Impostazioni" sono già impostati in modo da andare bene per buona parte degli edifici esaminabili, altri sono calcolati in modo automatico dal programma in base alla geometria del modello. La direzione del sisma da prendere in esame e la scelta del nodo di controllo, spetta al progettista in base alle indicazioni riportate nella normativa.

La scelta delle distribuzioni di forze sismiche (proporzionale alle masse o al primo modo di vibrare) spetta al progettista.

La curva di capacità portante può essere tracciata monitorando come spostamento, al posto di quello del nodo di controllo quello medio di piano attivando la corrispondente casella.

Il programma prevede 24 condizioni di carico e quindi 24 push-over per tener conto del sisma secondo X e Y nei due versi e delle eccentricità accidentali richieste da normativa.

La distribuzione delle forze sismiche è proporzionale alle masse o al primo modo di vibrare.

Analisi

Nodo di controllo

Livello: [1] Livello 1 Spostamento del Nodo di controllo
 Spostamenti medi del livello selezionato
 Spostamenti Medi pesati

Nodo:

N.	Calcola analisi	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Eccentricità [cm]
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	0.0
2	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	0.0
3	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	0.0
4	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	0.0
5	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	0.0
6	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	0.0
7	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	0.0
8	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	0.0
9	<input type="checkbox"/>	+X	Masse	25.0
10	<input type="checkbox"/>	+X	Masse	-25.0
11	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	25.0
12	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	-25.0
13	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	25.0
14	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	-25.0
15	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	25.0
16	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	-25.0
17	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	41.2
18	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	-41.2
19	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	41.2
20	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	-41.2
21	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	41.2
22	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	-41.2
23	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	41.2
24	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	-41.2

Dati generali

Piano Campagna: [cm]
 Step critico:
 Precisione p.p.:

Abilita analisi

Dir. sisma:
 Carico sismico:
 Eccentricità:

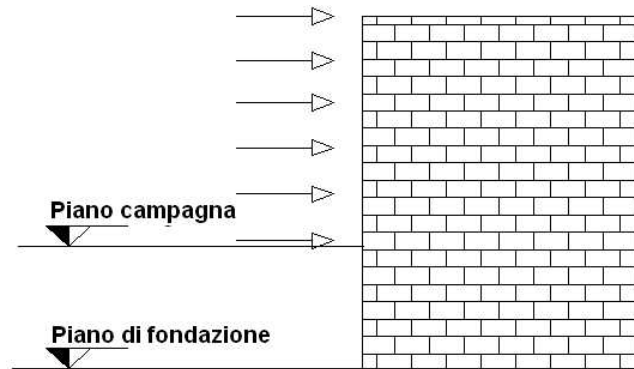
Sottopassi:
 Precisione:
 Spostamento max: [cm]
 Applica a tutte

Dati generali:

Dati generali

Piano Campagna: [cm]
 Step critico:
 Precisione p.p.:

Piano campagna: rappresenta la quota del piano di campagna, il programma assegna la quota 0 al punto più basso della struttura. La possibilità di inserire tale quota permette di definire il punto da cui far partire il carico sismico. Il valore di tale quota deve essere compreso tra la quota di fondazione (per convenzione nulla) e la quota massima tra quella di tutti i nodi vincolati.

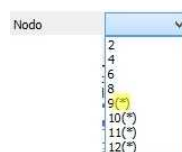


Step critico: rappresenta il numero massimo di passi di analisi che il solutore dovrà eseguire prima di arrestare il calcolo qualora non trovi convergenza.

Precisione p.p.: rappresenta il grado di precisione raggiunto dal calcolo nel primo passo di calcolo (in cui è presente solo il p.p.)

Opzioni nodo di controllo: la definizione di un nodo di controllo è obbligatoria per effettuare il calcolo; è consigliabile scegliere tale nodo in corrispondenza dell'ultimo livello della struttura.

- **Spostamento del Nodo di controllo:** La curva di capacità viene tracciata in base allo spostamento del solo nodo di controllo.
- **Spostamenti medi del livello selezionato:** La curva di capacità viene tracciata in base allo spostamento medio di tutti i nodi del livello a cui appartiene il nodo di controllo.
- **Spostamenti medi pesati:** La curva di capacità viene tracciata in base allo spostamento medio-pesato (pesato sulle masse) di tutti i nodi del livello a cui appartiene il nodo di controllo. Se il solaio fosse infinitamente rigido, tale spostamento equivarrebbe allo spostamento del baricentro.



Il nodo di controllo può essere scelto dalla tendina.

Il simbolo (*) indica un nodo sommitale di una copertura.

Molto spesso, si predilige evitare di eseguire il calcolo con un nodo sommitale di tipo tetto perchè il comportamento deformativo in corrispondenza di un colmo potrebbe non essere indicativo del reale comportamento deformativo della struttura.

Questa finestra permette di eseguire analisi multiple in cascata distinte per direzione, verso, tipo di carico sismico ed eccentricità.

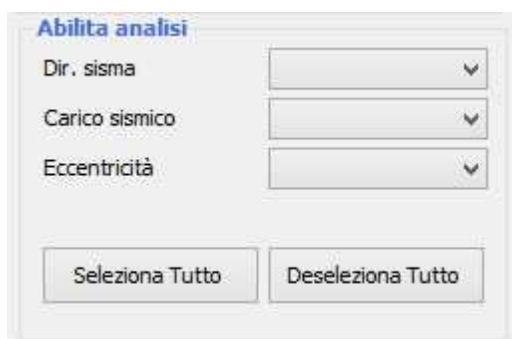
Direzione: indica la direzione secondo cui agisce il sisma.

Verso: positivo se concorde con il verso positivo dell'asse esaminato.

Carico sismico: Proporzionale alle masse o al primo modo di vibrare.

Eccentricità: Eccentricità accidentale del centro di massa rispetto al centro delle rigidezze calcolata in modo automatico secondo le prescrizioni normative.

Utilizzando lo spazio apposito, si possono eseguire analisi multiple attivandole mediante i filtri di selezione.



Seleziona Tutto

Abilita il calcolo di tutte le analisi attualmente disabilitate

Deseleziona Tutto

Disabilita il calcolo di tutte le analisi attualmente attive

I parametri di ogni analisi sono impostabili mediante l'apposita area.



Sottopassi: rappresentano il numero degli incrementi di spostamento compiuti dal solutore per la distribuzione delle azioni sismiche.

Precisione: rappresenta il grado di precisione raggiunto dal calcolo non lineare.

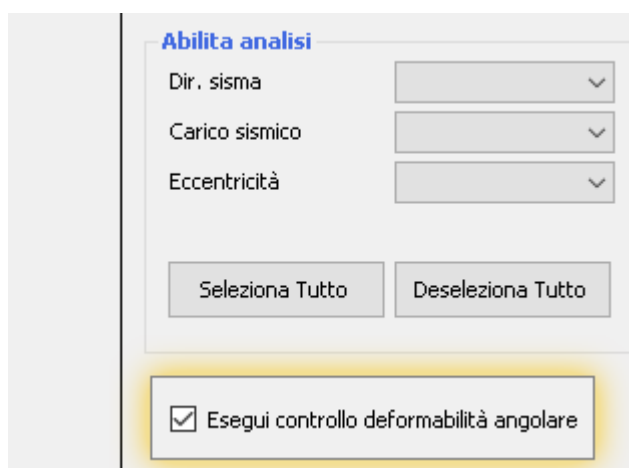
Spostamento max: rappresenta lo spostamento massimo che potrà subire il nodo di controllo della struttura.

Applica a tutte: Con la spunta attiva i valori vengono applicati a tutte le analisi; se la spunta è disattiva vengono applicati solo all'analisi selezionata.

NTC 18

Analisi deformabilità angolare

In caso di Normativa corrente NT17 compare la voce "Esegui controllo deformabilità angolare". Maggiori spiegazioni teoriche sono presenti al capitolo: Analisi deformabilità angolare.



2.2.1.4 Velocità di esecuzione

3Muri dispone di un motore di calcolo ottimizzato che consente di elaborare una struttura di dimensioni medie (3-4 piani) in pochi minuti.

Grazie alla modellazione con il metodo FME il numero di incognite prese in conto è sensibilmente minore rispetto ad altri metodi.

2.2.2 Verifiche locali statiche

Questo modulo esegue le verifiche statiche locali.

Il programma utilizza la mesh già creata per eseguire l'analisi non lineare, adattando la teoria del telaio equivalente per eseguire le verifiche statiche in campo lineare.

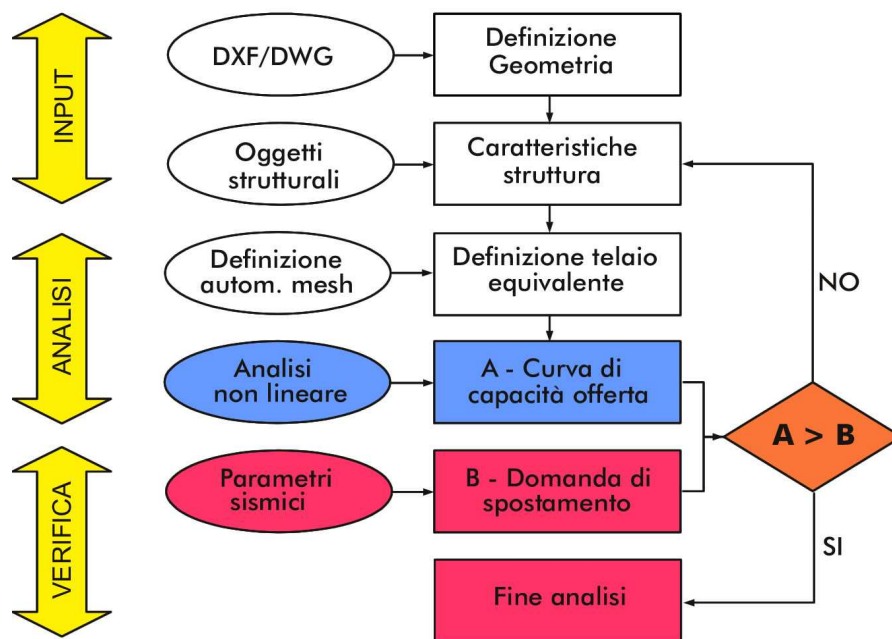
2.2.3 Analisi Dinamica Modale

Questo è un ambiente dedicato al calcolo delle forme modali ed ai parametri ad esse associati.

Premendo il corrispondente pulsante mostrato nella barra di analisi, è possibile definire il n. di forme modali desiderate.



2.3 Fase 3: i risultati



Flusso della terza fase: i risultati

Area dedicata alla presentazione dei risultati

Al termine dell'esecuzione del calcolo è possibile ottenere la presentazione dei risultati



Comandi per l'analisi e la presentazione dei risultati

Come indicato nello schema la verifica è realizzata tramite il confronto tra domanda di spostamento e spostamento offerto.

Se tale valore non è verificato, è possibile prevedere interventi che migliorino le capacità della struttura.

2.3.1 Analisi statica non lineare

I risultati dell'analisi non lineare sono presentati in modo sintetico per le diverse analisi effettuate, e di dettaglio per ogni singola analisi.

2.3.1.1 Presentazione sintetica

Questa finestra permette di visualizzare i risultati in modo sintetico.

Ogni riga riporta il risultato dell'analisi in verde se verificata, altrimenti in rosso.

N.	Inserisci in relazione	Dir. sistema	Carico sismico proporzionale	Ecc. (cm)	Demax SLV (cm)	Du SLV (cm)	q* SLV	Demax SLD (cm)	Dd SLD (cm)	Demax SLO (cm)	Do SLO (cm)	Alfa u	Alfa e
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	0	0,041	1,140	0,570	0,022	0,792	0,019	0,531	5,265	10,678
2	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	0	0,041	1,140	0,570	0,022	0,792	0,019	0,531	5,265	10,678
3	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	0	0,041	1,140	0,570	0,022	0,792	0,019	0,531	5,265	10,678
4	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	0	0,041	1,140	0,570	0,022	0,792	0,019	0,531	5,265	10,678
5	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	0	0,195	2,074	1,283	0,062	1,008	0,052	0,701	2,338	6,377

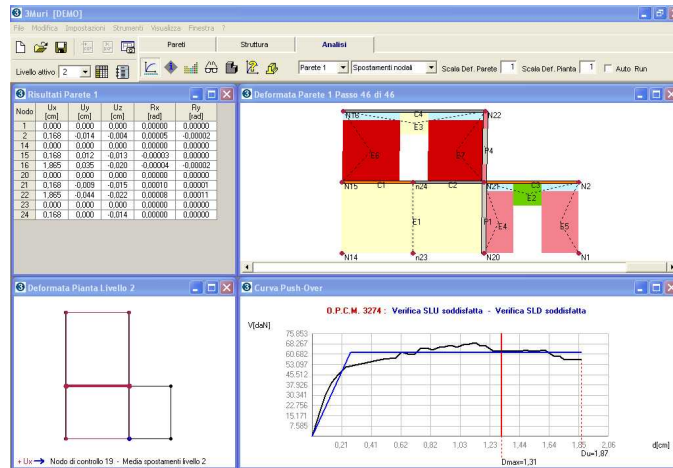
Visualizzazione della finestra di dialogo dei risultati dell'analisi (in questo caso verificata perchè in verde)

Sono inoltre riportati i valori di

- spostamento richiesto per stato limite ultimo e di danno
- spostamento offerto per stato limite ultimo e di danno
- q^* = fattore di struttura calcolato
- α_u = grado di vulnerabilità per stato limite ultimo
- α_e = grado di vulnerabilità per stato limite di danno

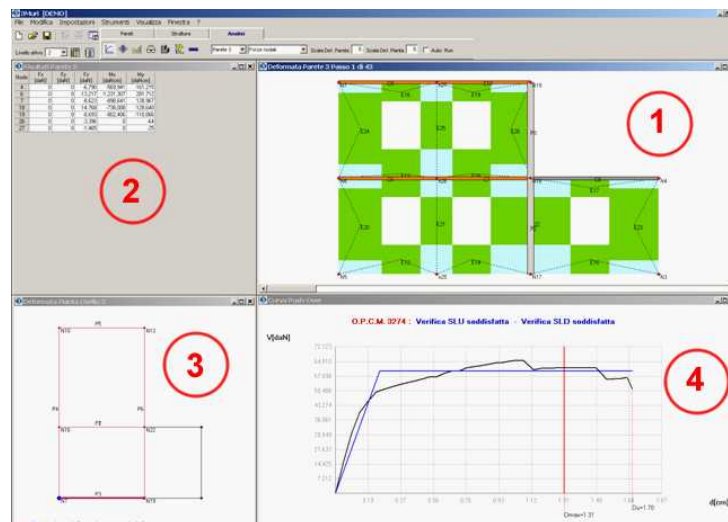
2.3.1.2 Presentazione di dettaglio

Per ogni analisi viene presentata la curva push-over e la schematizzazione della bilatera del sistema equivalente. A seconda della normativa scelta vengono visualizzate le condizioni di verifica corrispondenti.



Visualizzazione della finestra di dialogo con più schermate: i risultati, la parete danneggiata, la struttura in pianta (dove si vede la parete selezionata), e la curva di pushover

E' possibile esaminare qualsiasi parametro della risposta della costruzione, al fine di una adeguata comprensione del comportamento strutturale. Questi dati sono necessari per progettare al meglio eventuali interventi di adeguamento o miglioramento sismico.



La presentazione dei risultati avviene in 4 aree:

zona 1: è visibile il prospetto della parete interessata;

zona 2: sono riportati i risultati numerici;

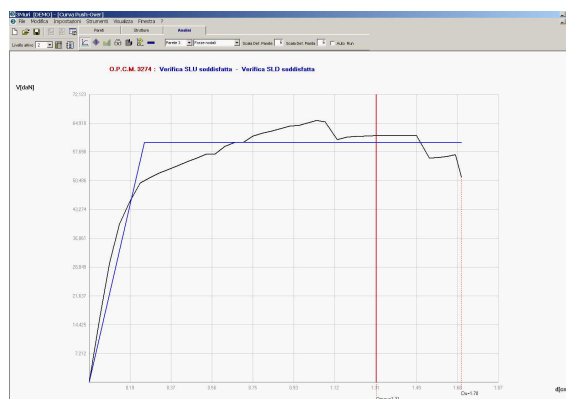
zona 3: è presentata la pianta generale deformata in funzione del passo di carico. Inoltre è evidenziata la parete riportata in zona 1);

zona 4: è presentata la curva sforzo-deformazione relativa all'intera struttura.

2.3.1.2.1 Curva sforzo deformazione

Risultato della "Analisi statica non lineare" è la taglio alla base – spostamento relativa ad un nodo di controllo.

Dalla curva così ottenuta viene definita la bilineare equivalente ed effettuata la verifica sismica globale dell'edificio.



Rappresentazione della curva sforzo - deformazione

Il limite della curva a destra indica lo spostamento fornito dalla struttura.

La barra rossa verticale indica lo spostamento minimo richiesto dalla normativa. Se questo valore risulta inferiore al limite destro della curva, la struttura è verificata.

Se invece la struttura non è verificata, è possibile prevedere miglioramenti mediante placcaggi o iniezioni, oppure inserendo nuovi elementi con materiali diversi, ad esempio setti in c.a., travi, pilastri, cordoli, catene.

Operando in questo modo non è più necessario verificare i singoli elementi, in quanto il loro contributo è implicitamente preso in conto nella fase di analisi dell'intera struttura.

Il modello 3Muri, attraverso lo studio del comportamento elasto-plastico degli elementi consente di valutare in ogni istante le condizioni degli elementi singoli e della struttura globale.

La verifica si ottiene quindi in termini prestazionali, cioè di capacità della struttura di subire spostamenti superiori a quanto richiesto dalla norma.

2.3.1.2.2 Risultati numerici

La finestra dati presenta i valori degli spostamenti, delle caratteristiche di sollecitazione e di deformazione dei nodi per le varie pareti che compongono la struttura per ogni sottopasso dell'analisi.

The screenshot shows a window titled "Risultati Parete 3" with a table of nodal results. The table has columns for Node (Nodo), Ux [cm], Uy [cm], Uz [cm], Rx [rad], and Ry [rad]. The data is as follows:

Nodo	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [rad]	Ry [rad]
3	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000
4	0,172	-0,026	-0,015	0,00005	0,00013
5	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000
6	0,174	0,018	-0,005	-0,00007	0,00010
7	1,358	0,044	-0,010	-0,00010	0,00010
17	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000
18	0,172	-0,013	-0,008	-0,00078	0,00028
19	1,354	-0,041	-0,019	-0,00064	0,00052
25	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000
26	0,174	0,000	-0,005	0,00000	-0,00002
27	1,354	0,000	0,000	0,00000	0,00009

Below the table, there is a dropdown menu with the following options: Spostamenti nodali, Spostamenti nodali, Forze nodali, Reazioni vincolari, Sollecitazioni elementi, Sollecitazioni travi, Sollecitazioni catene, Sollecitazioni pilastri, and Sollecitazioni setti parete.

In questa finestra ogni valore risulta selezionabile. Si possono trasmettere i risultati in altri programmi (Word, Excel, ecc..).

E' inoltre visualizzato l'andamento delle deformate, sia di pianta che della parete, il differente colore mette in luce lo stato di avanzamento del danno nei vari macroelementi.

Osservando le tonalità di colore presenti nella mappa della parete deformata, si può facilmente determinare i macroelementi danneggiati e la causa del danneggiamento (taglio, presso flessione).

Per tutti gli elementi non danneggiati è anche possibile valutare la tendenza al danneggiamento, andando a distinguere se entrano in campo plastico per taglio o per presso flessione.

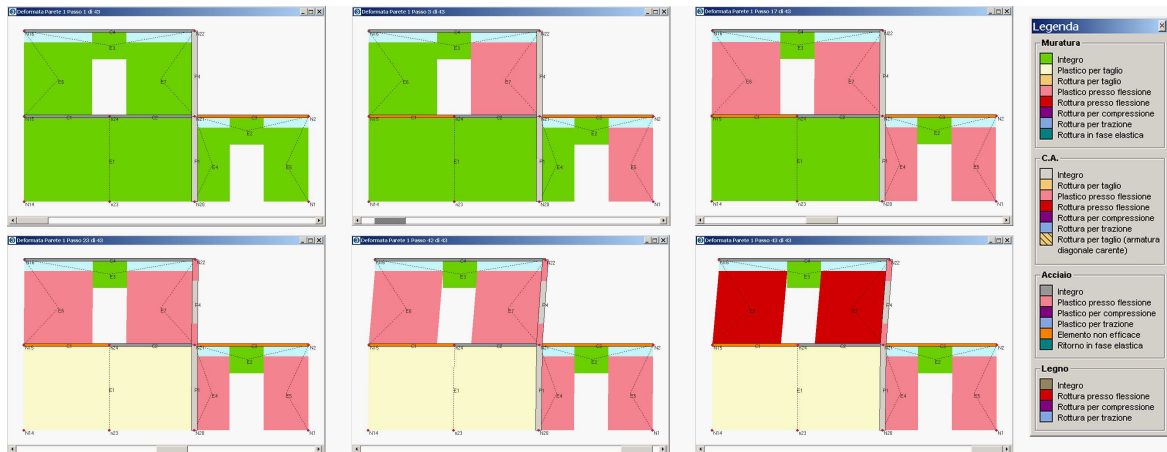
Questo tipo di visualizzazione non riguarda solamente gli elementi murari ma anche quelli in C.A., acciaio o legno.

Tale strumento, mostra una grande potenzialità per la gestione di eventuali interventi di adeguamento sull'esistente, in quanto si dimostra molto efficace per l'individuazione delle zone in cui intervenire.

2.3.1.3 Evoluzione del danneggiamento

Dopo aver effettuato l'analisi push-over è possibile visualizzare l'andamento del danneggiamento nella struttura, secondo il procedimento di carico previsto.

Spostando infatti il cursore che indica la storia di carico, si ottiene l'animazione della propagazione del danno della struttura.



Rappresentazione della storia di carico con la propagazione del danno strutturale

Nelle immagini, da sinistra a destra in alto e quindi in basso, si nota la variazione di stato degli elementi, inizialmente integri, in seguito plasticizzati ed infine collassati.

La mappa dei colori, come riportato nella figura seguente, indica il significato di ogni colorazione.

Legenda	
Muratura	
	Integro
	Plastico per taglio
	Rottura per taglio
	Plastico presso flessione
	Rottura presso flessione
	Rottura per compressione
	Rottura per trazione
	Rottura in fase elastica
C.A.	
	Integro
	Rottura per taglio
	Plastico presso flessione
	Rottura presso flessione
	Rottura per compressione
	Rottura per trazione
	Rottura per taglio (armatura diagonale carente)
Acciaio	
	Integro
	Plastico presso flessione
	Plastico per compressione
	Plastico per trazione
	Elemento non efficace
	Ritorno in fase elastica
Legno	
	Integro
	Rottura presso flessione
	Rottura per compressione
	Rottura per trazione

Tabella dei colori per tipologia del danno strutturale

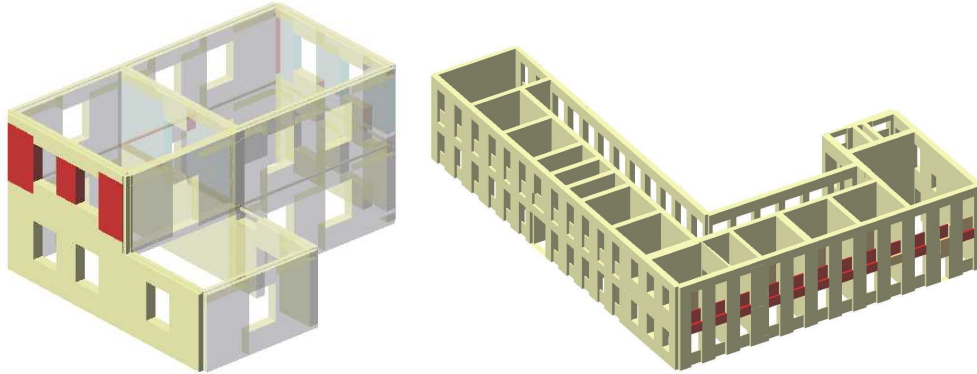
L'output grafico del programma permette di visualizzare la configurazione deformata dei solai e delle singole pareti ai vari passi di carico, evidenziando il grado di danneggiamento nei macroelementi. Sono tabellati i risultati numerici delle analisi (frequenze dell'analisi modale, spostamenti dei nodi, etc.).

È inoltre possibile esportare i risultati in formato Excel o testo.

Per ogni analisi dinamica è possibile ottenere una storia temporale degli spostamenti nei nodi o degli altri parametri significativi dell'analisi (drift di interpiano, danneggiamento e rottura degli elementi, sollecitazioni), individuando automaticamente i valori massimi e minimi.

2.3.1.4 La presentazione 3d del modello danneggiato

Per ottenere una chiara rappresentazione del danneggiamento della struttura è possibile presentarne l'evoluzione anche in modalità 3d, evidenziando in questo modo le parti con il livello di danneggiamento raggiunto.



Struttura in 3D con pareti danneggiate indicate in rosso

Queste rappresentazioni evidenziano gli elementi che hanno raggiunto lo stato di rottura.

In questo modo diventa facile conoscere i meccanismi di rottura ed intervenire con eventuali rinforzi in modo mirato.

Visualizzando la struttura in trasparenza e mostrando i soli elementi rotti è più semplice individuare le zone critiche.

2.3.1.5 Analisi pushover parete singola

L'analisi statica non lineare (pushover) è comunemente conosciuta come analisi globale di edificio.

Tutte le analisi globali richiedono che l'edificio possieda un buon comportamento scatolare.

Alcune volte, la pratica progettuale ci mette di fronte a casi in cui la limitata rigidità dei solai su porzioni della struttura possa influenzare in modo importante il comportamento complessivo dell'edificio.

Pareti collegate al contesto strutturale attraverso solai di limitata rigidità possono rendere opportune verifiche di pareti singole.

Una nuova funzione permette di selezionare graficamente più pareti di cui si desidera condurre la verifica della singola parete.

Per ciascuna parete il programma genera automaticamente 4 analisi per tenere in conto delle 2 direzioni per 2 distribuzioni di carico differenti.

Analisi

Nodo di controllo

+ ✖

Livello [1] Livello 1

Nodo

Spostamento del Nodo di controllo
 Spostamenti medi del livello selezionato
 Spostamenti Medi pesati

Parete 1
 Parete 3
 Parete 7

Parete	N.	Calcola analisi	Nodo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale
1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	2	+	Masse
1	2	<input checked="" type="checkbox"/>	2	+	1° modo
1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2	-	Masse
1	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2	-	1° modo
3	1	<input checked="" type="checkbox"/>	6	+	Masse
3	2	<input checked="" type="checkbox"/>	6	+	1° modo
3	3	<input checked="" type="checkbox"/>	6	-	Masse
3	4	<input checked="" type="checkbox"/>	6	-	1° modo
7	1	<input checked="" type="checkbox"/>	16	+	Masse
7	2	<input checked="" type="checkbox"/>	16	+	1° modo
7	3	<input checked="" type="checkbox"/>	16	-	Masse
7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	16	-	1° modo

Dati generali

Piano Campagna [cm]

Step critico

Precisione p.p.

Parametri di calcolo

Sottopassi

Precisione

Spostamento max [cm]

Applica a tutte

Abilita analisi

Dir. sisma

Carico sismico

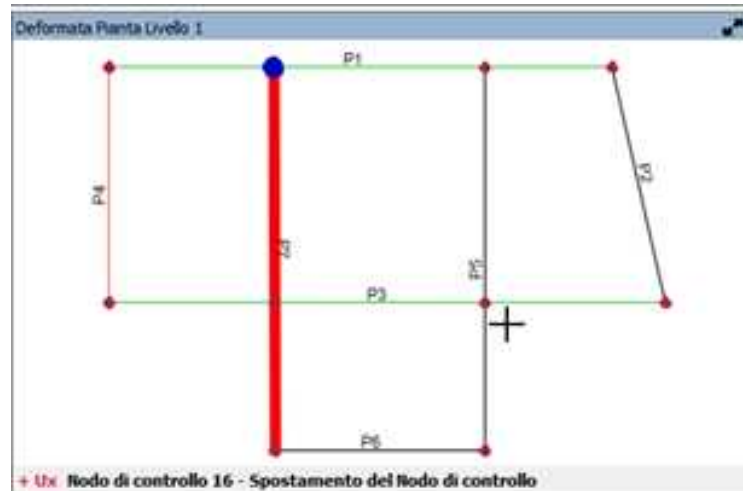
I risultati saranno mostrati in un ambiente simile a quello delle verifiche globali.

Parete	N.	Nodo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	σ SLV	σ SLD	σ SLO
1	1	2	+	Masse	4.245	5.969	7.812
1	2	2	+	1° modo	4.245	5.969	7.812
1	3	2	-	Masse	3.275	4.326	5.647
1	4	2	-	1° modo	3.275	4.326	5.647
3	1	6	+	Masse	7.840	7.353	9.566
3	2	6	+	1° modo	7.840	7.353	9.566
3	3	6	-	Masse	7.303	8.044	10.489
3	4	6	-	1° modo	7.303	8.044	10.489
4	1	2	+	Masse	0.010	0.012	0.016
4	2	2	+	1° modo	0.010	0.012	0.016
4	3	2	-	Masse	0.010	0.041	0.016
4	4	2	-	1° modo	0.010	0.041	0.016
7	1	16	+	Masse	0.051	0.040	0.053
7	2	16	+	1° modo	0.051	0.040	0.053
7	3	16	-	Masse	0.040	0.037	0.050
7	4	16	-	1° modo	0.040	0.037	0.050

Nella parte alta, una tabella contiene il riassunto delle analisi condotte per le pareti richieste.

Le prime colonne descrivono il tipo di analisi, (parete, nodo, distribuzione di carico); le ultime mostrano gli indici di vulnerabilità per ciascuno degli stati limite.

Il colore di sfondo, verde oppure rosso, distingue le analisi superate da quelle che superate non sono.




Nella vista in pianta le pareti calcolate sono disegnate in rosso o verde a seconda dell'esito della verifica.

2.3.1.6 Analisi fondazioni

Si possono visualizzare i risultati relativi alle fondazioni per ogni sottopasso di analisi.

Per ciascuno di questi, viene mostrata la tensione a contatto con il suolo (terreno-fondazione) al passo corrente ed il valore massimo tra il primo passo e quello corrispondente al valore di spostamento pari a D_{max} .



The screenshot shows a software window titled "3 Interroga fondazioni". It contains a table with the following data:

Segmento Parete	Passo corr. sigma I	Passo corr. sigma J	Val. max sigma I	Val. max sigma J	Parete
M8	0,71	0,63	0,83	0,83	1
M7	0,83	0,71	0,83	0,83	1
M2	0,65	0,63	0,87	0,87	2
M3	0,85	0,65	0,87	0,87	3
M4	0,85	0,81	0,87	0,87	4
M5	0,81	0,68	0,87	0,87	5
M10	0,71	0,68	0,87	0,87	6

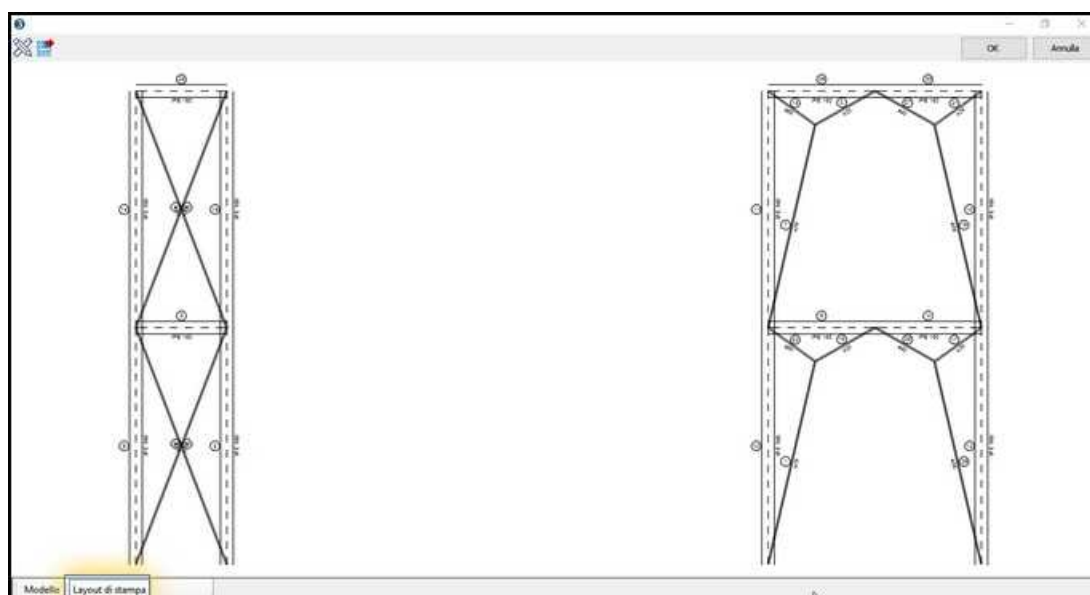
Additional interface elements include a "Sottopasso: 1 di 46" indicator, a "Carica parete" button, and standard window controls.

Finestra di dialogo dei valori della tensione a contatto con il suolo

2.3.2 Layout grafico elementi acciaio

Telai in acciaio, elementi di rinforzo e cerchiature in acciaio sono spesso elementi di nuova realizzazione che vengono progettati con lo scopo di migliorare le prestazioni altrimenti carenti della muratura esistente. In questi casi, trattandosi di elementi nuovi, il progettista si trova spesso a dover preparare delle tavole esecutive.

3Muri permette di generare tavole grafiche in formato DXF successivamente elaborabili con un generico sistema CAD.



elementi in acciaio

Layout grafico degli

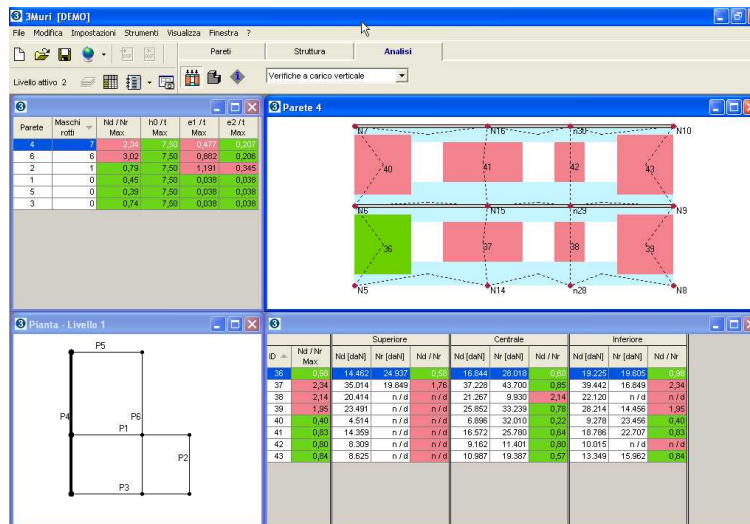
2.3.3 Verifiche locali statiche

Sono eseguite le verifiche relative a:

Controllo di snellezza: (2.2.1.3. D.M.87)

Controllo di eccentricità dei carichi: (2.2.1.2. D.M.87)

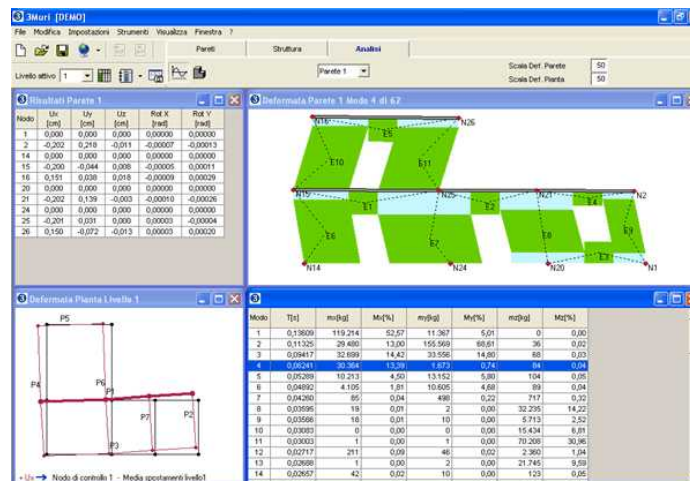
Verifica ai carichi verticali: (2.4.2.2. D.M.87)



Veduta con la presentazione dei risultati

2.3.4 Analisi Dinamica Modale

Terminato il calcolo dell'analisi dinamica modale si accede alla presentazione dei risultati.



Analisi dinamica modale: visualizzazione dei risultati di una singola parete selezionata

Nella tabella in basso a destra viene presentata la lista delle forme modali.

La tabella riporta i dati seguenti:

Modo: Numero identificativo della forma modale

T[s]: Periodo fondamentale

m_x [kg]: Massa partecipante direzione X

M_x [%]: Percentuale di massa partecipante direzione X

m_y [kg]: Massa partecipante direzione Y

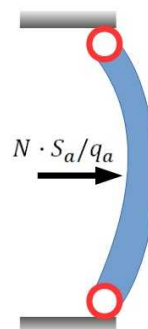
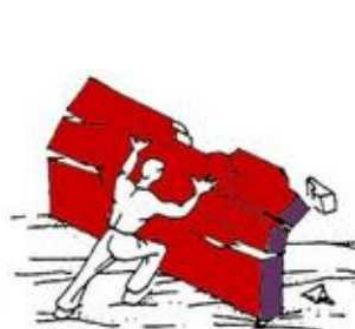
M_y [%]: Percentuale di massa partecipante direzione Y

m_z [kg]: Massa partecipante direzione Z

M_z [%]: Percentuale di massa partecipante direzione Z

2.3.5 Analisi flessione fuori piano

Le verifiche di tipo flessionale servono per tenere in conto del comportamento di fuori piano della muratura. Queste verifiche sono di tipo locale, basate su un controllo in termini di resistenza mediante l'applicazione dei criteri di resistenza indicati nelle vigenti normative.



N.	▲ Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s ²]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s ²]	MRd/Med
19	2'691	17'189	0.23	15'340	34'050	2.84	2.22
20	12'641	53'553	0.23	72'047	144'856	2.57	2.01
21	12'284	51'032	0.23	70'015	139'909	2.55	2.00
22	3'284	19'710	0.23	18'719	41'056	2.80	2.19

2.4 Relazione di calcolo

Dopo aver effettuato l'analisi il gestore di relazione di calcolo consente la produzione del documento finale. I dati sono estrapolati dal data base di calcolo secondo specifiche personalizzabili da parte dell'utente.

Molto spesso, il prodotto della generazione automatica della relazione conduce a un "semilavorato" che richiede interventi importanti da parte dell'utente prima di arrivare a una versione definitiva e consegnabile. Quasi sempre questa fase è ripetitiva e noiosa, automatizzarla permette di risparmiare tempo.

Una relazione di calcolo totalmente rinnovata permette di inserire automaticamente in reportistica alcune immagini delle viste in pianta e assonometriche.



Un capitolo introduttivo illustra i legami costitutivi non lineari delle murature e una tabella creata automaticamente contiene delle descrizioni testuali delle tipologie di murature inserire.

Una legenda di colori ci permette di associare visivamente i materiali in tabella con quelli mostrati nel 3D.

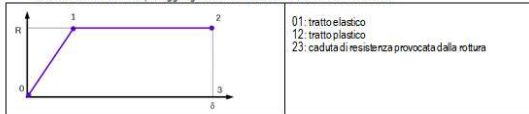
Materiali

Comportamento meccanico della muratura

Le proprietà meccaniche del materiale muratura sono definite in modo da individuare al meglio il comportamento in campo non lineare.

Le caratteristiche principali sono:

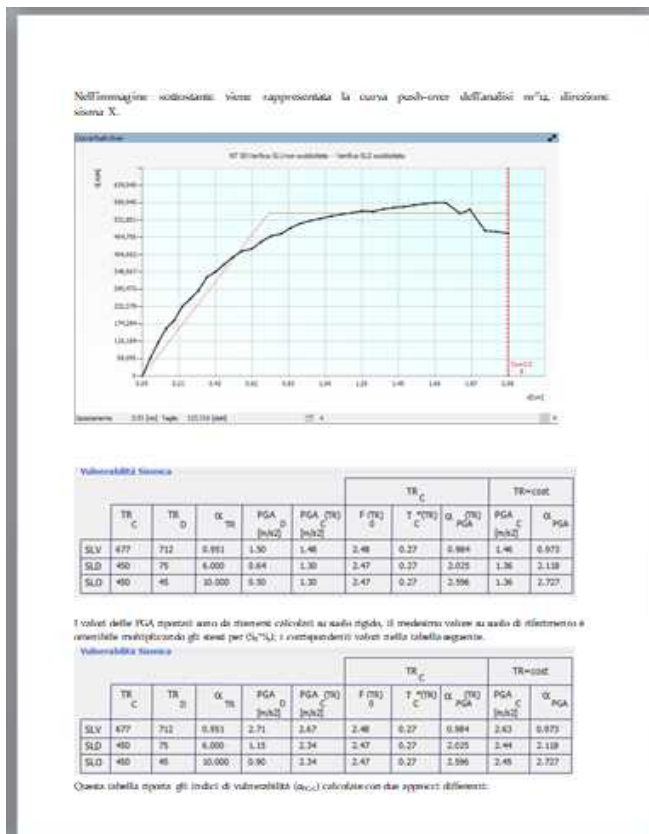
- Rigidezza iniziale secondo le caratteristiche elastiche (fessurate) del materiale;
- Comportamento bilineare con valori massimi di taglio e momento coerenti con i valori di stato limite;
- Redistribuzione delle sollecitazioni interne all'elemento tali da garantire l'equilibrio;
- Settaggio dello stato di danno secondo i parametri globali e locali;
- Degradazione della rigidezza nel ramo plastico;
- Controllo di duttilità mediante la definizione di drift massimo (δ_u) differenziato secondo quanto previsto nelle normative vigenti a seconda del meccanismo di danneggiamento agente sul pannello
- Eliminazione dell'elemento, al raggiungimento dello δ_u senza interruzione dell'analisi.



Il comportamento non lineare si attiva quando un valore di forza nodale raggiunge il suo massimo valore definito come il minimo fra i criteri di resistenza a pressoflessione e taglio.

Nome	Tipo	Colore	Descrizione
Muratura mattoni	Muratura		Muratura in mattoni pieni e malta di calce (con peso specifico pari a 18 kN/m ³) livello di conoscenza 2, Limitate indagini LC2, malta buona.
Pietra esistente	Muratura		Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) (con peso specifico 19 kN/m ³), livello di conoscenza 2, Limitate indagini LC2. La relazione tecnica sulle prove riportata in allegato l'esito delle prove sui campioni M1 e M2.
Mattoni doppia cortina	Muratura		Muratura a doppia cortina, paramento esterno (12cm) in mattoni pieni, paramento interno (12cm) in mattoni semipieni.

Nome	Tipo	Colore	Descrizione
Muratura mattoni	Muratura		Muratura in mattoni pieni e malta di calce (con peso specifico pari a 18 kN/m ³) livello di conoscenza 2, Limitate indagini LC2, malta buona.
Pietra esistente	Muratura		Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) (con peso specifico 19 kN/m ³), livello di conoscenza 2, Limitate indagini LC2. La relazione tecnica sulle prove riportata in allegato l'esito delle prove sui campioni M1 e M2.
Mattoni doppia cortina	Muratura		Muratura a doppia cortina, paramento esterno (12cm) in mattoni pieni, paramento interno (12cm) in mattoni semipieni.



Il capitolo dedicato ai risultati contiene le immagini della curva di capacità e tabelle accurate degli indici di vulnerabilità calcolati sia sulle accelerazioni e sui periodi di ritorno per le analisi più gravose nelle due direzioni principali.

Il documento finale può essere presentato in anteprima con esportazione nei vari formati standard (DOC, HTML, PDF, XLS).

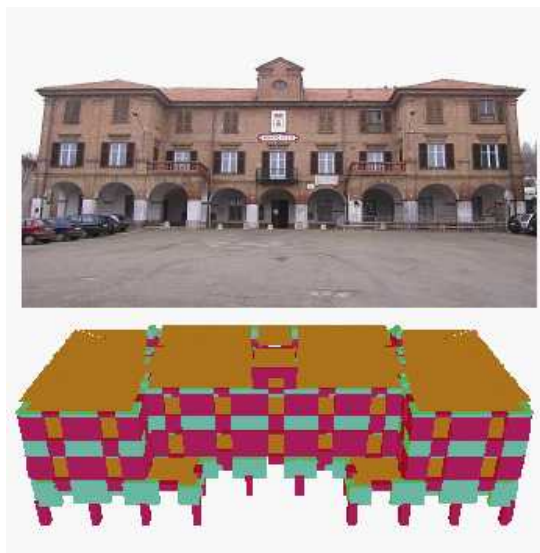
Vantaggio

Risparmio di tempo nella stesura della reportistica.

3 Le verifiche del metodo FME

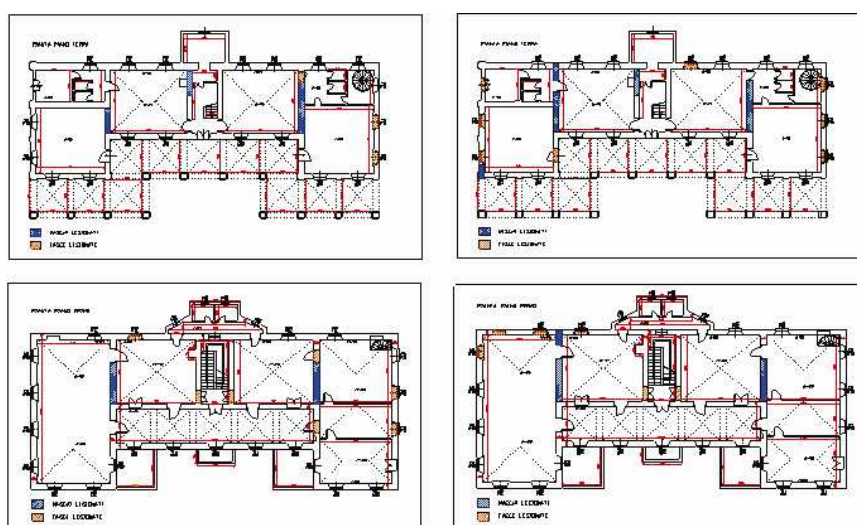
Per verificare l'affidabilità della soluzione teorica, sono stati confrontati i danni subiti dal Municipio del Comune di Castelnuovo Belbo in occasione del terremoto nel Monferrato nel 2000 con le previsioni di danno calcolate con 3Muri.

I risultati numerici calcolati si sovrappongono con ottima approssimazione al rilievo degli effettivi danneggiamenti riscontrati, indice della capacità di 3Muri di esaminare la realtà come nessun altro software ha mai fatto sino ad ora.



Danni subiti dal Municipio del Comune di Castelnuovo Belbo

A sinistra sono indicati, per il piano terreno e per il primo piano, i danneggiamenti riscontrati nella strutture reale, a destra i danneggiamenti previsti con il modello 3Muri.



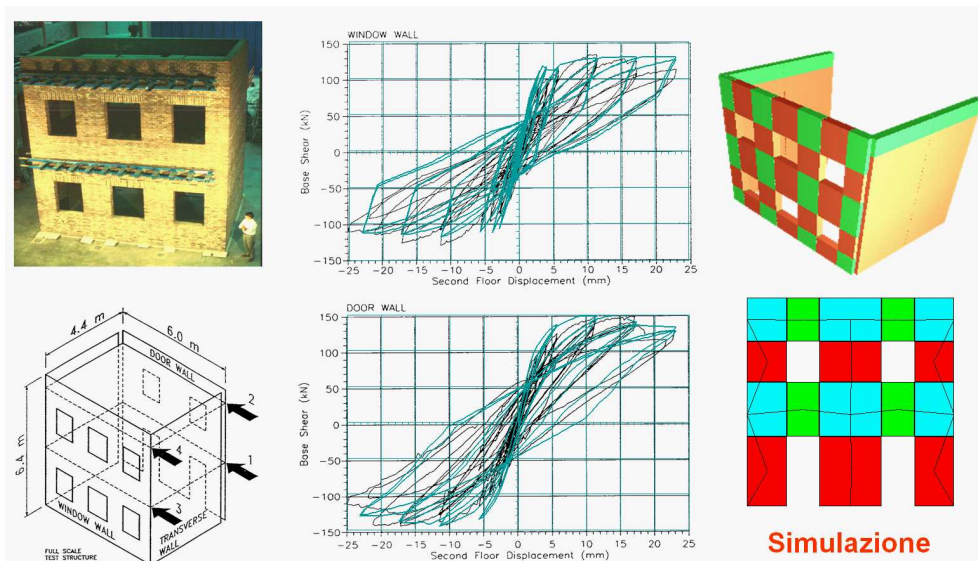
Elaborati grafici in pianta del Municipio del Comune di Castelnuovo Belbo

Il rilievo dei danni causati dal terremoto coincide quasi completamente con l'analisi effettuata con 3Muri

3.1 Prove sperimentali

Presso diversi centri di ricerca sono stati realizzati modelli in scala reale, portandoli a rottura con carichi dinamici.

Anche in questo caso l'analisi teorica effettuata con 3Muri è sovrapponibile ai dati sperimentali.



Le figure centrali riportano i diagrammi di forza-spostamento i ottenuti dalle prove sperimentali (in nero) con i risultati ottenuti dalla simulazione numerica ottenuti con 3Muri (in blu).

Come si nota i valori sono pressoché coincidenti, a riprova della affidabilità del metodo FME.

4 Verifica dei meccanismi locali

4.1 3Muri ML

3Muri ML è un modulo di calcolo integrato in 3Muri dedicato alla valutazione della sicurezza dell'edificio nei confronti di meccanismi locali, come prescritto nelle Normative Tecniche al paragrafo 8.7.1.

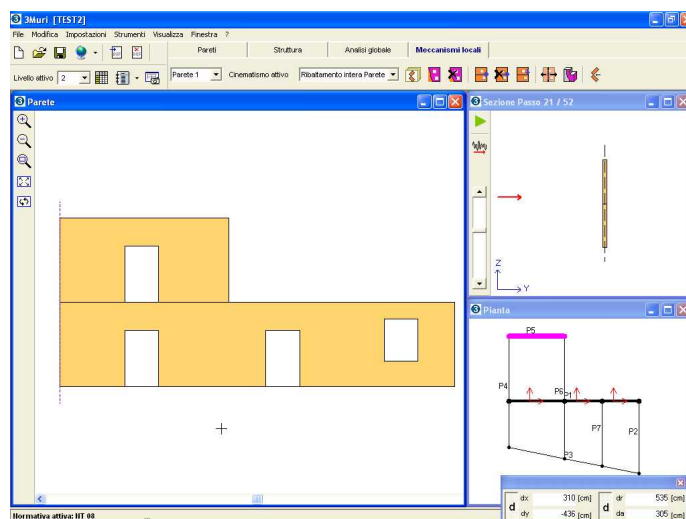
Il modulo 3Muri ML sfrutta la versatilità e l'ergonomia dell'input del programma 3Muri per definire un modello spaziale su cui indagare i meccanismi possibili, liberamente definiti dal progettista.

Una apposita finestra, permette di definire un numero generico di Meccanismi da esaminare sul singolo progetto.

Una volta attivato uno dei possibili meccanismi inserito dal progettista, un opportuno ambiente grafico permette di evidenziare i vari elementi strutturali che concorrono nel meccanismo.

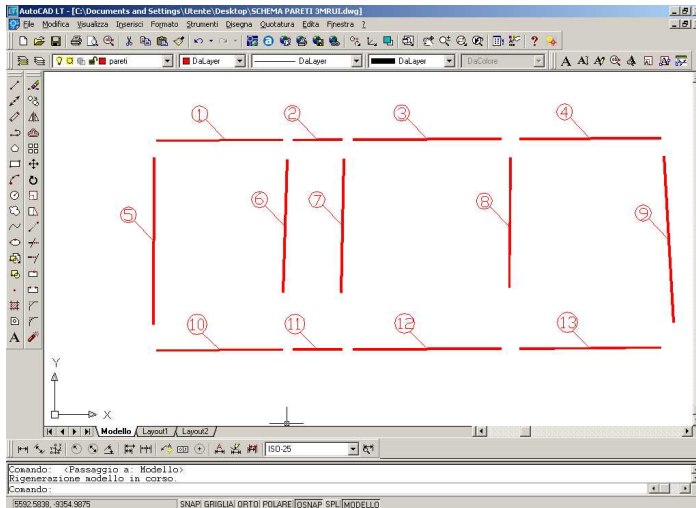
Selezionando una parete, è possibile definire un sistema di blocchi cinematici e di vincoli che interessano il meccanismo locale che si desidera esaminare.

Nel caso della figura seguente è stato esaminato il "ribaltamento fuori piano" dell'intera parete, inserendo un singolo blocco esteso quanto l'altezza dell'intero edificio con una cerniera alla base.

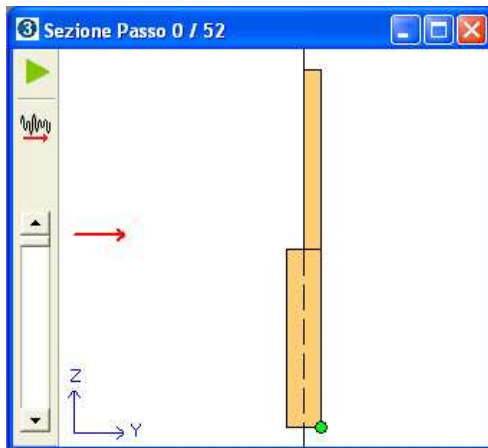


Analisi del ribaltamento fuori piano

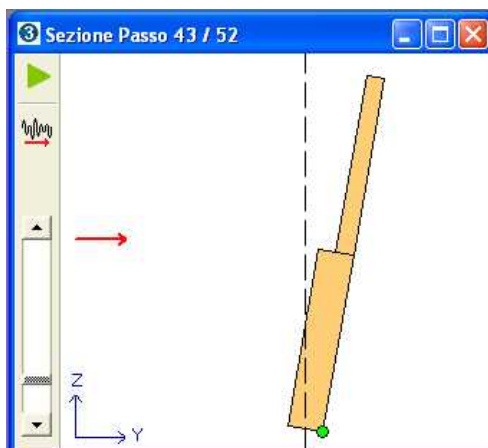
Procedendo con il calcolo è possibile verificare visivamente la deformazione che interessa la parete in esame.



Configurazione Indefornata

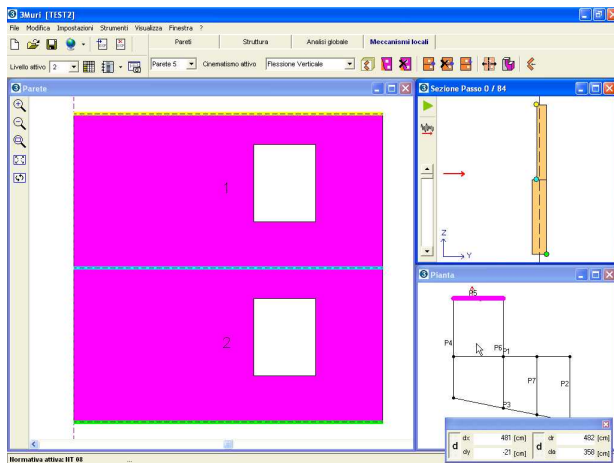


Configurazione Deformata

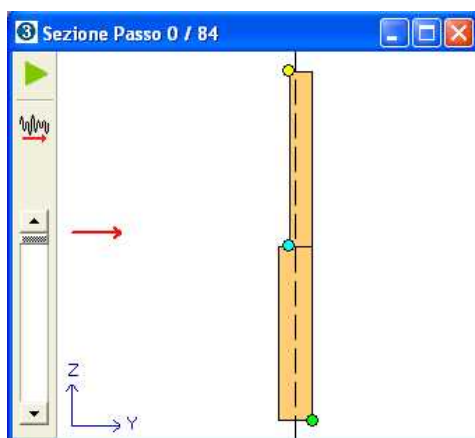


Per esaminare il caso di "flessione verticale fuoripiano", è sufficiente definire due blocchi verticali sovrapposti e inserire i corrispondenti vincoli nell'interfaccia tra un blocco e l'altro.

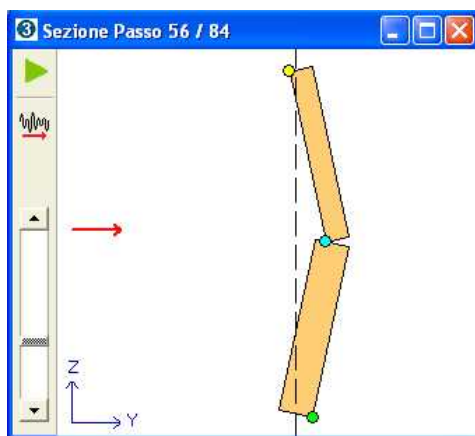
Procedendo con il calcolo viene mostrata la deformazione in sezione.



Configurazione Indeformata

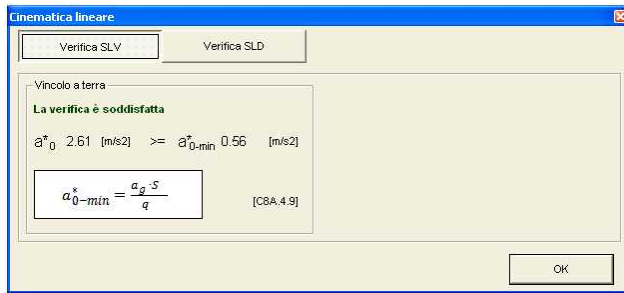


Configurazione Deformata



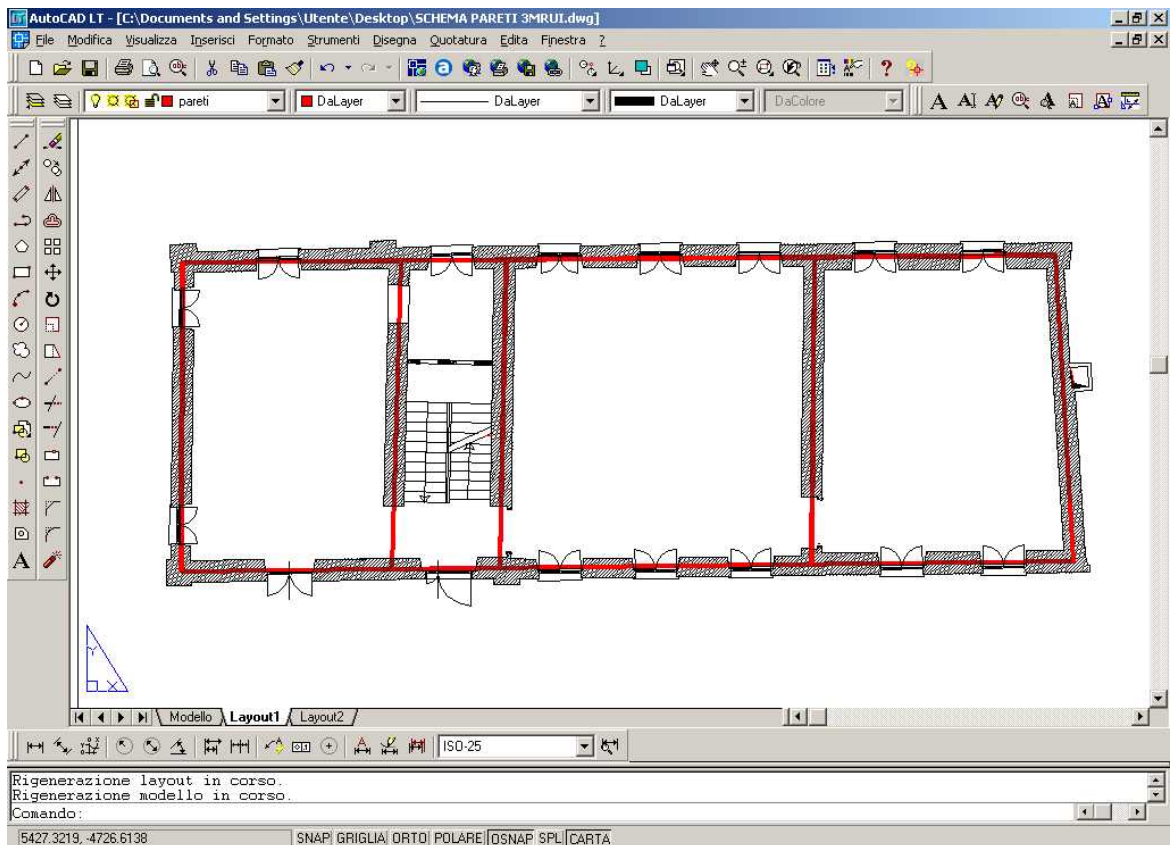
A calcolo terminato una finestra mostra i dettagli di verifica:

La verifica si esaurisce con il confronto tra "l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo" (a^*0) e il suo limite minimo richiesto dalla normativa in base ai parametri spettrali.



3Muri ML è un modulo di calcolo interno al programma 3Muri dedicato alla valutazione della sicurezza dell'edificio nei confronti di meccanismi locali, come prescritto nelle Normative Tecniche al paragrafo 8.7.1.

Il modulo 3Muri ML sfrutta la versatilità e l'ergonomia dell'input del programma 3Muri per definire un modello spaziale su cui indagare i meccanismi possibili, liberamente definiti dal progettista.



La definizione dei meccanismi locali è realizzata partendo dal modello globale definito ai fini del calcolo push-over, da cui si ricavano direttamente le caratteristiche geometriche della struttura e i carichi delle murature e dei solai.

L'ambiente di lavoro è diviso in tre aree grafiche:

Prospetto di parete

In questo ambiente è possibile l'input del meccanismo mediante l'inserimento dei blocchi rigidi e dei vincoli tra i singoli elementi ed il resto della struttura.

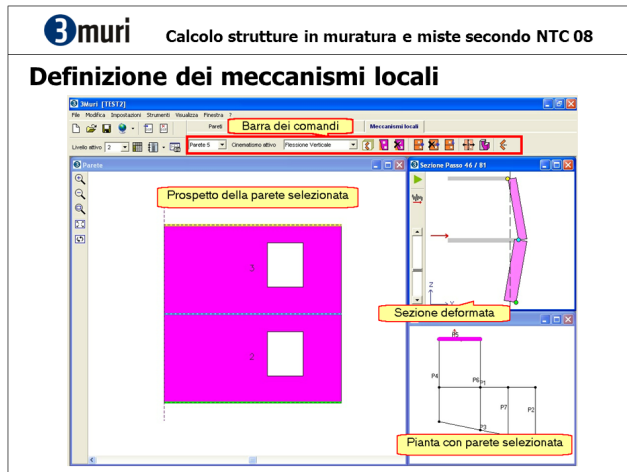
Pianta della parete

Evidenziando in pianta le porzioni interessate dal meccanismo è subito individuabile nel complesso strutturale.

Sezione deformata

Nella vista di sezione è verificabile il corretto input attraverso l'individuazione della posizione dei vincoli e della configurazione deformata.

La deformazione della parete permette di verificare visivamente che l'input del meccanismo sia stato eseguito correttamente.



Normalmente un edificio può essere interessato da differenti meccanismi ritenuti significativi la cui scelta non può che essere definita dall'operatore sulla base della sua sensibilità.

Per agevolarne l'input e la presentazione dei risultati, ai singoli meccanismi è possibile assegnare un nome identificativo che ne facilita la selezione e la memorizzazione.

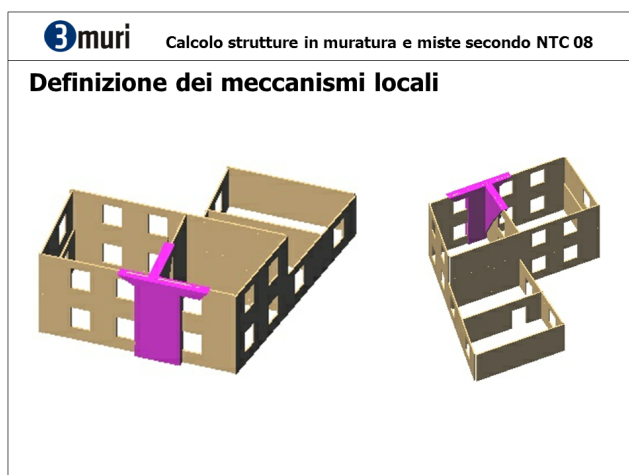


I blocchi rigidi che definiscono il meccanismo, sono inseribili tracciando una poligonale chiusa di forma generica.

La genericità della forma, permette di seguire in modo più aderente il quadro fessurativo rilevato in base alle indagini eseguite in sito.

In questo modo è possibile inserire meccanismi dotati di qualsiasi forma e genericità.

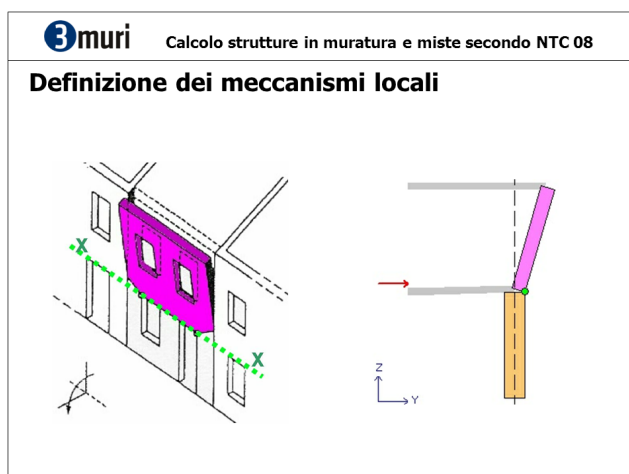
La genericità della forma dei blocchi cinematici, può interessare pareti differenti in modo da seguire il più possibile la complessità della struttura.



Se si desidera esaminare un caso di ribaltamento di una porzione di muratura come quella rappresentata nella figura a lato, il caso da esaminare sarà quello di un blocco che ruota intorno all'asse X-X.

In corrispondenza di tal punto si dovrà inserire un vincolo tra un blocco cinematico e una porzione di muratura che resta ferma.

In tal caso si dovrà inserire un vincolo di tipo "Cerniera Esterna".

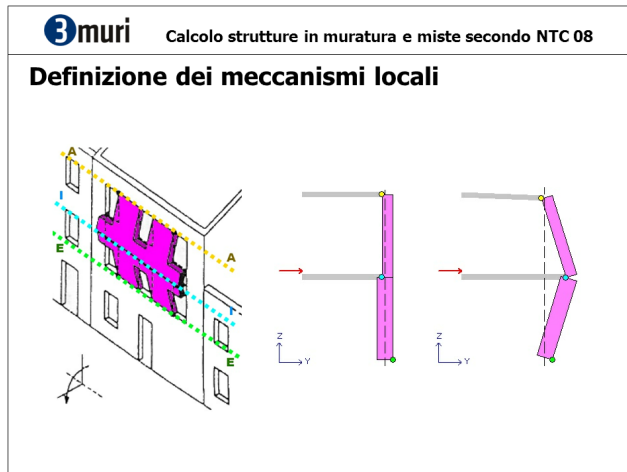


In caso di flessione verticale, il blocco inferiore è direttamente appoggiato su una porzione non deformata della muratura.

In posizione E-E si inserirà la "Cerniera Esterna"

In posizione I-I confluiscono due blocchi, si inserirà la "Cerniera Interna".

In posizione A-A il meccanismo deformativo non permetterà alcun spostamento di fuoripiano. I punti di tale parete potranno spostarsi solo verticalmente nel piano della parete, si inserirà un "Appoggio".



I risultati di questo calcolo prevedono sia la verifica a stato limite di vita (SLV) che a stato limite di danno (SLD), anche se la norma prevede soltanto la prima analisi.

$$a^*0 > a^*0\text{-min}$$

$$a^*0\text{-min} = ag S / q$$

$$a^*0\text{-min} = Se(T1) \psi(Z) \gamma / q$$

a^*0 : accelerazione sismica spettrale di attivazione del meccanismo

ag : è funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto e della vita di riferimento come definiti al § 3.2 delle NTC;

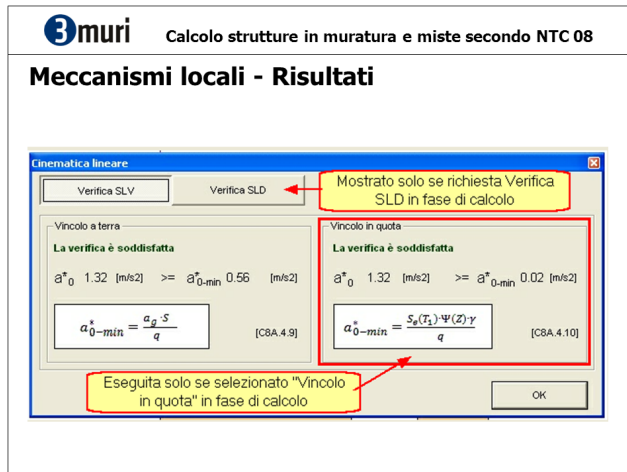
S : definito al § 3.2.3.2.1 delle NTC ;

q : fattore di struttura, assunto uguale a 2.0

$Se(T1)$: spettro elastico definito nel § 3.2.3.2.1 delle NTC, funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto (in questo caso 63%) e del periodo di riferimento VR come definiti al § 3.2. delle NTC, calcolato per il periodo T1;

$\psi(Z)$: primo modo di vibrazione nella direzione considerata, normalizzato ad uno in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto $\psi(Z) = Z/H$, dove H è l'altezza della struttura rispetto alla fondazione;

γ : coefficiente di partecipazione modale (in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto $\gamma = 3N/(2N+1)$, con N numero di piani dell'edificio).

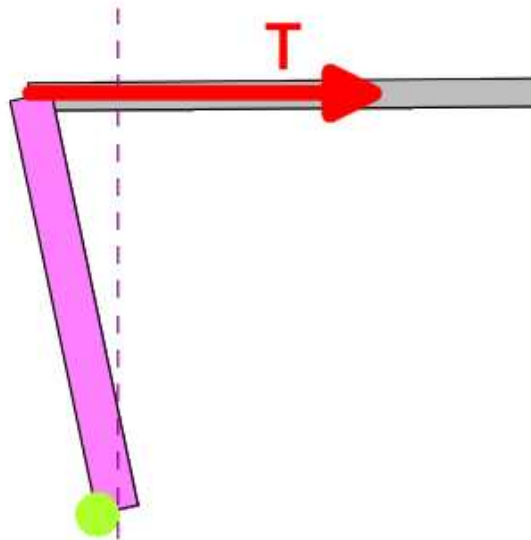


4.2 Verifica dei meccanismi locali mediante l'inserimento di tiranti

Qualora un'analisi locale conduca ad un mancato superamento della verifica, la pratica progettuale ci porta molto spesso a prevedere l'inserimento di catene con lo scopo di impedirne l'attivazione del meccanismo.

Il calcolo della catena viene normalmente condotto inserendo delle forze che simulano il tiro, procedendo in modo iterativo fino a ottenere la forza ottimale con cui progettare la catena.

La nuova funzione permette di individuare i punti di inserimento di catene e progettarne in modo automatico il tiro da utilizzare in fase di progettazione.



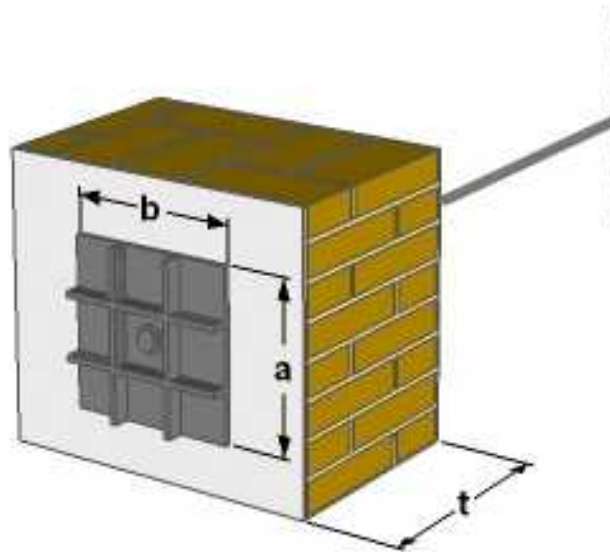
Vantaggio

La fase di progettazione è totalmente automatizzata senza necessità di interazione dell'utente.

4.3 Verifica dei collegamenti catena-muro

Le catene inserite al fine di consolidare la struttura, sia a fini globali (pushover) che locali (ad esempio per impedire il ribaltamento di singole murature fuori dal piano) devono essere verificate singolarmente secondo tre differenti controlli:

- Verifica a punzonamento della muratura nelle zone di ancoraggio
- Verifica a penetrazione dell'ancoraggio
- Verifica a snervamento del tirante



Vantaggio

Le precedenti verifiche sono integrate all'interno del 3Muri.

4.4 Altre verifiche locali

Il programma ET effettua ulteriori verifiche su singoli elementi per i progetti in cui è il progetto è classificabile come Intervento locale e non adeguamento e miglioramento.

Si segnalano le seguenti verifiche:

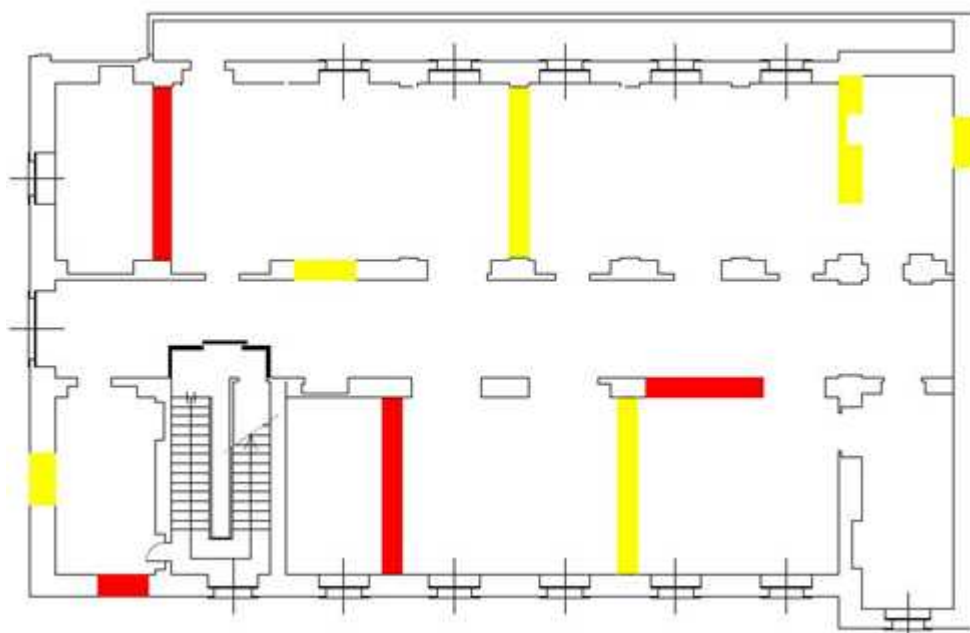
- Calcolo architrave acciaio
- Calcolo architrave muratura
- Calcolo ancoraggi
- Calcolo telaio porte finestre

Per ulteriori informazioni consultare la documentazione relativa al programma ET Engineering Tools.

5 Tavole grafiche degli interventi di adeguamento

Per le strutture esistenti in caso di adeguamento o miglioramento spesso è necessario eseguire interventi sulle strutture (muri, solai, travi, pilastri ecc.). Si possono demolire parti esistenti, costruirne di nuove, realizzare dei miglioramenti, ad esempio con intonaco armato o con l'inserimento di diatoni.

3Muri permetterà di ottenere piante, sezioni, prospetti in formato DWG con l'indicazione degli interventi previsti, le note del progettista, la quotatura. Sarà possibile gestire le diverse fasi del progetto, ottenendo le tavole dei "gialli e rossi" che riportano le demolizioni e le nuove costruzioni. Sarà inoltre prevista una relazione che comprende l'elenco degli interventi previsti e il computo metrico relativo.



6 Axis VM

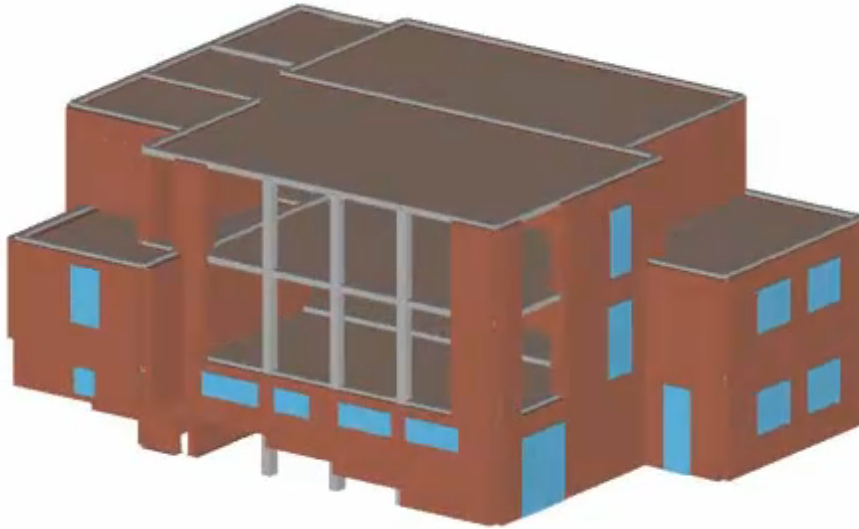
6.1 Analisi elementi finiti

3Muri è un software completo e dotato di tutte le funzionalità per la verifica di strutture in muratura e miste.

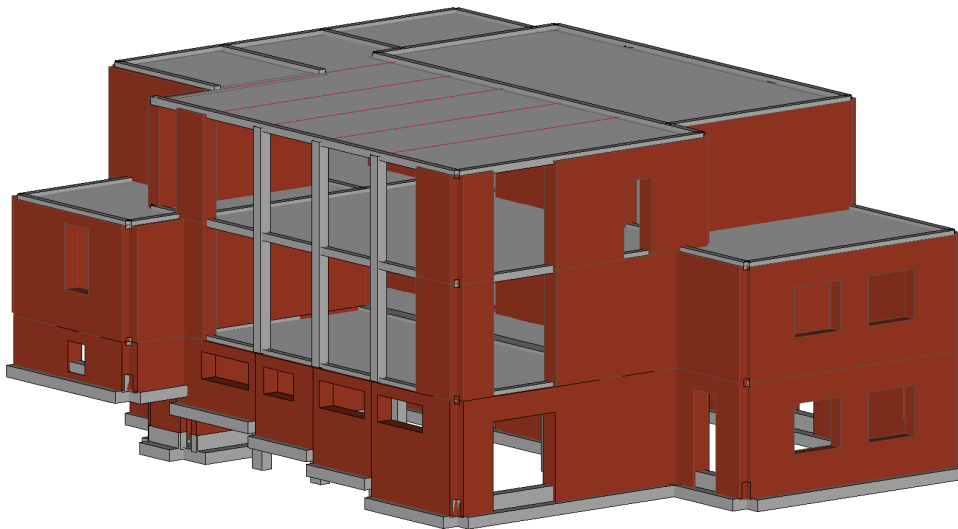
Per completare l'analisi e la progettazione con ulteriori elementi come fondazioni speciali (platee, pali, ecc.), progettare nuove travi, pilastri, setti, inserire scale o nuovi impianti è possibile utilizzare il software Axis VM direttamente collegato con 3Muri.

Con Axis VM è possibile importare automaticamente quanto realizzato in 3Muri, ottenendo un modello equivalente su cui effettuare ulteriori elaborazioni.

Effettuata l'analisi con 3Muri con un semplice comando è possibile aprire lo stesso modello in Axis VM.

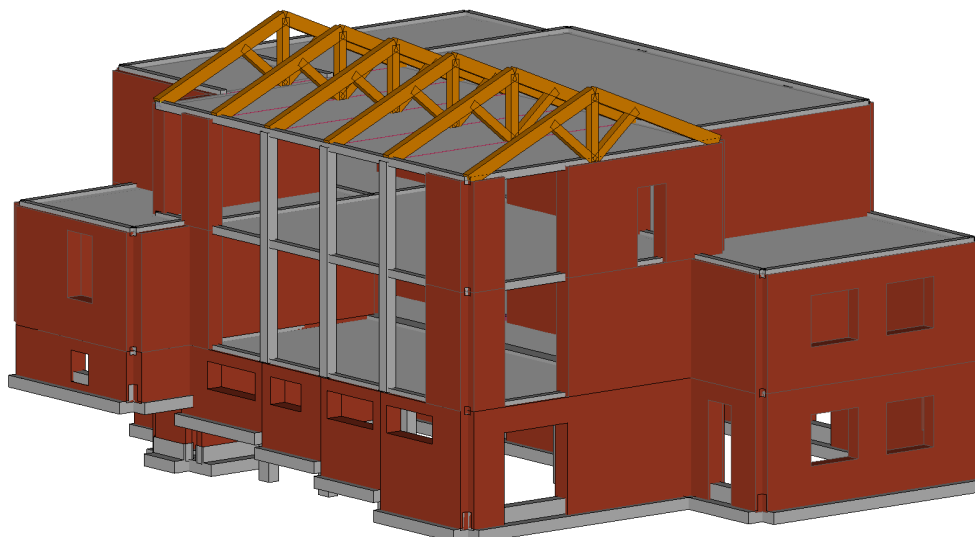


Modello 3Muri



Modello Axis VM

Ad esempio è possibile modellare le strutture di copertura in legno, che nel caso della verifica con 3Muri sono considerate strutture secondarie.

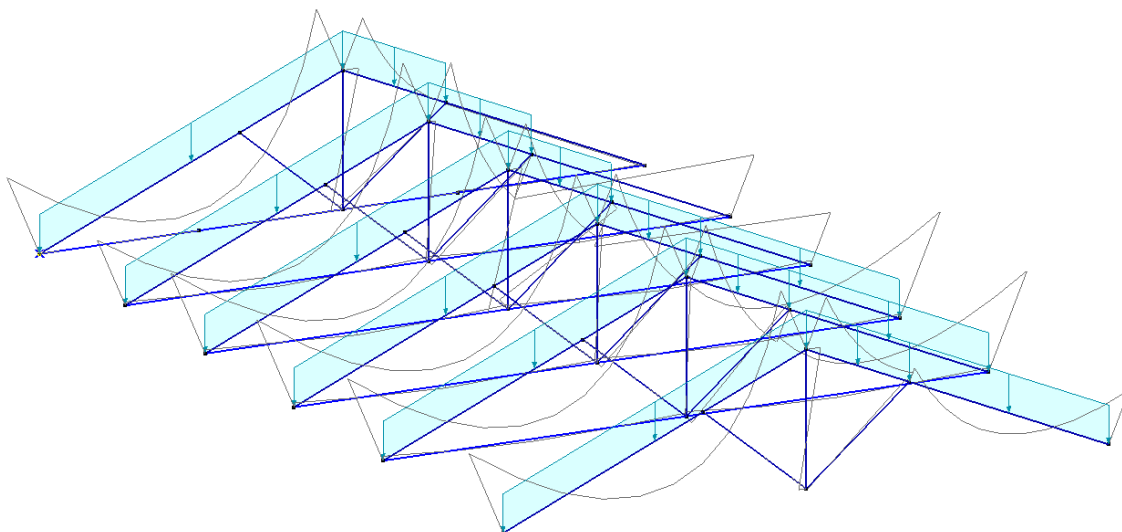


Modello con inserimento delle strutture di copertura

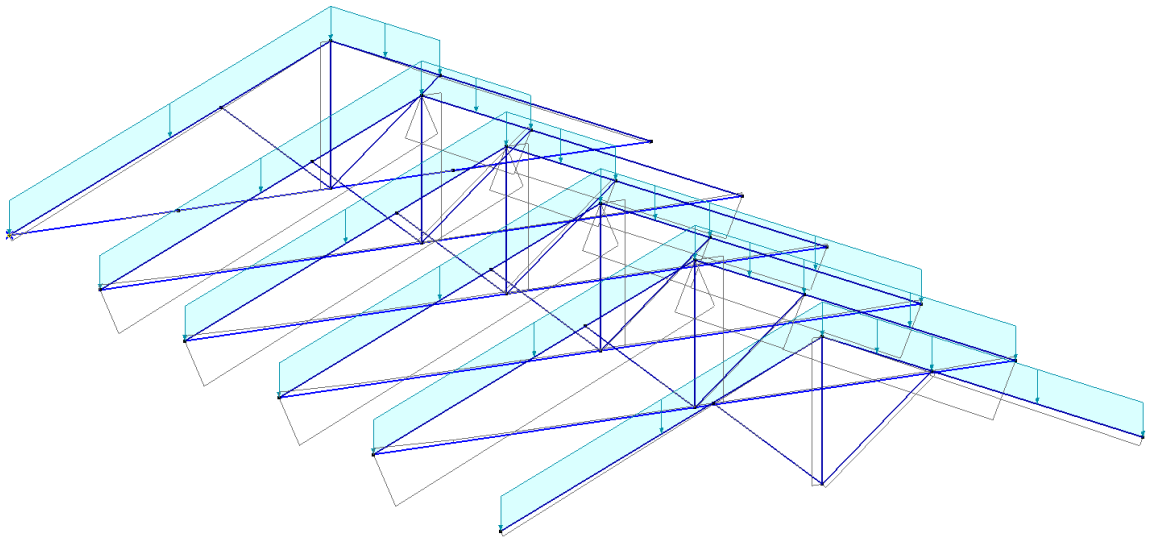
Effettuata l'analisi statica, si possono verificare i nuovi elementi e l'interazione tra questi e le parti in muratura.

Per valutare gli effetti sismici sulla copertura, si può effettuare l'analisi dinamica modale, applicando lo spettro di progetto relativo ed ottenendo tutte le informazioni necessarie.

La figura riporta l'andamento delle sollecitazioni di flessione e sforzo normale per i carichi verticali.



Andamento sollecitazioni flettente.



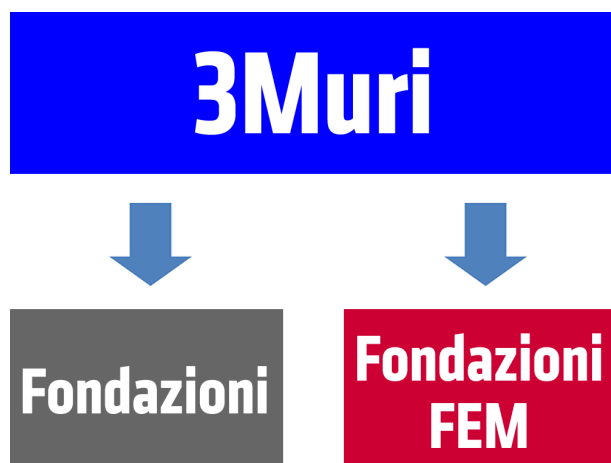
Andamento sforzo normale.

Per ulteriori informazioni visitare lo spazio web dedicato ad Axis VM.

7 Calcolo delle fondazioni

7.1 Tipologia di fondazioni

Ultimate le analisi statica e l'analisi pushover è possibile procedere alla verifica delle fondazioni. 3Muri è composto da due moduli dedicati al calcolo delle fondazioni: "Fondazioni per 3Muri" e "3Muri Fondazioni FEM".



Schema opzioni per calcolo fondazioni.

Fondazioni per 3Muri

Le Tipologie esaminate con il modulo Fondazioni sono:

1. **Fondazioni continue** (posizionate al di sotto dei pannelli murari);
2. **Plinti di fondazione** per pilastri in c.a., acciaio, legno, muratura.

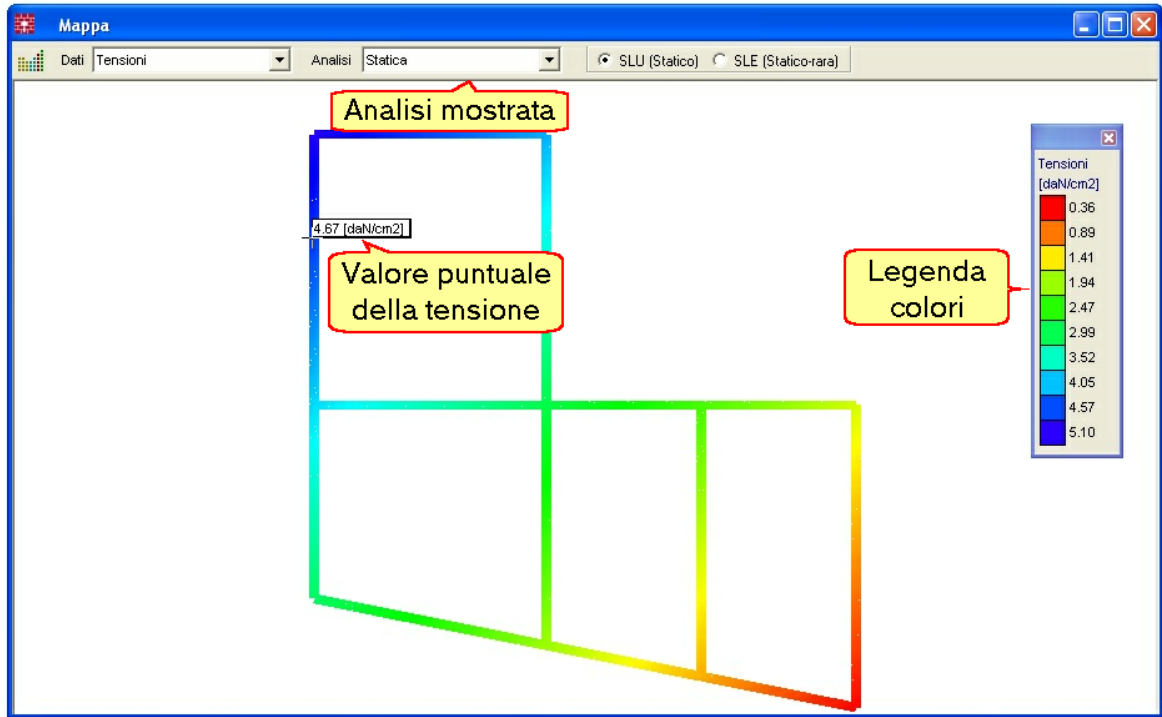
Per queste due tipologie è calcolata la capacità portante e i cedimenti.

Per i plinti di fondazione è prevista la verifica del calcestruzzo, il progetto e il disegno delle armature.

Il modulo **Fondazioni FEM**, invece, è in grado di esaminare le restanti tipologie di fondazione: **travi rovesce, platee di fondazione, palancolate, pali**, ecc. Questo modulo prevede l'uso di **Axis VM** in una configurazione appositamente studiata per il programma 3Muri che consente di sfruttare tutta la potenza di calcolo di calcolo agli elementi finiti.

7.2 Distribuzione delle pressioni sul terreno

Direttamente in 3Muri è possibile ottenere la visualizzazione delle tensioni sul terreno per ogni analisi effettuata.



Schema di distribuzione delle pressioni sul terreno

Muovendo il puntatore del mouse lungo la pianta è immediatamente interrogabile la tensione sul terreno in ogni punto della fondazione.

Dal menu a tendina, possiamo subito visualizzare le tensioni per tutte le analisi sismiche e l'analisi statica, la funzione "involuppo" rende immediatamente disponibile l'involuppo massimo di tutte le analisi.

7.3 Verifica della portanza e dei cedimenti

7.3.1 Parametri fondazioni

Attraverso i "Parametri Fondazioni" si possono introdurre i dati necessari per le verifiche geotecniche delle fondazioni.

The screenshot shows the 'Parametri fondazioni' dialog box with the 'Generali' tab selected. The fields are as follows:

Field	Value	Unit
Approfondimento fondazione dal piano di campagna (D)	3	[m]
Approfondimento terreno di sovraccarico (D')	3	[m]
S (coefficiente di amplificazione)	1	
Accelerazione massima al suolo	1	[m/s ²]
Categoria sottosuolo	A	
Approccio	1	
Profondità falda (Dw)	0	[m]
Strati - Numero	2	

Additional options: Presenza falda, Applica a tutte le travi. Buttons: OK, Annulla.

Finestra di dialogo dedicata ai parametri di fondazione

7.3.1.1 Generali

Nella scheda "Generali" si imposta la profondità del piano di posa della fondazione rispetto al piano campagna D, l'approfondimento del terreno di sovraccarico D', diverso da D qualora il terreno posto ad un lato della fondazione sia a quota inferiore rispetto al piano campagna.

I parametri sismici non sono modificabili poichè sono quelli impostati nell'analisi sismica.

Parametri fondazioni

Generali

Approfondimento fondazione dal piano di campagna (D) [m]

Approfondimento terreno di sovraccarico (D') [m]

S (coefficiente di amplificazione)

Accelerazione massima al suolo [m/s²]

Categoria sottosuolo: Approccio:

Presenza falda

Profondità falda (Dw) [m]

Strati

Numero

Associazione fondazione - strati

Applica a tutte le travi

OK Annulla

Finestra di dialogo dedicata ai parametri di fondazione

E' possibile inserire l'eventuale presenza e profondità della falda rispetto al piano di campagna.

Si imposta in numero di strati e facendo click sul pulsante "Associazione fondazione-strati" si associa ad ogni strato l'altezza e il tipo di terreno tra quelli presenti in libreria.

Associa strati

N.	Spessore [m]	Tipo strato
1	5	
2	4	

1) Ciottoli, ghiaia (sciolta)

2) Ciottoli, ghiaia (compatta)

3) Ghiaia sabbiosa, mista non limosa (sciolta)

4) Ghiaia sabbiosa, mista non limosa (compatta)

5) Sabbia omogenea, grossolana e media (sciolta)

6) Sabbia omogenea, grossolana e media (compatta)

7) Sabbia limosa mista (sciolta)

8) Sabbia limosa mista (compatta)

OK Annulla

7.3.1.2 Definizione strati di progetto

Prima di eseguire l'analisi della portanza del terreno e dei cedimenti è necessario completare l'introduzione dei dati per eseguire correttamente tali verifiche.

E' possibile definire gli strati del terreno attraverso una banca dati di tipologie di terreno.



Parametri terreni											
N.	Nome	Tipo grana	gamma [kN/m ³]	gamma s [kN/m ³]	fi [°]	Cu [kN/m ²]	fi' [°]	c' [kN/m ²]	E [kN/m ²]	G [kN/m ²]	
1	Ciottoli, ghiaia (sciolta)	grossa	18	18	35	0	35	0	40000	20000	
2	Ciottoli, ghiaia (compatta)	grossa	20	21	40	0	40	0	40000	20000	
3	Ghiaia sabbiosa, mista non limosa (sciolta)	grossa	19	20	32	0	32	0	40000	20000	
4	Ghiaia sabbiosa, mista non limosa (compatta)	grossa	21	22	38	0	38	0	40000	20000	
5	Sabbia omogenea, grossolana e media (sciolta)	grossa	17	18	32	0	32	0	40000	20000	
6	Sabbia omogenea, grossolana e media (compatta)	grossa	20	21	35	0	35	0	40000	20000	
7	Sabbia limosa mista (sciolta)	grossa	18	18	28	0	28	0	40000	20000	
8	Sabbia limosa mista (compatta)	grossa	20	21	32	0	32	0	40000	20000	
9	Sabbia omogenea fine non limosa (sciolta)	grossa	15	17	30	0	30	0	40000	20000	
10	Sabbia omogenea fine non limosa (compatta)	grossa	19	20	34	0	34	0	40000	20000	
11	Sabbia molto fine (sciolta)	grossa	15	17	25	0	25	0	40000	20000	
12	Sabbia molto fine (compatta)	grossa	19	21	27	0	27	0	40000	20000	
13	Sabbia limosa molto fine (sciolta)	grossa	15	18	23	0	23	0	40000	20000	
14	Sabbia limosa molto fine (compatta)	grossa	19	20	26	0	26	0	40000	20000	
15	Limo 1	fine	20	23	25	40	25	75	40000	20000	
16	Limo 2	fine	17	21	23	40	23	75	40000	20000	


Elenco dei parametri del terreno: definizione degli strati di progetto

In questa finestra è possibile aggiungere nuovi terreni introducendo i relativi parametri e modificare e cancellare quelli presenti.

I parametri a cui si fa riferimento sono:

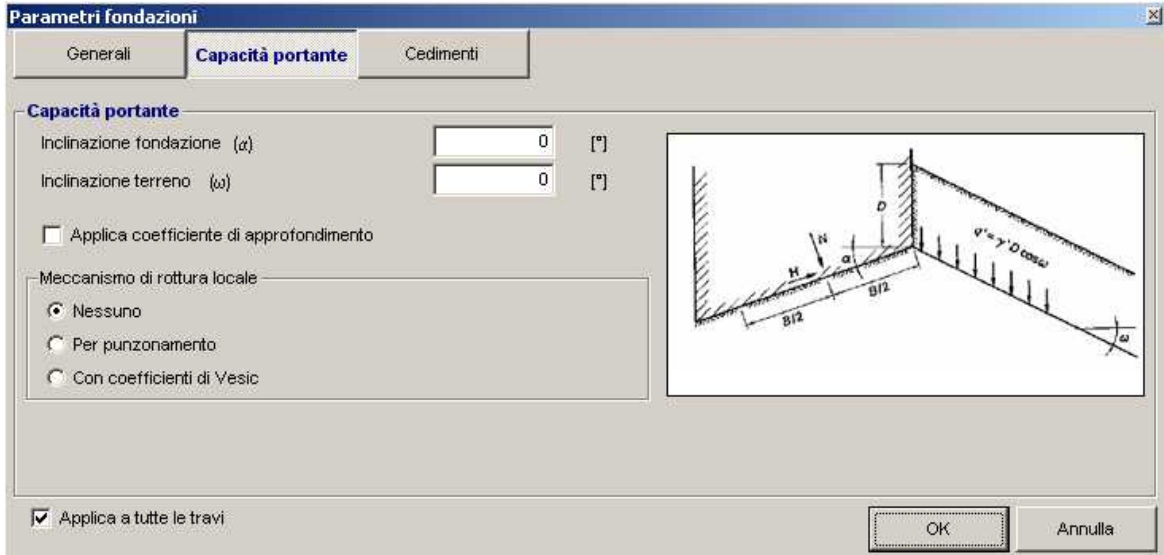
- tipo di grana (se il terreno è a grana grossa si operano le sole verifiche in condizioni drenate, se è a grana fine si eseguono anche le verifiche in condizioni non drenate);
- gamma (peso nell'unità di volume del terreno);
- gamma s (peso nell'unità di volume del terreno in condizioni sature), utilizzato per le verifiche di un terreno a grana fine in presenza di falda, in condizioni non drenate;
- φ (l'angolo di resistenza a taglio totale del terreno), adottato nel calcolo della capacità portante in presenza di falda;
- Cu (resistenza al taglio non drenata), usato per il calcolo del carico limite in condizioni non drenate per i terreni a grana fine.
- φ' (l'angolo di resistenza a taglio efficace del terreno);
- c' (coesione del terreno), utilizzata nel calcolo della capacità portante per i terreni a grana fine;
- E (modulo elastico del terreno)
- G (modulo di resistenza al taglio del terreno).

Parametri fondazioni generali	
Cedimenti	
Cedimento angolare limite	0,001 
Cedimento massimo limite	50 [mm] 
Metodo di calcolo	
<input checked="" type="radio"/> Edometrico <input type="radio"/> Burland-Burbidge <input type="radio"/> Shmertmann	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Annulla"/>	

Facendo click sul pulsante  si può fare riferimento ai valori limite proposti in letteratura da Sowers.

7.3.1.3 Capacità portante

La presente scheda è necessaria per impostare i parametri di calcolo per la capacità portante.



Parametri per il calcolo della capacità portante

Consente di introdurre l'angolo di inclinazione della fondazione e la pendenza del terreno circostante. L'utente può decidere se introdurre o meno il coefficiente moltiplicativo di approfondimento per il calcolo della portanza. Si può decidere se non applicare nessuna rottura locale per punzonamento, oppure applicare i coefficienti riduttivi classici ai parametri di resistenza del terreno selezionando la voce "per punzonamento", oppure introdurre un calcolo proposto da Vesic, che applica dei coefficienti per tener conto della rottura per punzonamento solo se l'indice di rigidità risulta inferiore al valore critico.

7.3.1.4 Cedimenti

La scheda riguardante i cedimenti prevede maschere diverse a seconda del metodo per la verifica dei cedimenti selezionato precedentemente in "Parametri generali fondazioni".

Parametri fondazioni

Generali Capacità portante **Cedimenti**

Cedimenti

Tipo carico: Statico Ciclico

Metodo di calcolo: Edometrico

Definizione proprietà strati

Applica a tutte le travi

OK Annulla

Parametri per il calcolo del cedimento

Nel caso del metodo edometrico, l'utente può scegliere il tipo di carico (statico o ciclico) e definire i rapporti di ricompressione RR e compressione CR, il grado di sovraconsolidazione OCR e la cedevolezza o meno di ciascuno strato.

Associa dati edometrici

N.	RR	CR	OCR	Tipo terreno
1	0,177	0,030	4	Cedevole
2	0,124	0,014	1	Cedevole

OK Annulla

Per il metodo di Burland-Burbidge, oltre a definire, come per il caso precedente, il tipo di carico e le proprietà strati (OCR e cedevolezza), si definiscono gli anni a cui valutare il cedimento e, secondo le prove SPT, l'altezza dello strato comprimibile sotto il piano di posa. Tale altezza è solitamente uguale alla distanza tra il piano di posa della fondazione e il livello di profondità dell'ultimo strato cedevole. Quando le prove SPT, però, mostrano una forte discontinuità con un aumento considerevole del valore di N_{spt} in corrispondenza di un livello all'interno di uno strato definito cedevole, il valore C si deve impostare pari alla distanza tra il piano di fondazione e la discontinuità dei valori N_{spt} .

Parametri fondazioni

Generali Capacità portante **Cedimenti**

Cedimenti

Tipo carico: Statico Ciclico

Metodo di calcolo: Burland-Burbidge Definizione proprietà strati

Prove SPT

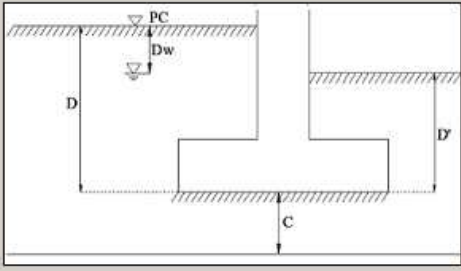
Altezza strato comprimibile sotto il piano di posa (C) [m]

Anni a cui valutare il cedimento

Numero Definizione prove: Crescente Decrescente

Applica a tutte le travi

OK Annulla



Per il calcolo dei cedimenti attraverso il metodo di Burland-Burbidge è necessario impostare il numero delle prove penetrometriche dinamiche SPT e fornire alle diverse profondità il numero di colpi N_{spt} del penetrometro. Per poter valutare la profondità di influenza è richiesta la selezione del tipo di andamento dei valori N_{spt} con la profondità (crescente o decrescente). Selezionando in "Parametri generali cedimenti" il metodo Shmertmann, si definiscono analogamente ai precedenti il tipo di carico, le proprietà strati (OCR e cedevolezza). Inoltre si impostano gli anni a cui valutare il cedimento e i risultati delle prove penetrometriche dinamiche CQC, fornendo il valore di pressione in punta q_c ad ogni livello di prova.

Parametri fondazioni

Generali Capacità portante **Cedimenti**

Cedimenti

Tipo carico: Statico Ciclico

Metodo di calcolo: Shmertmann Definizione proprietà strati

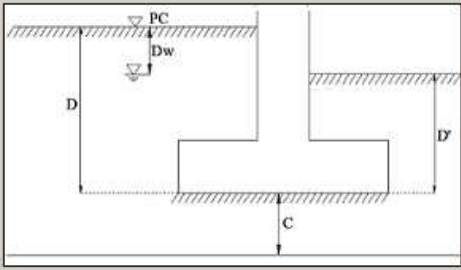
Prove CPT

Anni a cui valutare il cedimento

Numero Definizione prove

Applica a tutte le travi

OK Annulla



7.4 Analisi FEM delle fondazioni

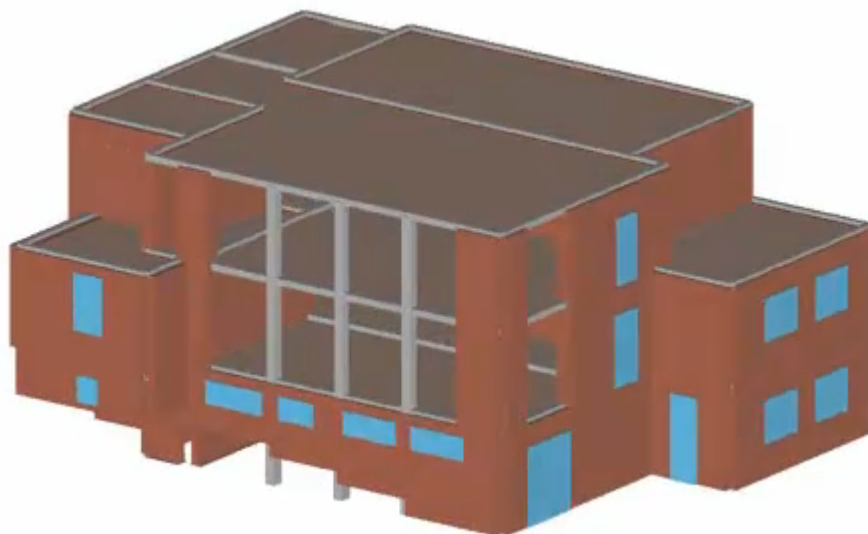
Con Axis VM è possibile importare automaticamente quanto realizzato in 3Muri, ottenendo un modello equivalente su cui effettuare ulteriori elaborazioni.

Nel caso si vogliono inserire elementi di fondazione ulteriori rispetto a quanto già inserito in 3Muri, si possono utilizzare i numerosi comandi disponibili in Axis VM.

Attraverso elementi finiti lineari e superficiali si possono introdurre:

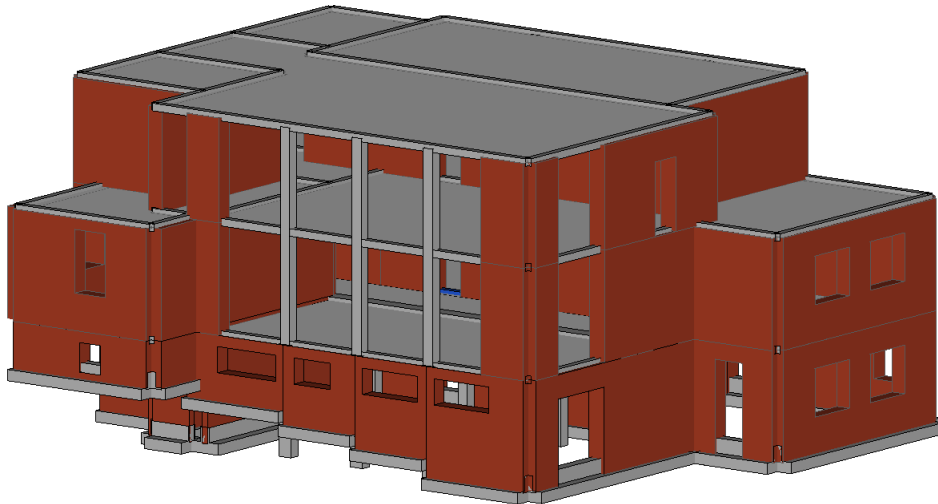
- travi rovesce;
- graticci di fondazione;
- piastre spesse e sottili;
- pali;
- muri controterra;
- palancole.

In figura si riporta un esempio di un modello realizzato in 3Muri.



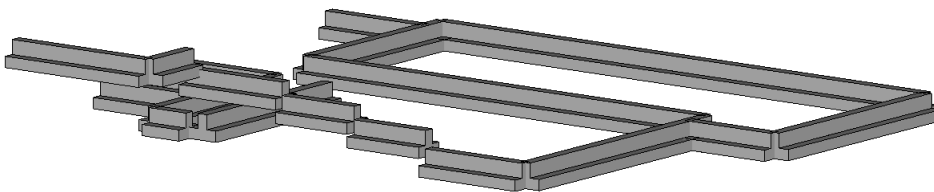
Modello 3D in 3Muri

Lo stesso modello è stato aperto in Axis VM e sono state aggiunte fondazioni lineari.



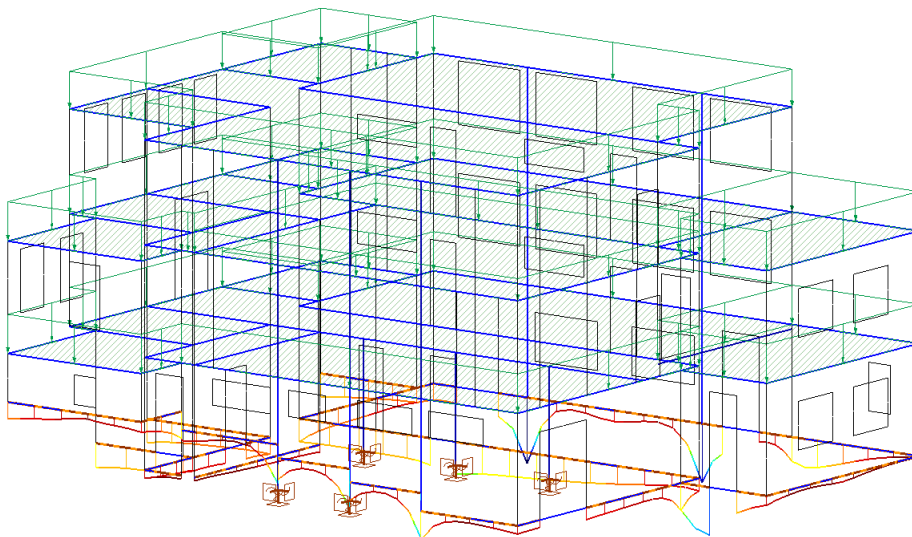
Modello 3D in Axis VM

Questi elementi possono essere visualizzati separatamente.



Fondazioni della struttura

Si possono quindi realizzare tutte le analisi di cui dispone Axis VM.



Andamento delle pressioni sul terreno

Per ulteriori informazioni visitare lo spazio web dedicato ad Axis VM.

8 ET Engineering Tools

8.1 ET CALCOLO

ET Calcolo è dedicato alle analisi complementari per il calcolo delle strutture in zona sismica.



Le diverse opzioni di ET Engineering Tools sono raggruppate in moduli, estesamente illustrati nell'apposita area del sito www.stadata.com.

Ad oggi sono disponibili i moduli:

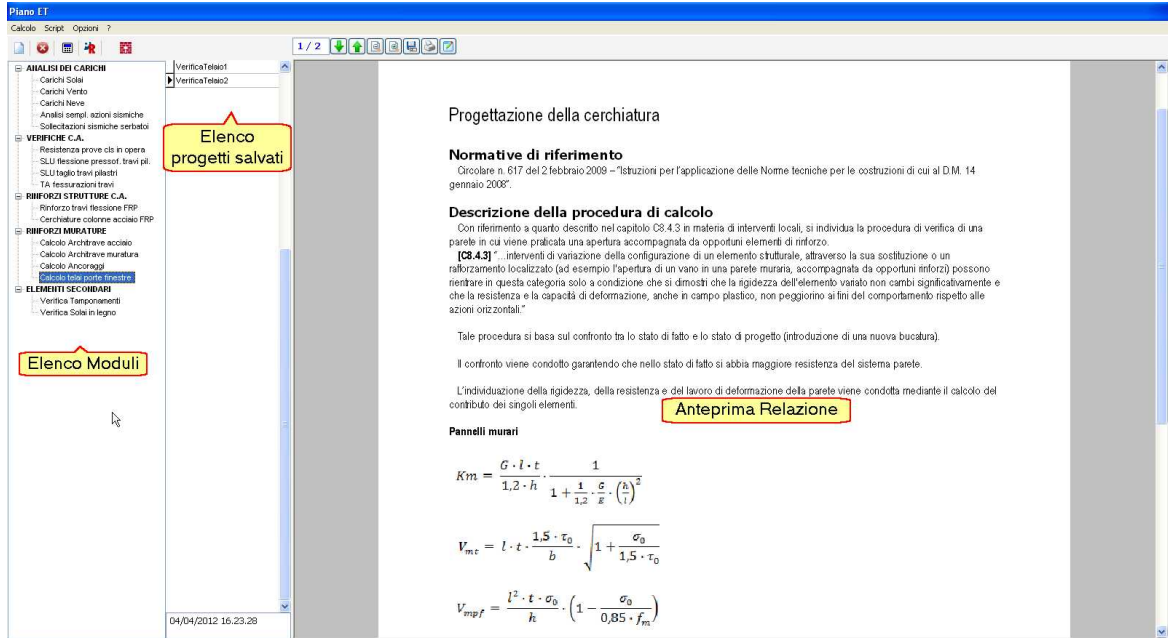
- **Analisi dei carichi** per il calcolo delle azioni agenti sulle strutture;
- **Verifiche CA** per la verifica di travi e pilastri in calcestruzzo armato;
- **Rinforzi strutture CA** per la verifica di travi e pilastri in cemento armato rinforzati con acciaio o FRP;
- **Rinforzi murature** per la verifica ed il progetto di interventi su muratura, quali architravi, nuove aperture, ancoraggi;
- **Elementi secondari** per la verifica degli elementi secondari dal punto di vista sismico, quali solai e muri di tamponamento.

Dopo aver eseguito le diverse analisi è possibile ottenere le stampe dei risultati attraverso il modulo Piano Report che inserisce i risultati direttamente nella relazione di calcolo generale.

La finestra principale è suddivisa in tre colonne: la prima a sinistra riporta l'elenco dei moduli.

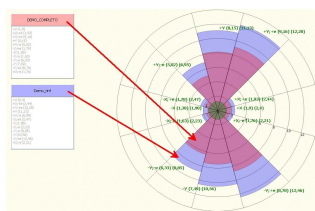
La colonna centrale riporta i progetti delle analisi svolte per ogni modulo.

La colonna di destra riporta l'anteprima dei risultati di ogni analisi.

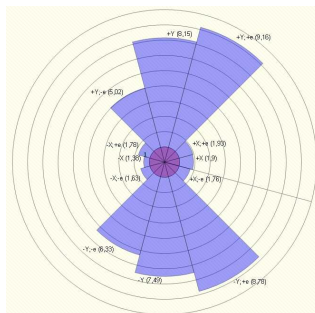


In modo specifico esistono due moduli dedicati a **3Muri**:

1. Diagramma di Sintesi delle analisi push-over e comparazione dei risultati del calcolo sismico



Il modulo "Diagramma sintesi push-over" dialoga con 3Muri e fornisce una visualizzazione grafica del risultato delle 24 analisi dell'Analisi Push-over eseguite da 3Muri, che permette un facile rilevamento delle condizioni di verifica più critiche.



Il diagramma ha una struttura formata da 12 spicchi, l'estensione del singolo spicchio è funzione del parametro di vulnerabilità (α) della singola analisi.

Il soddisfacimento della verifica per ogni singola analisi è conseguente alla condizione $\alpha > 1$.

La localizzazione del singolo spicchio è conseguente alla direzione/verso dell'azione sismica.

Ad esempio, nella figura qui a sinistra si vede come la struttura da cui proviene tale diagramma sia molto più duttile in direzione Y rispetto alla direzione X; confrontando i singoli spicchi con la dimensione del

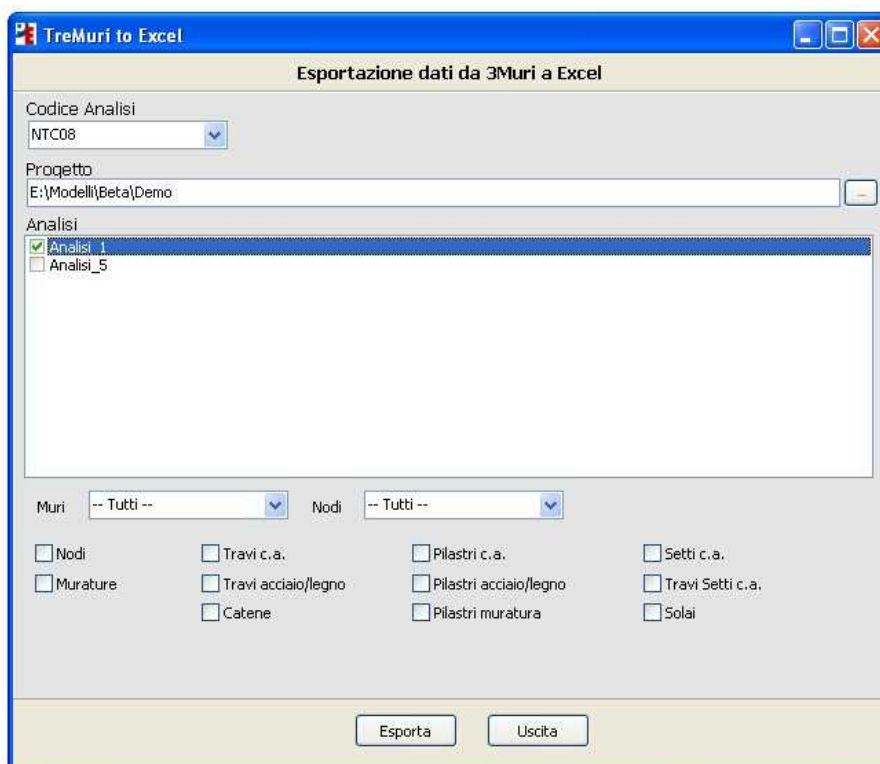
cerchio unitario si vede anche che tutte le singole verifiche sono superate.

E' anche possibile confrontare il modello dello stato di fatto (nella figura a sinistra: demo_completo) con il modello per cui è previsto un intervento di progetto (nella figura a sinistra: demo_rinf).

Dalla sovrapposizione dei singoli spicchi è possibile un agevole confronto che garantisce l'effettivo miglioramento.

2. Esportazione su file Excel

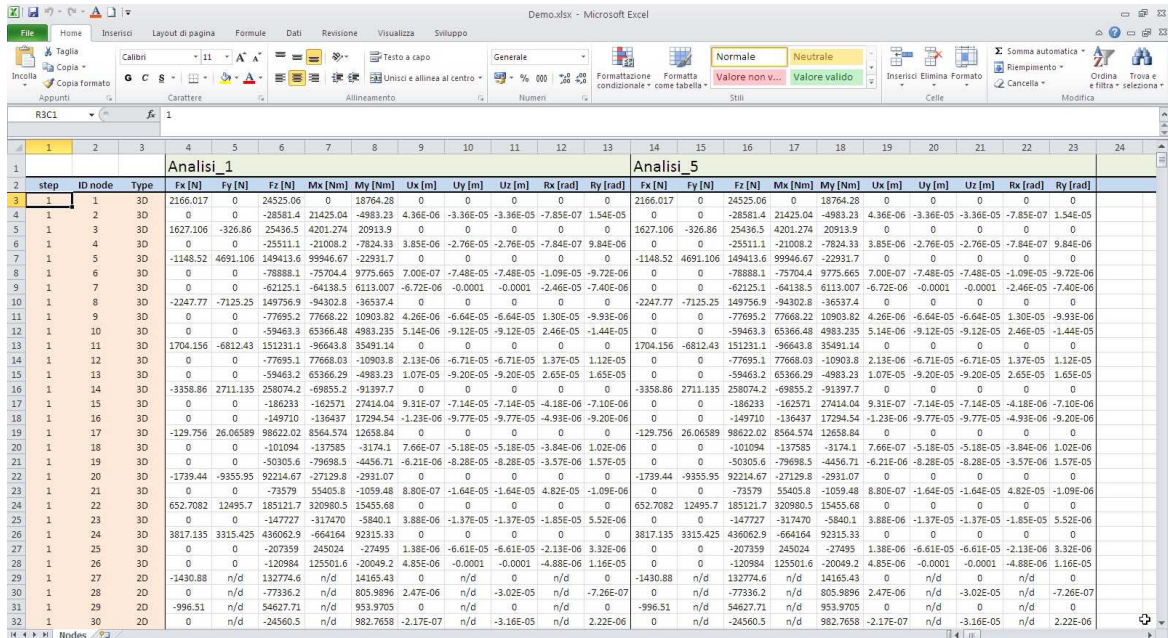
Questa funzionalità permette di creare un file Excel contenente i dati iniziali del modello ed i risultati del calcolo delle analisi eseguite.



E' possibile decidere di quali analisi si desidera esportare i risultati, di quali elementi e in quali pareti.



Il risultato è un file in formato Excel che contiene tutti i dati richiesti a cui sono stati applicati i filtri durante la fase di esportazione.



Analisi 1													Analisi 5													
step	ID node	Type	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Ux [m]	Uy [m]	Uz [m]	Rx [rad]	Ry [rad]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Ux [m]	Uy [m]	Uz [m]	Rx [rad]	Ry [rad]		
1	1	3D	2166.017	0	24525.06	0	18764.28	0	0	0	0	0	0	2166.017	0	24525.06	0	18764.28	0	0	0	0	0	0		
2	2	3D	0	0	-28581.4	21425.04	-4983.23	4.36E-06	-3.36E-05	-3.36E-05	-7.85E-07	1.54E-05	0	0	0	-28581.4	21425.04	-4983.23	4.36E-06	-3.36E-05	-3.36E-05	-7.85E-07	1.54E-05	0		
3	3	3D	1627.106	-326.86	25436.5	4201.274	20913.9	0	0	0	0	0	0	1627.106	-326.86	25436.5	4201.274	20913.9	0	0	0	0	0	0		
4	4	3D	0	0	-25511.1	-21008.2	-7824.33	3.85E-06	-2.76E-05	-2.76E-05	-7.84E-07	9.84E-06	0	0	0	-25511.1	-21008.2	-7824.33	3.85E-06	-2.76E-05	-2.76E-05	-7.84E-07	9.84E-06	0		
5	5	3D	-1148.52	4691.106	149413.6	99946.67	-22931.7	0	0	0	0	0	0	-1148.52	4691.106	149413.6	99946.67	-22931.7	0	0	0	0	0	0		
6	6	3D	0	0	-78888.1	-75704.4	9775.665	7.00E-07	-7.48E-05	-7.48E-05	-1.09E-05	-9.72E-06	0	0	0	-78888.1	-75704.4	9775.665	7.00E-07	-7.48E-05	-7.48E-05	-1.09E-05	-9.72E-06	0		
7	7	3D	0	0	-62125.1	-64138.5	6113.007	-6.72E-06	-0.0001	-0.0001	-2.46E-05	-7.40E-06	0	0	0	0	-62125.1	-64138.5	6113.007	-6.72E-06	-0.0001	-0.0001	-2.46E-05	-7.40E-06	0	
8	8	3D	-2247.77	-7125.25	149756.9	-94302.8	-36537.4	0	0	0	0	0	0	-2247.77	-7125.25	149756.9	-94302.8	-36537.4	0	0	0	0	0	0		
9	9	3D	0	0	-77695.2	77668.22	10903.82	4.26E-06	-6.64E-05	-6.64E-05	1.30E-05	-9.93E-06	0	0	0	0	-77695.2	77668.22	10903.82	4.26E-06	-6.64E-05	-6.64E-05	1.30E-05	-9.93E-06	0	
10	10	3D	0	0	-59463.3	65366.48	4983.235	5.14E-06	-9.12E-05	-9.12E-05	2.46E-05	-1.44E-05	0	0	0	0	-59463.3	65366.48	4983.235	5.14E-06	-9.12E-05	-9.12E-05	2.46E-05	-1.44E-05	0	
11	11	3D	1704.156	-6812.43	151231.1	-96643.8	35491.14	0	0	0	0	0	0	1704.156	-6812.43	151231.1	-96643.8	35491.14	0	0	0	0	0	0		
12	12	3D	0	0	-77695.1	77668.03	-10903.8	2.13E-06	-6.71E-05	-6.71E-05	1.37E-05	1.12E-05	0	0	0	-77695.1	77668.03	-10903.8	2.13E-06	-6.71E-05	-6.71E-05	1.37E-05	1.12E-05	0		
13	13	3D	0	0	-59463.2	65366.29	-4983.23	1.07E-05	-9.20E-05	-9.20E-05	2.65E-05	1.65E-05	0	0	0	0	-59463.2	65366.29	-4983.23	1.07E-05	-9.20E-05	-9.20E-05	2.65E-05	1.65E-05	0	
14	14	3D	-3358.86	2711.135	258074.2	-69855.2	-91397.7	0	0	0	0	0	0	-3358.86	2711.135	258074.2	-69855.2	-91397.7	0	0	0	0	0	0		
15	15	3D	0	0	-186233	-162571	27414.04	9.31E-07	-7.14E-05	-7.14E-05	-4.18E-06	-7.10E-06	0	0	0	0	-186233	-162571	27414.04	9.31E-07	-7.14E-05	-7.14E-05	-4.18E-06	-7.10E-06	0	
16	16	3D	0	0	-149710	-136437	17294.54	-1.23E-06	-9.77E-05	-9.77E-05	-4.93E-06	-9.20E-06	0	0	0	0	0	-149710	-136437	17294.54	-1.23E-06	-9.77E-05	-9.77E-05	-4.93E-06	-9.20E-06	0
17	17	3D	-129.756	26.06589	98622.02	8564.574	12658.84	0	0	0	0	0	0	-129.756	26.06589	98622.02	8564.574	12658.84	0	0	0	0	0	0		
18	18	3D	0	0	-101094	-137583	-3174.1	7.66E-07	-5.18E-05	-5.18E-05	-3.84E-06	1.02E-06	0	0	0	0	-101094	-137583	-3174.1	7.66E-07	-5.18E-05	-5.18E-05	-3.84E-06	1.02E-06	0	
19	19	3D	0	0	-50305.6	-79698.5	-4456.71	-6.21E-06	-8.28E-05	-8.28E-05	-3.57E-06	1.57E-05	0	0	0	0	-50305.6	-79698.5	-4456.71	-6.21E-06	-8.28E-05	-8.28E-05	-3.57E-06	1.57E-05	0	
20	20	3D	-1739.44	-9355.95	92214.67	-27129.8	-2931.07	0	0	0	0	0	0	-1739.44	-9355.95	92214.67	-27129.8	-2931.07	0	0	0	0	0	0		
21	21	3D	0	0	-73579	55405.8	-1059.48	8.80E-07	-1.64E-05	-1.64E-05	4.82E-05	-1.09E-06	0	0	0	0	-73579	55405.8	-1059.48	8.80E-07	-1.64E-05	-1.64E-05	4.82E-05	-1.09E-06	0	
22	22	3D	652.7082	12495.7	185121.7	320980.5	15455.68	0	0	0	0	0	0	652.7082	12495.7	185121.7	320980.5	15455.68	0	0	0	0	0	0		
23	23	3D	0	0	-147727	-317470	-5840.1	3.88E-06	-1.37E-05	-1.37E-05	-1.85E-05	5.52E-06	0	0	0	0	-147727	-317470	-5840.1	3.88E-06	-1.37E-05	-1.37E-05	-1.85E-05	5.52E-06	0	
24	24	3D	3817.135	3315.425	436062.9	-664164	92315.33	0	0	0	0	0	0	3817.135	3315.425	436062.9	-664164	92315.33	0	0	0	0	0	0		
25	25	3D	0	0	-207359	245024	-27495	1.38E-06	-6.61E-05	-6.61E-05	-2.13E-06	3.32E-06	0	0	0	0	-207359	245024	-27495	1.38E-06	-6.61E-05	-6.61E-05	-2.13E-06	3.32E-06	0	
26	26	3D	0	0	-120984	125501.6	-20049.2	4.85E-06	-0.0001	-0.0001	-4.88E-06	1.16E-05	0	0	0	0	-120984	125501.6	-20049.2	4.85E-06	-0.0001	-0.0001	-4.88E-06	1.16E-05	0	
27	27	2D	-1430.88	n/d	132774.6	n/d	14165.43	0	n/d	0	n/d	0	0	-1430.88	n/d	132774.6	n/d	14165.43	0	n/d	0	n/d	0	0		
28	28	2D	0	n/d	-77336.2	n/d	805.9896	2.47E-06	n/d	-3.02E-05	n/d	-7.26E-07	0	0	0	0	-77336.2	n/d	805.9896	2.47E-06	n/d	-3.02E-05	n/d	-7.26E-07	0	
29	29	2D	-996.51	n/d	54627.71	n/d	953.9705	0	n/d	0	n/d	0	0	-996.51	n/d	54627.71	n/d	953.9705	0	n/d	0	n/d	0	0		
30	30	2D	0	n/d	-24560.5	n/d	982.7658	-2.17E-07	n/d	-3.16E-05	n/d	2.22E-06	0	0	0	0	-24560.5	n/d	982.7658	-2.17E-07	n/d	-3.16E-05	n/d	2.22E-06	0	

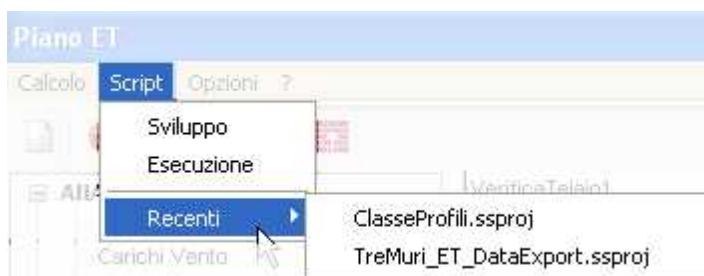
8.2 ET SVILUPPO

ET Sviluppo rende disponibile un ambiente di sviluppo RAD (Rapid Application Development) che permette di realizzare dei programmi (script) nei linguaggi Delphi e Basic. Gli script sono veri e propri programmi in grado di effettuare elaborazioni di dati e implementazione di algoritmi, anche complessi.

Questo ambiente integra al suo interno delle funzioni predefinite che permettono di interagire direttamente con il programma 3Muri al fine di elaborare i dati di input e di output.

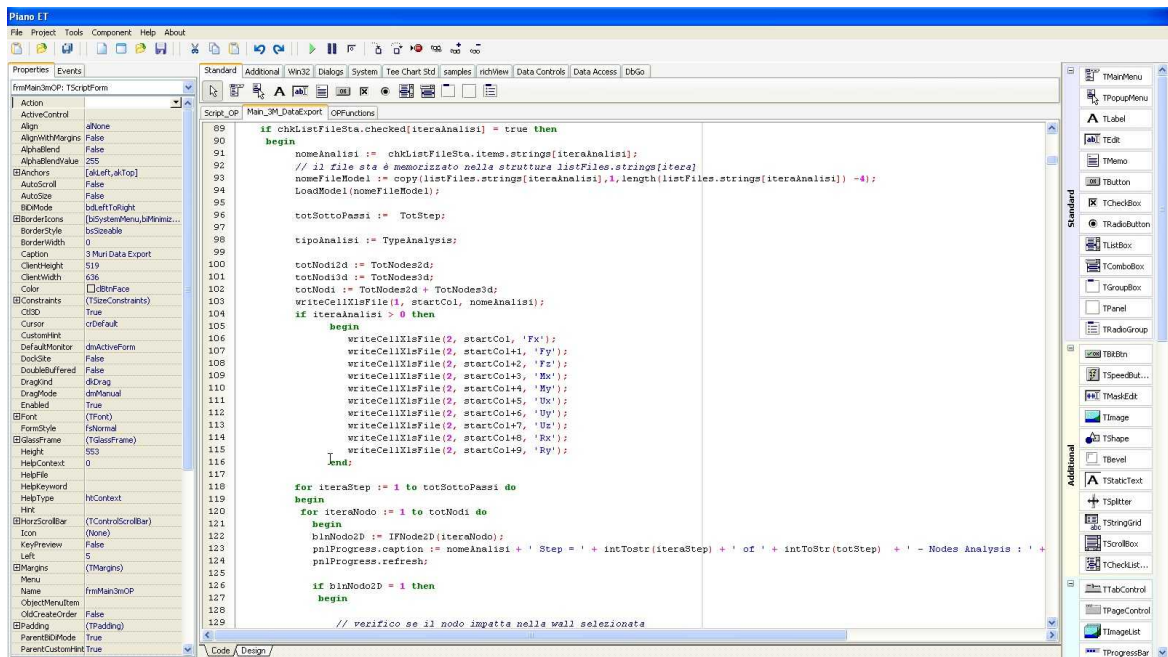
L'immagine riporta l'ambiente per la scrittura di script con tutte le comodità di un linguaggio ad oggetti:

ET Sviluppo è accessibile dal menu strumenti:



Script > Sviluppo:

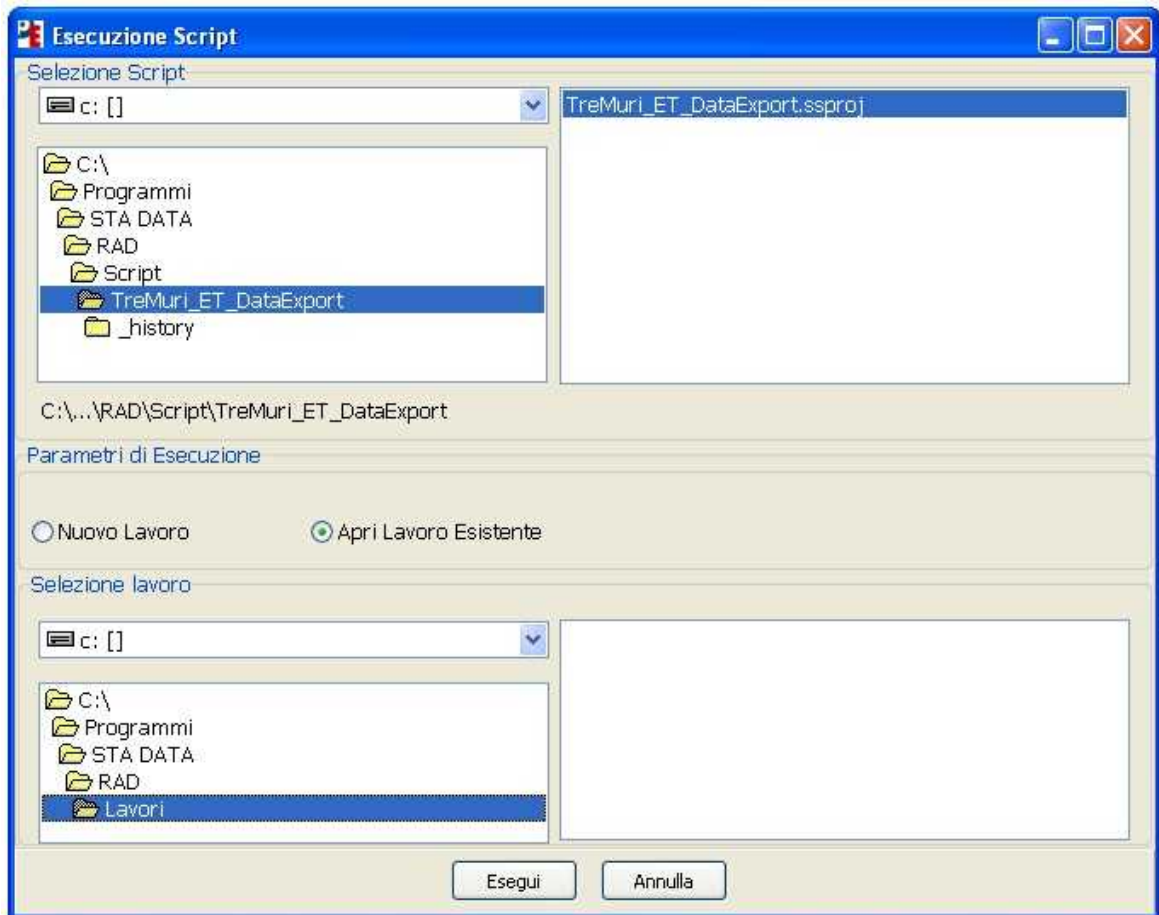
Permette di accedere direttamente all'ambiente di programmazione.



Strumenti > Esecuzione:

Permette di caricare in memoria ed eseguire direttamente uno script.

Dall'apposita finestra si può selezionare lo script.



Nella parte bassa della finestra si può decidere se eseguire un nuovo lavoro relativamente allo script prescelto, oppure aprirne uno esistente.

Strumenti > Recenti:

Permette di eseguire direttamente uno script eseguito in precedenza selezionandolo semplicemente dalla lista.



ET sviluppo è dotato di un manuale d'uso per la programmazione che può essere scaricato dal sito www.stadata.com

9 Steel Connection

Dalla selezione dei nodi del telaio è possibile eseguire il modulo "Steel Connection" per la verifica e il disegno dei collegamenti. Il modulo "Steel Connection" offre un'ampia gamma di tipologie di collegamenti in acciaio, tali da coprire tutte le esigenze del progettista. Oltre alla relazione di calcolo, completa ed esaustiva, sono disponibili anche i disegni dei collegamenti in formato DXF.

Travata-trave (Semi-rigido) EN 1993-1-8

File Impostazioni

Angolari [mm]

Sezione L80x80x10 S135X

Lato singolo

Centrale

$l_a = 130$

$d_a = 70$

Travata - Angolare

Connesso alla travata

Inbullonatura Saldatura

Database EN 1993-1-8

Tipo 4.6

Diametro $d = 10$

Sezione di taglio Non Filettata

Numero di file orizzontali $w = 2$

Numero di file verticale $k = 1$

$p_1 = 60$

Centro verticale

$e_1 = 35$

$e_2 = 35$

Flangiatura completa

Angolare - trave

Connesso alla trave

Inbullonatura Saldatura

Database EN 1993-1-8

Tipo 4.6

Diametro $d = 10$

Sezione di taglio Non Filettata

Numero di file orizzontali $w = 2$

Numero di file verticale $k = 1$

$p_1 = 60$

Centro verticale

$e_1 = 35$

$e_2 = 35$

Flangiatura completa

categoria collegamento A

Elemento di connessione

Per piastra

Per angolari

Per rinforzo

Travata

Sezione IPE360 S135X

Trave

Sezione IPE270 S135X

$r = 0$

$s = 20$

Sezione finale trave

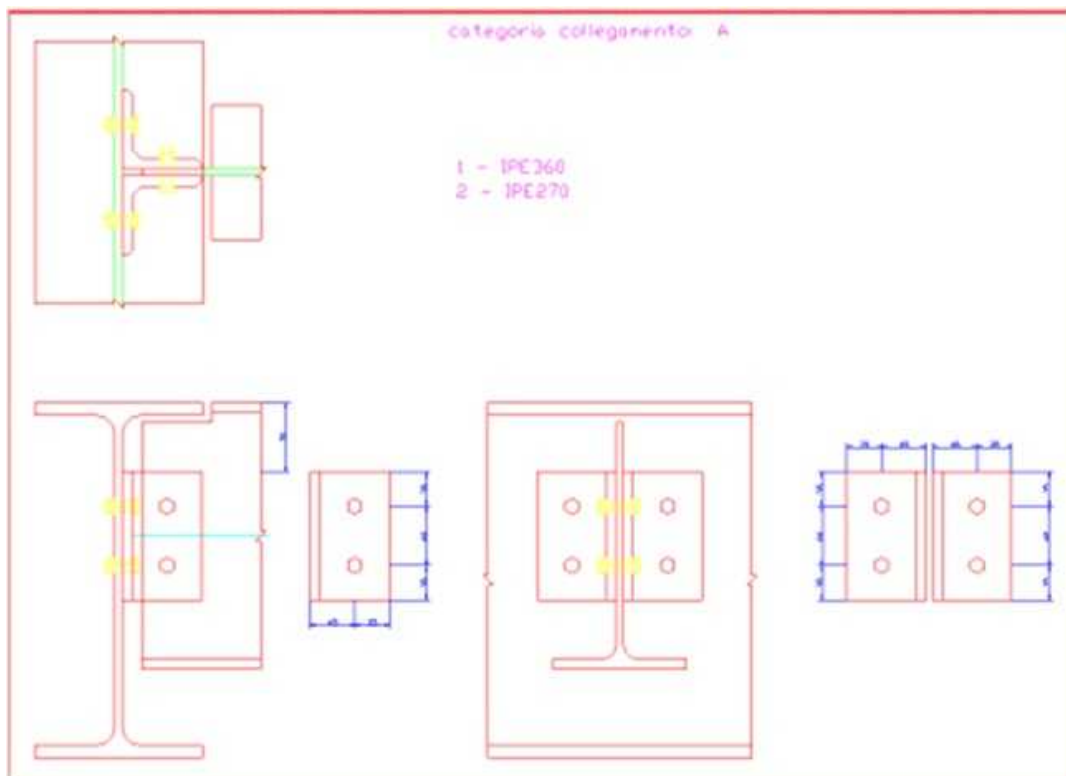
$c_1 = 20$

$c_2 = 0$

$l = 70$

www.qammacad.pl

Vista 3D Disegno Geometria Calcolo



10 Confronto metodo FME con metodo POR e FEM

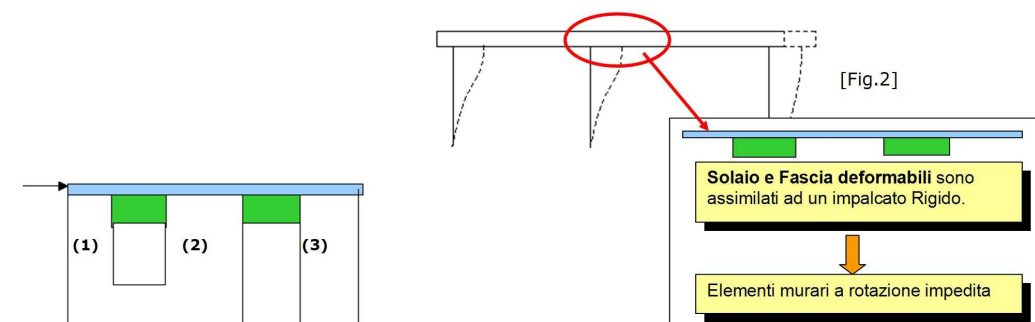
Nel seguito si riporta il confronto del metodo FME con i metodi POR e FEM.

10.1 Il metodo POR

Il primo metodo esaminato è il metodo POR, sviluppato negli anni 80, cioè in un periodo di ancora scarsa diffusione dei computer.

Uno degli obiettivi di questo metodo era infatti rendere possibile, nonostante le difficoltà connesse all'analisi incrementale a collasso, l'applicazione attraverso procedimenti di calcolo manuale.

Per questo il metodo POR schematizza la struttura in modo molto semplificato, tenendo conto del contributo resistente dei soli elementi murari disposti verticalmente (1), (2), (3) riportati della figura sotto senza prendere in esame la rigidezza reale delle fasce orizzontali di muratura.



Schema del metodo POR

Ipotesi vincolante per il metodo POR è la rigidezza infinita del solaio nel piano orizzontale come sistema di collegamento tra le diverse pareti murarie in sostituzione dell'effettiva rigidezza del sistema solaio e fascia; ciò equivale ad utilizzare un modello di calcolo in cui gli elementi murari verticali sono da considerarsi a rotazioni impedita all'estremità.

Questa ipotesi comporta una resistenza massima maggiore rispetto a quella ottenuta con l'ipotesi di solaio e cordolo flessibile, ma si penalizza fortemente la duttilità, parametro considerato molto più significativo della resistenza e che si ottiene proprio grazie alla rotazione delle fasce.

Sintesi delle caratteristiche del metodo POR

- Modello semplificato, di facile implementazione numerica e usabile anche manualmente
- Solai infinitamente rigidi
- Non sono previsti meccanismi di danneggiamento delle fasce
- Rigidezza strutturale sovrastimata
- Duttilità strutturale fortemente sottostimata

10.2 Il metodo FEM

Un edificio in muratura può essere analizzato discretizzando le pareti mediante elementi finiti di superficie con programmi FEM classici.

A causa di questo, l'analisi è tanto più significativa quanto maggiore è il grado di dettaglio della mesh, quindi risulta "mesh dependent" e fortemente condizionata dalle operazioni di definizione del modello.

Questo tipo di analisi risulta decisamente più onerosa in termini computazionali ed è solo realizzabile con programmi di calcolo automatico.

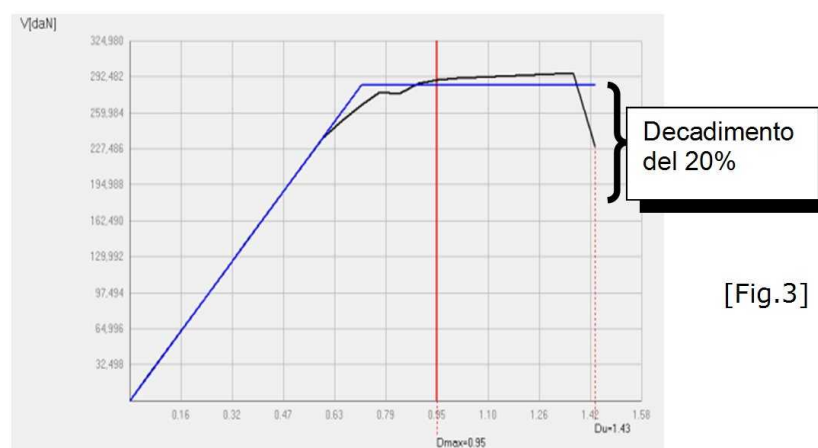
Nel caso in cui venga considerata una legge costitutiva non lineare del materiale, il metodo può prendere in esame il corretto degrado della muratura, riducendo la resistenza degli elementi danneggiati.

La definizione dei parametri richiede una accurata conoscenza del materiale murario ad un livello di dettaglio non esplicitamente contemplato nelle normative la cui valutazione si può ricavare solo attraverso accurate analisi sperimentali.

La mancanza di questi parametri o la non corretta valutazione, equivale ad ottenere, come risultato di un'analisi statica non lineare, una curva "pushover" che non prende in esame il tratto discendente che si forma a causa del danneggiamento strutturale

La norma invece definisce il valore ultimo in corrispondenza al decadimento del taglio del 20% rispetto al valore massimo.

Non è quindi possibile definire il collasso, in accordo a quanto richiesto dalla Norma.



[Fig.3]

Curva pushover con decadimento del taglio del 20% rispetto al valore massimo

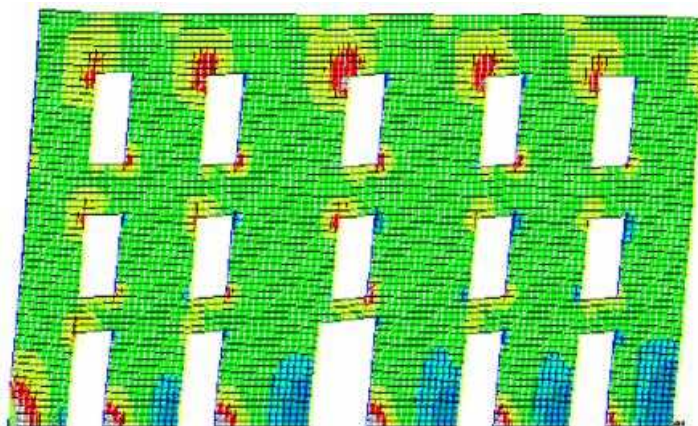
I risultati di analisi di questo tipo forniscono mappe che mettono in luce il livello tensionale localizzato della muratura.

Il valore puntuale di tensione superiore al valore limite non rappresenta la rottura del pannello murario.

I criteri di resistenza per gli elementi murari dipendono infatti da valori delle caratteristiche di sollecitazione che non hanno una corrispondenza diretta con

lo stato tensionale, considerando quindi non gli effetti puntuali delle tensioni, ma anche possibili ridistribuzioni dovute al comportamento non lineare ed al degrado.

Per eseguire una analisi corretta e coerente, è quindi necessario rielaborare i risultati della modellazione, tramite operazioni di media ed integrazione.



Risultati della modellazione, tramite operazioni di media ed integrazione

Sintesi caratteristiche del metodo FEM

- Dipendenza dell'analisi dalla mesh (mesh dependent) e tempo di calcolo fortemente dipendente dalle dimensioni del modello; per grandi modelli il tempo di calcolo può essere notevole.
- Definizione puntuale delle leggi costitutive del materiale di difficile reperimento
- La Norma non contiene tutti i parametri necessari a definire il comportamento non lineare ed il degrado, senza i cui valori non è possibile applicare coerentemente i criteri di resistenza ed i limiti di spostamento associati al decadimento della resistenza globale della curva di capacità.
- Per l'applicazione dei criteri di resistenza a taglio e pressoflessione alla muratura è necessario integrare gli effetti nodali sui singoli elementi murari, almeno a controllo e verifica di quanto ottenuto con il modello costitutivo non lineare.
- La Norma, infatti, non presenta riferimenti espliciti a modellazione dei pannelli mediante discretizzazione in elementi di superficie ma propone una modellazione a telaio equivalente con maschi, travi in muratura ed eventuali altri elementi strutturali in c.a. ed acciaio.

10.3 Il metodo FME

La Norma fornisce alcune considerazioni generali sulle modalità di modellazione delle strutture con la finalità dell'analisi sismica globale.

Per gli edifici esistenti in muratura ordinaria vengono inoltre precisate alcune particolarità e suggeriti i relativi concetti per la loro modellazione.

Il modello di riferimento è quello a telaio equivalente tridimensionale, in cui le pareti sono interconnesse da diaframmi orizzontali di piano (solai).

Nello specifico degli edifici in muratura, la parete potrà essere adeguatamente schematizzata come telaio, in cui vengono assemblati gli elementi resistenti (maschi e fasce) ed i nodi rigidi.

Le travi di accoppiamento in muratura ordinaria, o fasce, saranno modellate solo se il progettista le riterrà adeguatamente ammorsate alle pareti.

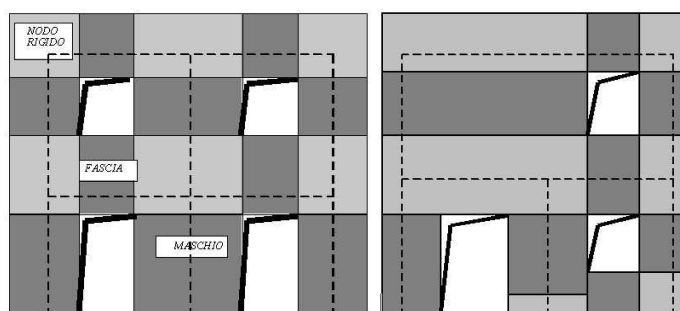
Dividendo la parete in tratti verticali corrispondenti ai vari piani e nota l'ubicazione delle aperture, vengono automaticamente determinate le porzioni di muratura, maschi murari e fasce di piano in cui si concentrano deformabilità e danneggiamento (come è verificabile dalle osservazioni dei danni da sismi reali, da simulazioni sperimentali e numeriche).

Quindi maschi e fasce sono modellate con i macroelementi finiti bidimensionali, rappresentativi di pannelli murari, a due nodi con tre gradi di libertà per nodo (u_x , u_z , rot_y).

Le restanti porzioni di parete vengono dunque considerate come nodi rigidi bidimensionali di dimensioni finite, a cui sono connessi i macroelementi; questi ultimi trasmettono, ad ognuno dei nodi incidenti, le azioni lungo i tre gradi di libertà del piano.

Nella descrizione di una singola parete i nodi sono individuati da una coppia di coordinate (x, z) nel piano della parete; i gradi di libertà di cui disporranno saranno unicamente u_x , u_z , rot_y (nodi bidimensionali).

Grazie a questa suddivisione in nodi ed elementi, il modello della parete diviene quindi del tutto assimilabile a quello di un telaio piano.



La modellazione strutturale richiede inoltre la possibilità di inserire travi, individuate nel piano dalla posizione dei due nodi di estremità.

Oltre alla presenza di vere e proprie travi (architravi o cordoli in c.a.) il modello prevede la presenza di dispositivi catena: queste strutture metalliche, sono sprovviste di rigidezza flessionale e perdono ogni efficacia nel caso divengano compresse. Questa loro peculiarità comporta un ulteriore elemento di non linearità nel modello.

La Norma ha, tra i suoi presupposti, il carattere prestazionale: le indicazioni sulle modalità di modellazione e verifica degli elementi costituiscono un riferimento per un'affidabile modellazione non lineare.

La Norma richiede la formulazione di meccanismi che considerino sia la risposta flessionale, sia la risposta a taglio: il meccanismo di pressoflessione è affrontato, in modo rigoroso, considerando l'effettiva redistribuzione delle compressioni dovute sia alla parzializzazione della sezione, sia al raggiungimento della resistenza massima a compressione. Lo spostamento ultimo associato al meccanismo di pressoflessione è determinato sulla base del valore massimo di drift previsto per questo meccanismo: 0.6%.

Il meccanismo di taglio, descritto secondo il legame sviluppato da Gambarotta-Lagomarsino, riesce a cogliere il progressivo degrado di resistenza e rigidità dell'elemento, attraverso le grandezze descrittive del danneggiamento.

La deformazione ultima a taglio è determinata sulla base del valore massimo di drift previsto dalla normativa: 0.4%.

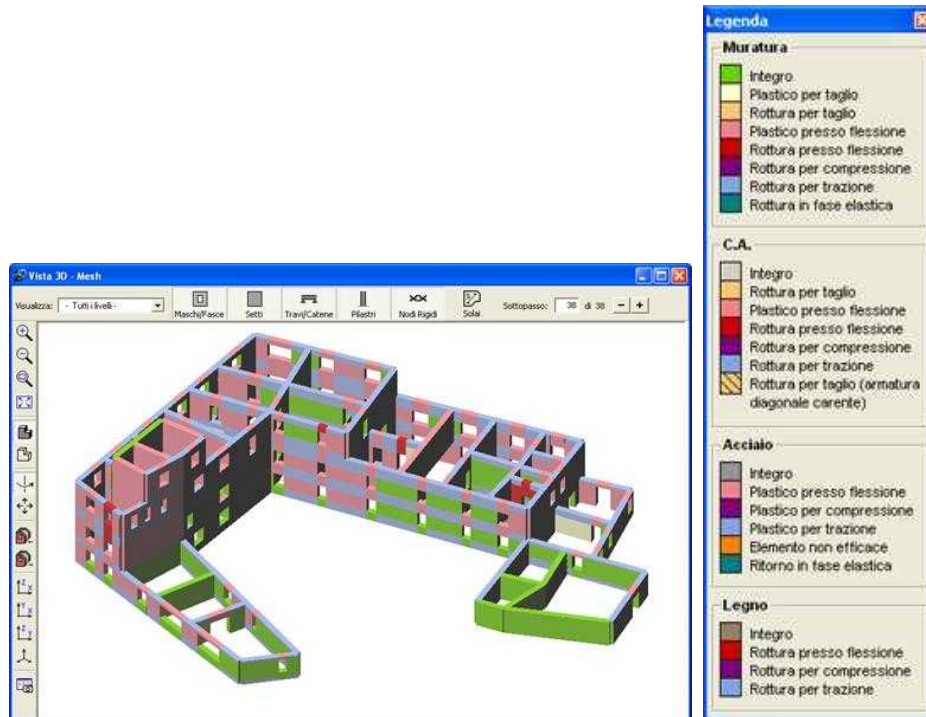
La struttura risulta così modellata dall'assemblaggio di strutture piane: le pareti e gli orizzontamenti, entrambi privi di rigidità flessionale fuori dal piano.

Il modello così realizzato mette in luce il comportamento spaziale della struttura. Per questo masse e rigidità sono distribuite su tutti i gradi di libertà tridimensionali tenendo conto però, localmente, dei soli g.d.l. nel piano (nodi bidimensionali).

I nodi di connessione, appartenenti ad una sola parete, mantengono i propri gradi di libertà nel piano di riferimento locale, mentre i nodi che appartengono a più pareti (localizzati nelle incidenze di queste ultime) debbono necessariamente disporre di gradi di libertà nel riferimento globale (nodi tridimensionali).

Previsioni di intervento

Grazie a questa tecnica di modellazione si possono individuare i punti di debolezza strutturale mediante una mappatura colorata (ad ogni colore è associato un livello di degrado localizzato).

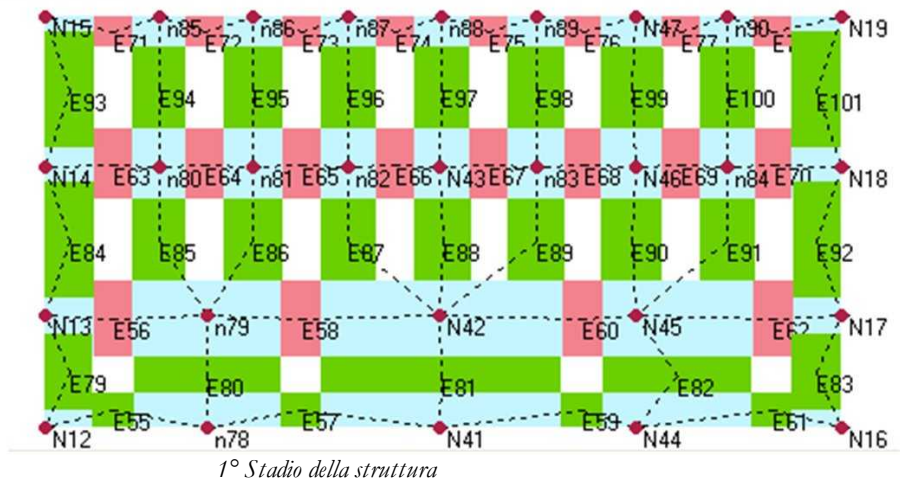


Il degrado strutturale di ogni singola parete, come conseguenza del progressivo caricamento della struttura è evidenziato mediante mappe di danneggiamento riportate sulle pareti.

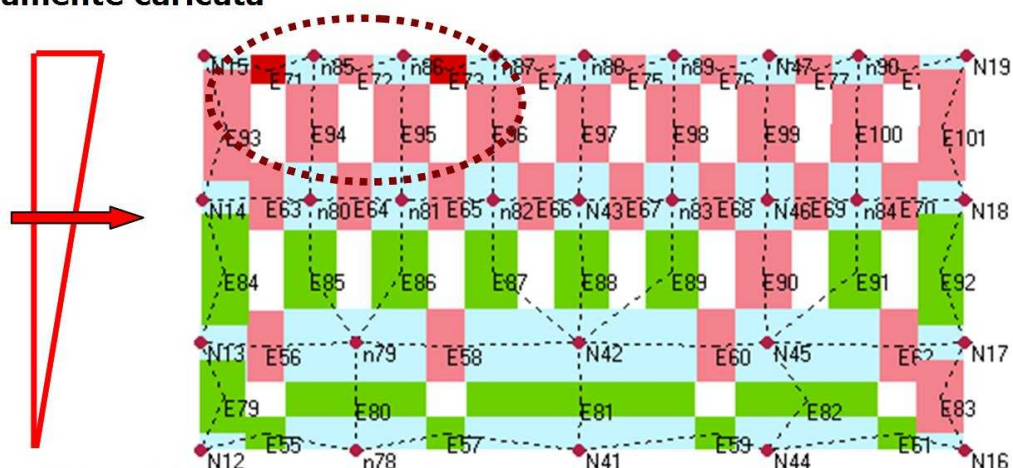
La figura sopra riporta le scale di colore che individuano i diversi gradi di danneggiamento dei vari elementi strutturali (pareti, pilastri, cordoli, travi, setti) secondo le varie gradazioni raggiunte.

Le figure seguenti riportano i diversi stadi di degrado della struttura in funzione del livello di carico raggiunto.

Struttura non caricata

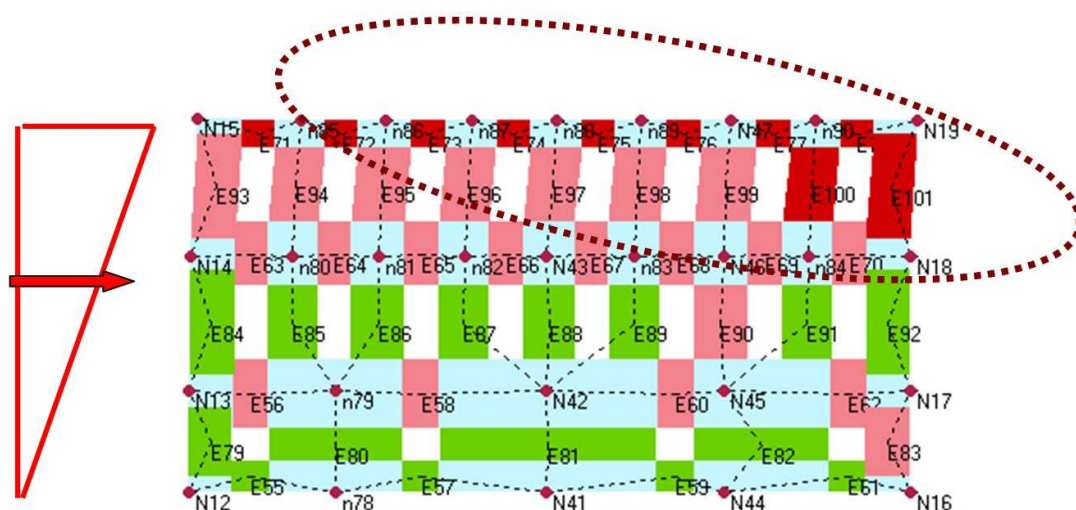


Mediamente caricata



Elementi E71 ed E73 raggiungono la rottura per pressoflessione

2° Stadio della struttura



3° Stadio della struttura

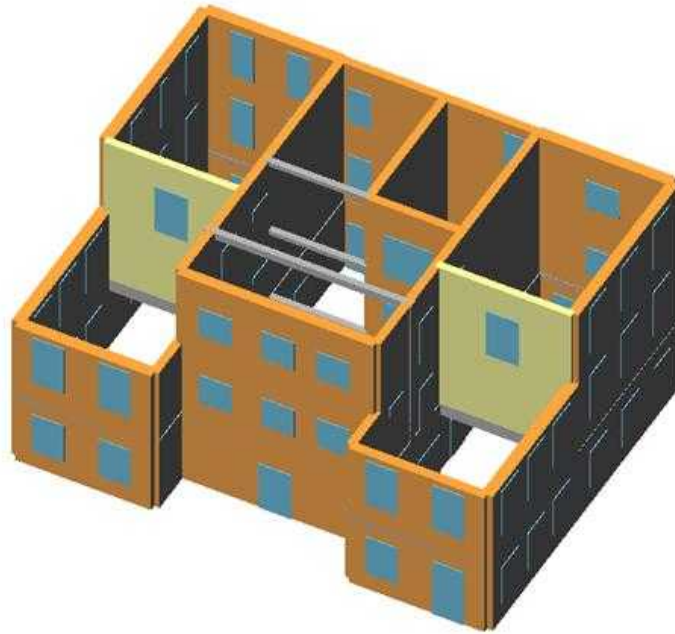
Grazie a questo strumento è possibile individuare i punti in cui intervenire per eseguire opere di adeguamento mirato.

Strutture miste

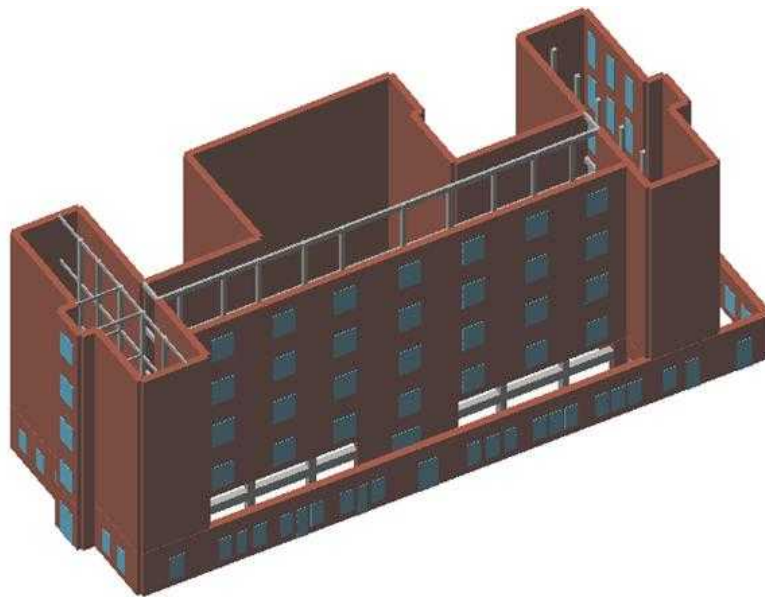
Elemento caratterizzante di tale modellazione è la possibilità di esaminare strutture in muratura miste, in cui la presenza del c.a., legno, acciaio forniscono un notevole contributo alla resistenza della struttura.

Sebbene la resistenza degli elementi strutturali in c.a. sia quasi sempre maggiore di quella degli elementi murari, tale procedura di calcolo permette di monitorare le sequenze di rottura dei vari elementi indipendentemente dalla tipologia strutturale e dal materiale a cui appartengono andandoli ad escludere dal contributo alla resistenza complessiva quando si rompono.

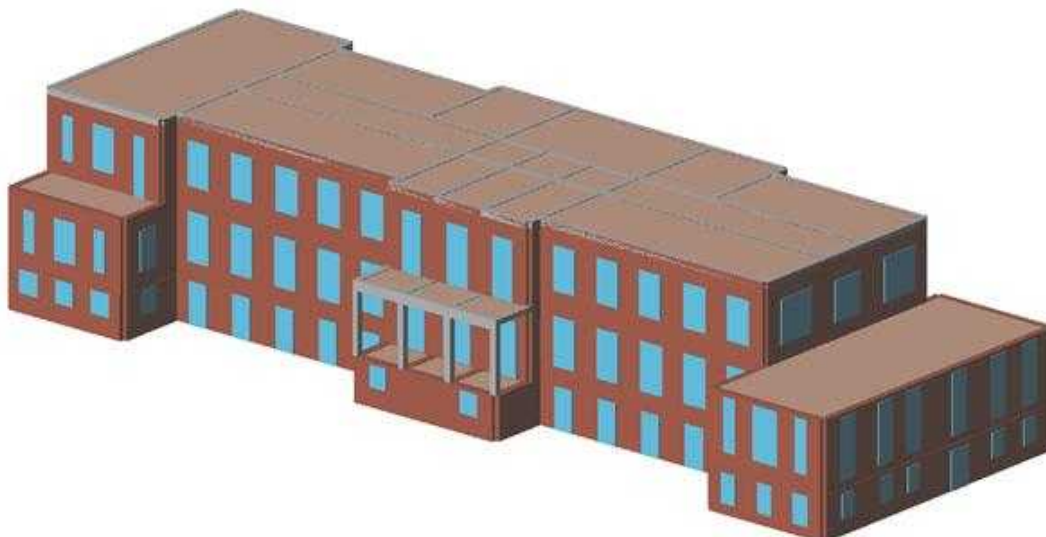
La possibilità di tenere in conto del contributo di resistenza di elementi strutturali differenti dalla muratura permette al progettista di superare i limiti progettuali del metodo POR.



Modellazione 3D di una struttura mista



Modellazione 3D di una struttura mista



Modellazione 3D di una struttura mista

Calcolo automatico delle eccentricità accidentali

Definita la pianta dell'edificio, le eccentricità accidentali richieste dalle normative vengono calcolate in modo automatico. Questo comporta la creazione di una tabella per il calcolo di 24 condizioni di carico, quante sono quelle previste da normativa.

Analisi		Dati generali		Nodo di controllo		Abilità analisi		
Piano Campagna		0 [m]	Livello [3] Livello 3	Nodo	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità	
Step critico		500	<input checked="" type="checkbox"/> Usa spostamenti medi del livello selezionato					
N.	Calcola analisi	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Sottopassi	Precisione	Spst. max	
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	0	200	0,005	0,12	Modifica Imposta dati comuni Disabilita analisi Disabilita tutte le analisi Attiva normativa OK
2	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	0	200	0,005	0,12	
3	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	0	200	0,005	0,12	
4	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	0	200	0,005	0,12	
5	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	0	200	0,005	0,12	
6	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	0	200	0,005	0,12	
7	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	0	200	0,005	0,12	
8	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	0	200	0,005	0,12	
9	<input type="checkbox"/>	+X	Masse	124,575	200	0,005	0,12	
10	<input type="checkbox"/>	+X	Masse	-124,575	200	0,005	0,12	
11	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	124,575	200	0,005	0,12	
12	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	-124,575	200	0,005	0,12	
13	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	124,575	200	0,005	0,12	
14	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	-124,575	200	0,005	0,12	
15	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	124,575	200	0,005	0,12	
16	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	-124,575	200	0,005	0,12	
17	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	52,4786	200	0,005	0,12	
18	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	-52,4786	200	0,005	0,12	
19	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	52,4786	200	0,005	0,12	
20	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	-52,4786	200	0,005	0,12	
21	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	52,4786	200	0,005	0,12	
22	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	-52,4786	200	0,005	0,12	
23	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	52,4786	200	0,005	0,12	
24	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	-52,4786	200	0,005	0,12	

Sintesi delle caratteristiche del metodo FME adottato da 3Muri.

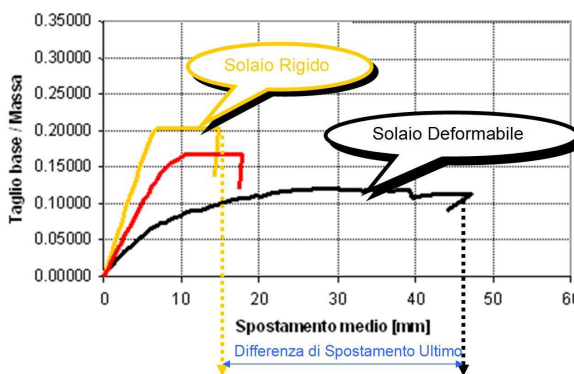
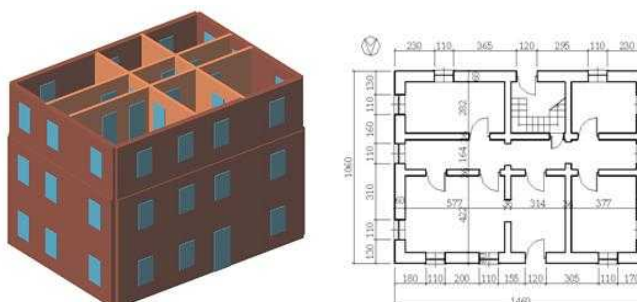
- Modellazione a telaio equivalente con tutte le specifiche richieste da normativa

- Gli elementi del modello, maschi e fasce, consentono il calcolo diretto delle sollecitazioni per confrontarle con i valori limite forniti dalla normativa.
- Presa in esame di strutture miste (muratura, trave, pilastri, setti in c.a., acciaio e legno) con comportamento non lineare di tutti gli elementi.
- La modellazione delle pareti a telaio equivalente permette di realizzare l'assemblaggio spaziale delle pareti, collegandole tramite elementi deformabili per la simulazione dell'effettiva rigidità dei solai.
- Lettura dei risultati semplice ed intuitiva: possono essere individuate le cause di danneggiamento locale e globale per taglio o presso-flessione potendo intervenire efficacemente per consolidare la struttura.
- La notevole velocità di calcolo non lineare è poco sensibile alla dimensione del modello.

10.4 Confronto metodo POR e FEM

Calcolare un edificio con elementi a rotazione impedita e piano infinitamente rigido (Metodo POR) equivale solitamente a sovrastimare la rigidità e a sottostimare la duttilità strutturale.

Si consideri ad esempio un edificio in muratura a 3 piani, senza cordoli a livello dei piani, rappresentativo quindi di molti edifici esistenti.

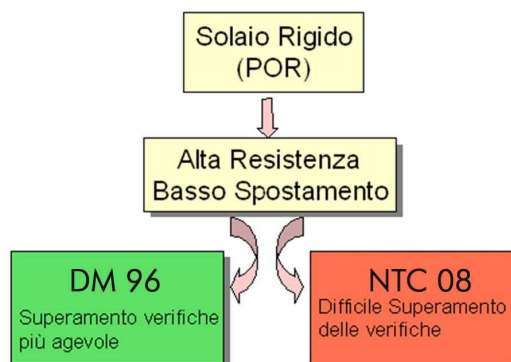


Il confronto tra i modelli non è esattamente un confronto tra il metodo POR e i metodi a telaio equivalente: il POR analizza separatamente i singoli piani e poi va a "sovrapporre" la risposta.

Il diagramma precedente mette in luce, oltre alla maggiore rigidezza del modello ad impalcato rigido con rotazioni bloccate, rispetto a quello reale (deformabile e valutato con 3Muri), anche valori di duttilità decisamente inferiori.

La curva di colore rosso (intermedia alle altre due), corrisponde ad una struttura il cui piano è stato irrigidito dalla presenza di cordoli, il cui comportamento è intermedio tra i due casi estremi precedentemente illustrati.

Da quanto qui descritto emerge il seguente confronto tra le due normative:



VERIFICA SECONDO NTC 08

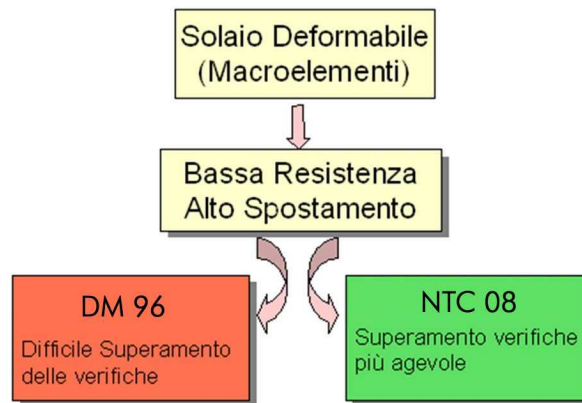
N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLU [cm]	Du SLU [cm]	q ¹ SLU	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Alfa u
1	<input type="checkbox"/>	+X	Masse	0	0.818	1.122	1.197	0.284	0.774	1.224
2	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	0	0.948	1.435	1.186	0.339	1.368	1.328
3	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	0	0.818	1.122	1.197	0.284	0.774	1.224
4	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	0	0.976	1.316	1.251	0.339	0.854	1.229
5	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	0	1.208	0.973	1.565	0.393	0.942	0.854
6	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	0	1.453	1.676	1.846	0.475	0.942	0.854
7	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	0	1.208	0.973	1.565	0.393	0.942	0.854
8	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	0	1.453	1.735	1.837	0.475	1.005	1.160
9	<input type="checkbox"/>	+X	Masse	50	0.811	1.128	1.183			
10	<input type="checkbox"/>	+X	Masse	-50	0.820	1.057	1.200			
11	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	50	0.947	1.382	1.186			
12	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	-50	0.946	1.547	1.181			

NTC08 NON VERIFICATA
DM 96 VERIFICATA

verifica secondo DM 96

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Moltiplicatore Gk	Moltiplicatore Gk	Ecc. [cm]	Fh [daN]	Fu [daN]	
13	<input type="checkbox"/>	-X	Masse					
14	<input type="checkbox"/>	-X	Masse					
15	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo					
16	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo					
17	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse 1	1.4	1.5	0	241,616.10	356,687.10
18	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse 2	1.4	1.5	0	241,616.10	356,687.20
19	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo 3	1.4	1.5	0	241,616.10	249,419.80
20	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo 4	1.4	1.5	0	241,616.10	250,765.00
21	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse 5	1	0	0	57,494.20	292,974.60
22	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse 6	1	0	0	57,494.20	281,055.70
23	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo 7	1	0	0	57,494.20	194,534.70
24	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo 8	1	0	0	157,494.20	193,305.10

Tabella dei risultati con il confronto tra le due normative (DM 96 e NTC 08)



Applicabilità del metodo POR secondo la Circolare del 30-07-1981

Il metodo di calcolo POR è riportato nell'appendice della circolare del 30-07-1981 ed è considerato un metodo semplificato applicabile solo in condizioni ben precise chiaramente illustrate nella normativa:

"Nel caso di pareti poco snelle e quindi funzionanti prevalentemente a taglio, quali possono generalmente considerarsi quelle di edifici di limitata altezza (2 o 3 piani) e con fasce di piano fra file di aperture contigue e sovrapposte molto rigide e di sufficiente resistenza, il collasso si realizza in genere con la rottura a taglio degli elementi murari verticali (maschi) e la verifica può essere condotta con il procedimento POR (esaurientemente illustrato in appendice)".

Quando invece le ipotesi precedenti non sono soddisfatte:

"Edifici relativamente alti (4 piani ed oltre), o per l'insufficiente rigidità o resistenza delle fasce di piano, il collasso si realizza in genere con una preventiva rottura a taglio delle fasce di piano, seguita da quella dei maschi murari per effetto combinato di flessione e taglio. La verifica dovrà allora condursi con metodi di calcolo che tengano opportunamente conto delle prevedibili modalità di collasso.

Le pareti possono essere verificate schematizzandole come telai piani".

Il metodo di calcolo più generico, già prescritto nella circolare del 1981, per tutti i casi in cui non era applicabile il metodo semplificato (POR), indirizza il progettista verso il nuovo metodo di calcolo attualmente adottato nella Norma.

Il metodo di calcolo descritto prevede una modellazione a telai piani che è attualmente impiegata nella teoria a macroelementi implementata nel software 3Muri.

Osservazioni

La scelta di adottare impalcati rigidi (metodo POR) si mostra restrittiva per l'impiego delle NTC 08.

Il metodo POR presuppone la modellazione delle travi in muratura come infinitamente rigide, escludendo così la possibilità che queste possano danneggiarsi e rompersi: oltre a non essere coerente con il comportamento

effettivo delle costruzioni, il metodo non fornisce nemmeno le sollecitazioni agenti su tali elementi non consentendone la verifica.

A differenza dei metodi a telaio equivalente, il metodo POR non consente di effettuare analisi che rispettino l'equilibrio, né a livello locale né globale.

Analizzando separatamente la risposta dei singoli piani della costruzione non è possibile valutare la variazione delle azioni verticali connesse all'applicazione delle forze orizzontali, né garantire l'equilibrio nel passaggio tra un maschio e quello corrispondente al piano superiore.

Oltre agli aspetti legati al superamento o meno delle verifiche prescritte dalle diverse normative, è opportuno rilevare come l'analisi a telaio equivalente (macroelementi) sia in grado di simulare in maniera più corretta la risposta reale, consentendo quindi una valutazione più affidabile ed una consapevole scelta dei più efficaci metodi di consolidamento.

10.5 Confronto metodo FME e FEM

Si riassumono le problematiche dell'analisi agli elementi finiti rispetto al modello a macroelementi.

- Tempi di calcolo rilevanti dovuti ad un consistente onere computazionale.
- La Norma fa esplicito riferimento ai modelli a telaio equivalente, sia quando tratta dei metodi di analisi (8.1.5), sia quando precisa come eseguire le verifiche (8.1.6 e 8.2.2). Si parla infatti sempre di elementi murari o strutturali.
- Nella Norma le verifiche sono eseguite in termini di caratteristiche di sollecitazione (N, T e M) e non di tensione puntuale nella muratura: una analisi ad elementi finiti richiede la successiva integrazione su tutto l'elemento murario poiché i criteri di resistenza forniti dalla normativa sono espressi in termini globali per il pannello.
- Una analisi di dettaglio, come quella ad elementi finiti, richiede legami costitutivi puntuali definiti da un numero di parametri maggiore di quelli forniti dalla Norma che il progettista si trova a dover definire in modo arbitrario o mediante accurate analisi sperimentali.
- Anche la lettura finale dei risultati dell'analisi può non essere agevole o univoca, nel caso dei metodi agli elementi finiti, e richiede notevole esperienza e competenza specifica.

Da quanto fino ad ora detto emerge come sia complesso effettuare una verifica con un modello FEM continuo, rispettando le indicazioni della Norma.

Per le difficoltà che pone, tale strategia di modellazione è indicata per analisi specialistiche di strutture particolari o monumentali (chiese, torri, ponti in muratura), ma non adeguata a rispondere alle esigenze correnti, di accuratezza, velocità e semplicità di lettura dei risultati, proprie della pratica ingegneristica.

11 Modulo Classificazione Sismica

11.1 Introduzione

SismoTest è il modulo di 3Muri dedicato alla Classificazione sismica degli edifici, secondo il D.M. n. 65 del 7/3/2017.

Con la Legge di Bilancio 2017, approvata il 21 dicembre 2016, è stata avviata una campagna volta al miglioramento sismico delle strutture esistenti.

Si tratta del cosiddetto "Sismabonus", un'opportunità per stimolare un piano volontario per la valutazione e prevenzione del rischio sismico degli edifici. Le novità apportate dal decreto Sismabonus sono tante e mirano a promuovere la prevenzione sismica attraverso numerose facilitazioni, tra cui:

- l'estensione alle zone sismiche 1, 2 e 3 e quindi un netto ampliamento delle zone interessate, che nella normativa precedente erano limitate alle zone 1 e 2;
- le detrazioni in 5 anni e quindi un ritorno economico certamente più conveniente rispetto ai 10 anni previsti per tipi di intervento non sismico;
- l'importo massimo è pari a 96.000 € con possibilità di cessione del credito che consente di poter usufruire dei finanziamenti anche se non si ha capienza fiscale.

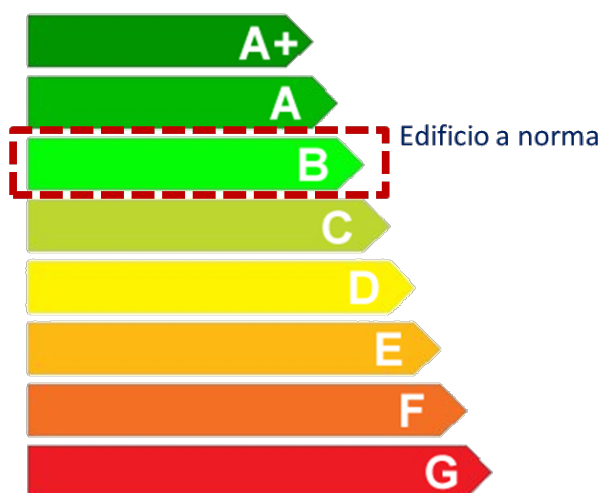
Per accedere al Beneficio Fiscale, il proprietario dell'immobile dovrà incaricare un professionista per la valutazione della classe di rischio e della predisposizione del progetto di intervento.

Il modulo SismoTest di 3Muri mette in pratica quanto richiesto dalle Linee Guida, rendendole facilmente applicabili, fornendo dei suggerimenti nelle fasi di valutazione, producendo i documenti richiesti.

11.2 Normativa di riferimento

La normativa relativa alla determinazione del Rischio Sismico (DM n. 65 del 7/3/2017) contiene anche le linee guida per la sua applicazione.

Le strutture sono classificate in otto Classi di Rischio, con rischio crescente dalla A+ alla G.



Da notare che l'edificio "giusto a norma" è classificato con la Classe B. Questo in quanto gli edifici possono esibire un livello di rischio estremamente modesto (Classe A+) o comunque inferiore (Classe A) a quanto richiesto dalle attuali normative antisismiche relativamente alla progettazione di un nuovo edificio (Classe B).

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

1. Metodo Convenzionale
2. Metodo Semplificato

La figura seguente riporta la sintesi delle azioni previste dalle Linee Guida. Come si può notare, le prime due righe si riferiscono alle strutture in muratura.

	Metodo convenzionale	Metodo semplificato	No classificazione
Muratura (1 salto)			
Muratura (+2 salti)			
Prefabbricati (1 salto)			
Prefabbricati (+2 salti)			
C.A. (1 salto)			
C.A. (+2 salti)			
Altre strutture			

Definizione della classe di rischio (da G a A+) attraverso analisi della struttura

Metodo convenzionale

- **PAM** (Perdita Annuale Media attesa)
- **Indice di sicurezza IS-V**

➔ Classe di rischio

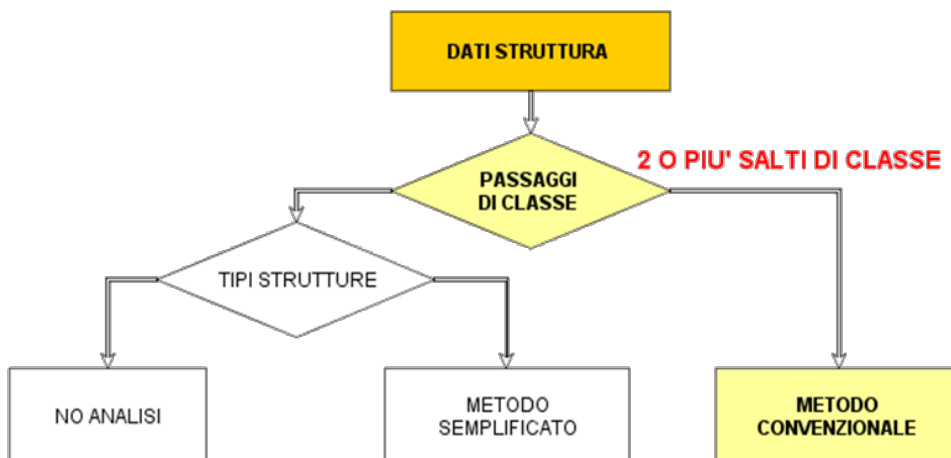
Metodo semplificato

- **PAM** (Perdita Annuale Media attesa)

➔ Classe di rischio

11.2.1 Metodo convenzionale

Il metodo convenzionale è applicabile a qualsiasi tipologia di costruzione ed è basato sull'applicazione dei metodi di analisi previsti dalle attuali Norme Tecniche, in particolare il capitolo 8 relativo alle costruzioni esistenti.

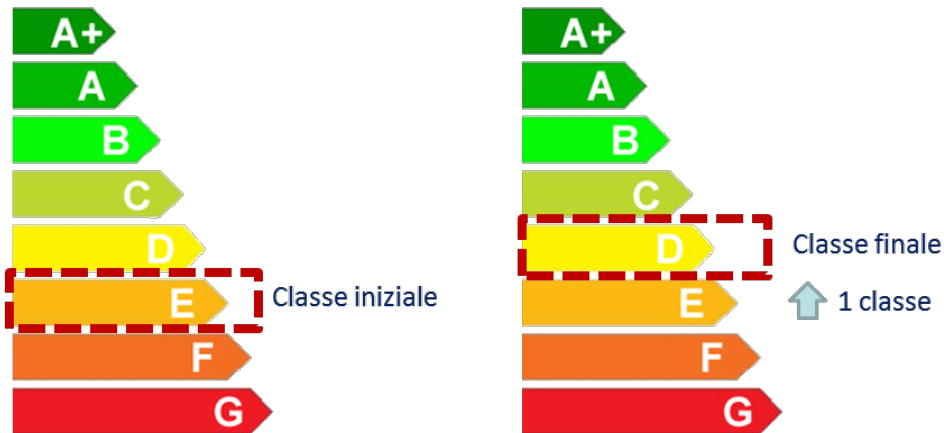


Schema riassuntivo delle due tipologie di metodo di analisi

In questo caso è necessario procedere attraverso la costruzione di un modello di calcolo che simuli il comportamento reale della struttura; ad esempio si possono utilizzare i software 3Muri per struttura in muratura e miste ed Axis VM per le strutture in c.a., acciaio, legno.

Il metodo convenzionale consente la valutazione della Classe di Rischio della costruzione sia allo stato di fatto che allo stato di progetto, ovvero conseguentemente all'intervento.

Zone sismiche: 1, 2, 3 secondo OPCM 3274



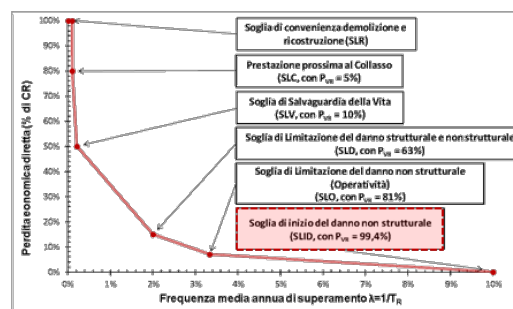
Adottando il metodo convenzionale il finanziamento è pari all'80% per edifici singoli e 85% per edifici condominiali.

I parametri di cui si serve sono il PAM e l'IV-S, rispettivamente la perdita economica annuale media attesa e l'indice di sicurezza della struttura.

Il PAM indica un parametro economico che dovrebbe essere il minore possibile.

Gli Stati Limite presi in esame sono:

- SLID (stato limite di inizio danno) indica una condizione della struttura sostanzialmente integra al di là del quale si manifestano i primi danneggiamenti;

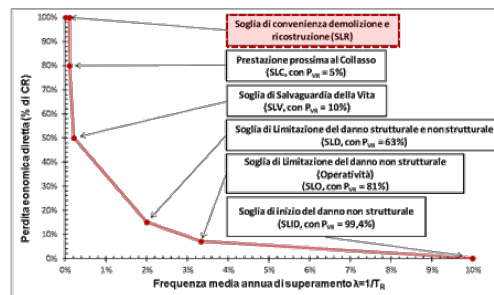


Stato Limite di Inizio Danno (SLID)

- Condizione in cui non si ha perdita economica
- Evento sismico con periodo di ritorno è pari a 10 anni.

- SLO (stato limite di operatività) indica una condizione in cui, anche se si manifestano lievi danneggiamenti, la struttura risulta comunque operativa;

- SLD (stato limite del danno strutturale e non) indica una condizione in cui i danni relativi all'effetto sismico sono facilmente riparabili;
- SLV (stato limite di salvaguardia della vita) indica una condizione in cui la struttura si trova ancora in condizione per consentire l'evacuazione dell'edificio da parte degli occupanti, anche se a fronte di vistosi danneggiamenti;
- SLC (prestazione prossima al collasso) indica una condizione in cui la struttura è prossima al collasso, pur mantenendo una limitata capacità statica;
- SLR (stato limite di ricostruzione) indica una condizione in cui non esiste più convenienza nel riparare la struttura danneggiata e quindi si presume che debba essere demolita e ricostruita.



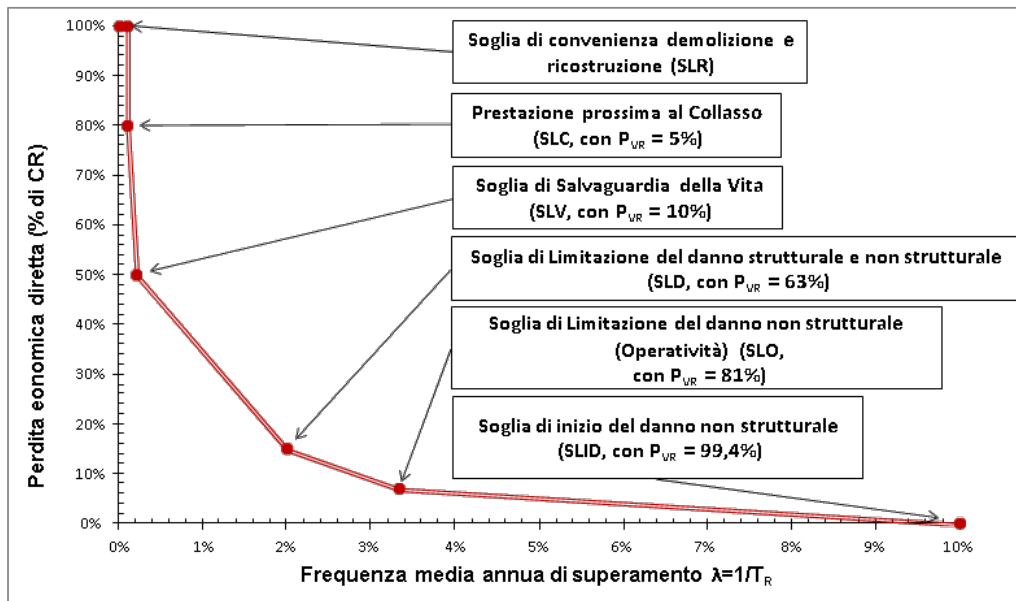
Stato Limite di Ricostruzione (SLR): condizione in cui è necessario demolire e ricostruire.

Perdita economica pari al 100%.

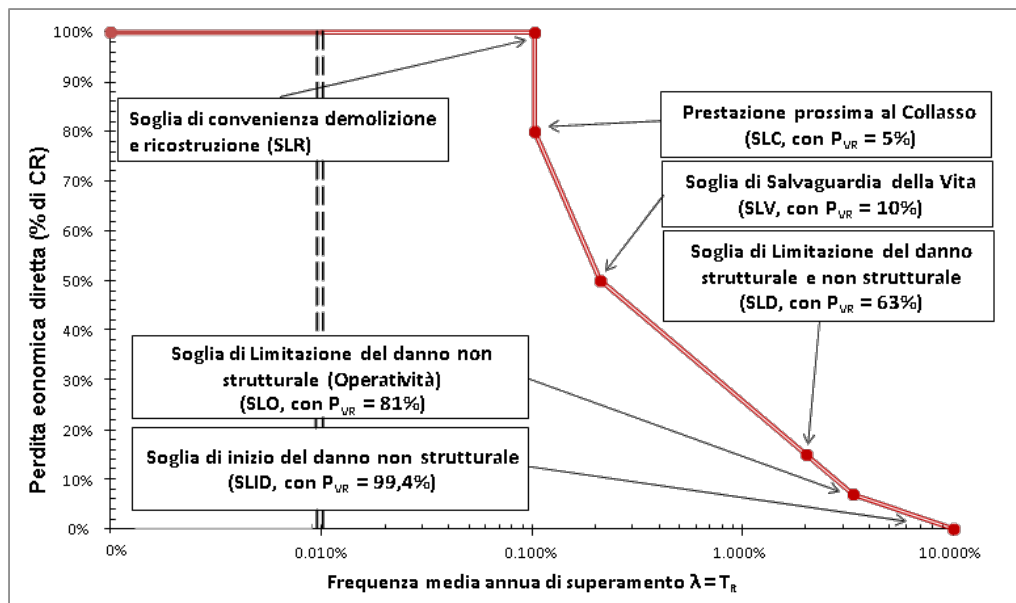
Evento sismico con periodo di ritorno pari a quello dello Stato Limite dei Collasso (SLC).

Il raggiungimento di questi Stati Limite definisce la curva che individua il PAM, in riferimento ad esempio a una costruzione con vita nominale 50 anni.

In realtà è necessario calcolare esclusivamente gli stati limite SLV e SLD in quanto gli altri valori sono calcolati in modo semplificato o assegnati dalla normativa in modo convenzionale.



Nella seguente immagine, la curva viene rappresentata con ascisse in scala logaritmica per una più chiara visualizzazione per gli stati limite di collasso e di ricostruzione.

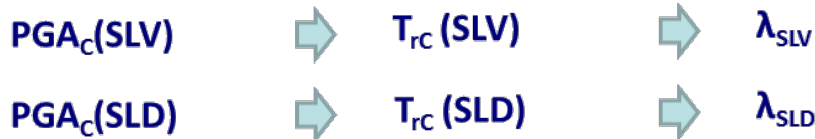
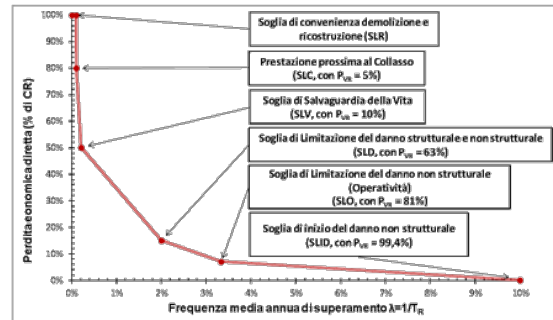
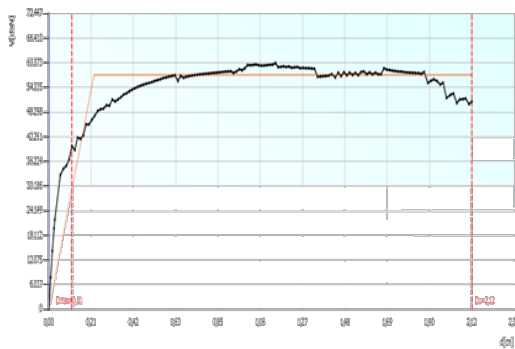


La costruzione della curva PAM, costituita da una serie di segmenti, è strettamente correlata alla curva che si ottiene dalla analisi pushover.

La curva che si ottiene da questa analisi riporta i valori di spostamento e di forza, strettamente correlata all'accelerazione.

A sua volta l'accelerazione è relazionata al periodo di ritorno dell'evento sismico.

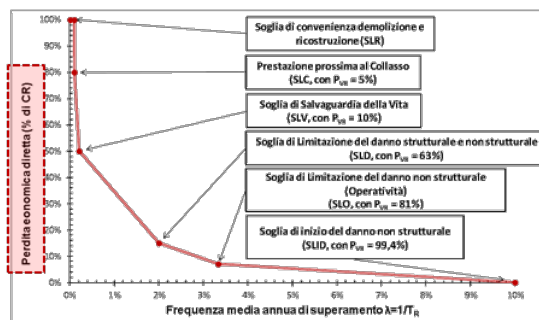
Dalla Analisi pushover al PAM



Nella curva PAM, sull'asse delle ascisse sono riportati i valori di frequenza media annua di superamento che si ottengono invertendo i valori del periodo di ritorno relativi allo stato limite di salvaguardia della vita e allo stato limite di danno.

Se la struttura in esame è fortemente vulnerabile, sarà sufficiente un valore basso di accelerazione per produrne il collasso; in questo caso il periodo di ritorno sarà relativamente breve e quindi la frequenza media annua sarà elevata, incidendo maggiormente.

Sull'asse delle ordinate sono riportati i valori percentuali del costo di ricostruzione relativi ad ogni stato limite. Passando dagli stati limite più lievi (stato limite di inizio danno e stato limite di operatività) a quelli di maggior impegno strutturale (stato limite di collasso e stato limite di ricostruzione) la percentuale del costo di ricostruzione aumenta e risulta più significativa nel conteggio globale.



Perdita economica diretta

=

(% del Costo di Ricostruzione

StatoLimite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%

Le percentuali di ricostruzione associate ad ogni stato limite sono state ricavate attraverso un'analisi economica relativa ai costi di ricostruzione degli edifici danneggiati a seguito del sisma aquilano del 2009.

Il riferimento bibliografico è costituito dal "Libro Bianco sulla ricostruzione privata fuori dai centri storici nei comuni colpiti dal sisma dell'Abruzzo del 6 aprile 2009" che è possibile scaricare dal sito Reluis.

Perdita economica diretta = % del Costo di Ricostruzione CR

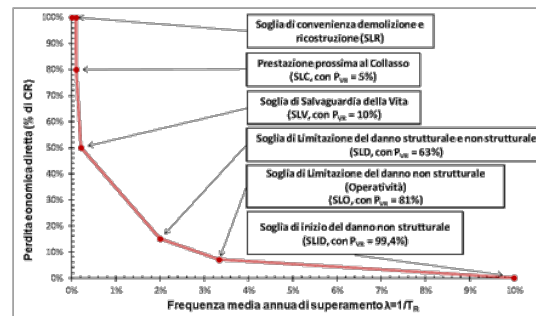
StatoLimite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%



11.2.1.1 Valutazione classe PAM e IS-V

Il parametro PAM si valuta come l'area sottesa alla curva rappresentante le perdite economiche dirette, in funzione della frequenza media annua di superamento degli eventi che portano al raggiungimento di uno Stato Limite per la struttura.

Noto il parametro PAM è immediata la classificazione come da tabella riportata nelle Linee Guida.



$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] * [RC\%(SL_i) + RC\%(SL_{i-1})] / 2 + \lambda(SLC) * RC\%(SLR)$$

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A ^{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A _{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B _{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C _{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D _{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E _{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F _{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G _{PAM}

1 – Attribuzione della Classe di Rischio PAM in funzione dell'entità delle Perdite medie annue attese

Il secondo parametro, l'indice di sicurezza (IS-V) della struttura, noto come "Indice di Rischio", è definito come il rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo (PGA di capacità), che determina il raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita, e la PGA di domanda che la norma indica in base al sito della costruzione e in riferimento al medesimo stato limite.

Obiettivo di questo parametro è di garantire uno stato limite di salvaguardia della vita sufficientemente elevato, indipendentemente dal parametro economico.

Anche in questo caso una tabella riportata dalle Linee Guida consente di assegnare la classe corrispondente.

Indice di rischio come da OPCM 3362/2004

$$IS-V = PGA_C (SLV) / PGA_D$$

PGA_C = Capacità della struttura

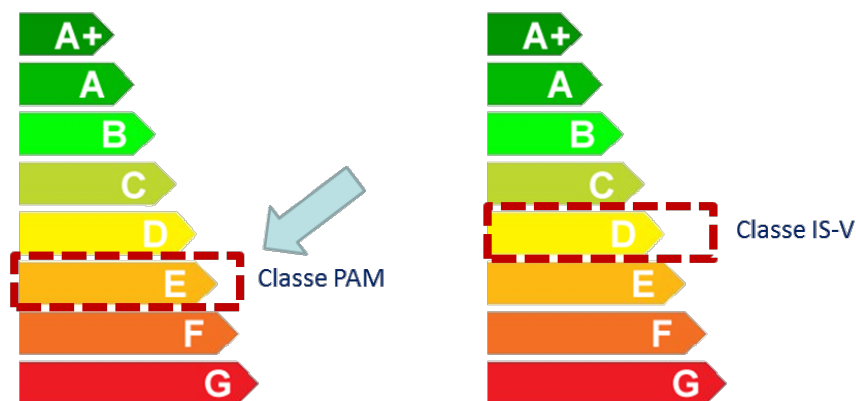
PGA_D = Domanda da normativa

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A_{IS-V}^+
$100\% \leq IS-V < 80\%$	A_{IS-V}
$80\% \leq IS-V < 60\%$	B_{IS-V}
$60\% \leq IS-V < 45\%$	C_{IS-V}
$45\% \leq IS-V < 30\%$	D_{IS-V}
$30\% \leq IS-V < 15\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}

Tabella 2 – Attribuzione della Classe di Rischio IS-V in funzione dell'entità dell'Indice di Sicurezza

La classe effettiva è definita come il valore minore tra le due classi relative a PAM e a IS-V.

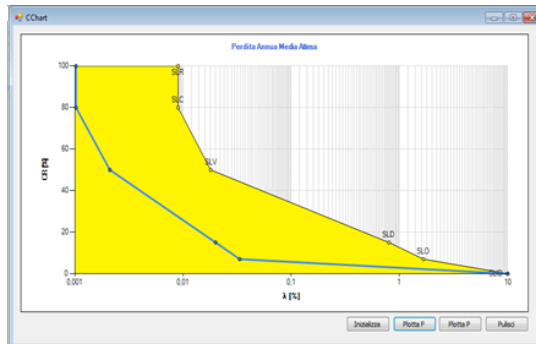
È il valore minore tra Classe PAM e Classe IS-V



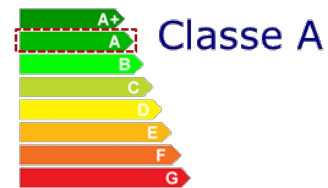
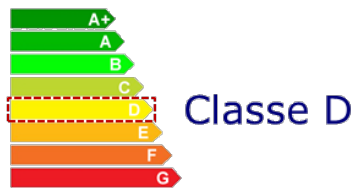
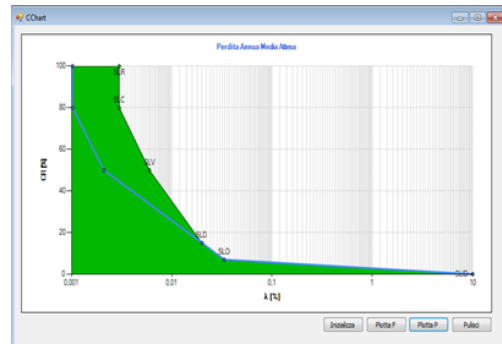
Obiettivo del progetto sarà l'attuazione di opere di rinforzo e consolidamento della struttura con una riduzione del parametro PAM e quindi una riduzione della classe di rischio, ad esempio dalla classe D alla classe A.

Per questo è necessario ripetere la classificazione a seguito del completamento del progetto.

PAM alla condizione attuale



PAM dopo l'intervento



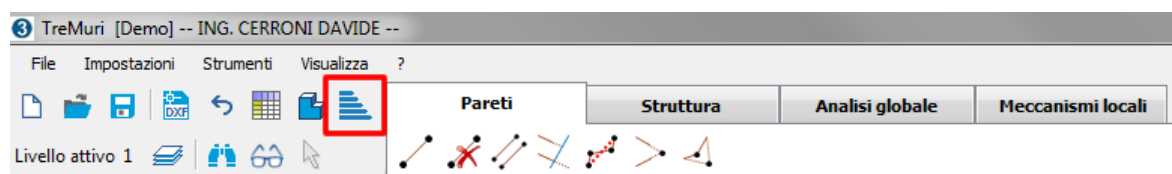
Il valore della Classe di Rischio attribuita a ciascuna costruzione, può essere migliorato a seguito di interventi che riducono il rischio della costruzione e, quindi, che incidono sul valore PAM e/o sulla capacità che la struttura possiede rispetto allo stato limite della salvaguardia della vita, valutato come rapporto tra la PGA di capacità (SLV) e PGA di domanda (SLD).

L'utilizzo del metodo convenzionale comporta l'onere di valutare il comportamento globale della costruzione, pertanto, anche laddove si eseguano degli interventi locali di rafforzamento, questi richiedono non solo la verifica a livello locale, ma anche la verifica globale, esclusivamente per finalità di attribuzione della classe. In tal caso, si avrà la facoltà di eseguire un numero di indagini inferiore a quello previsto dalle Norme per il rispettivo livello di conoscenza adottato.

11.3 Cosa fa SismoTest

Il modulo SismoTest è ideato per eseguire la classificazione sismica degli edifici secondo la Normativa italiana.

Il modulo è facilmente richiamabile da 3Muri, attraverso un semplice bottone. Una volta avviato, tutti i dati relativi al modello vengono automaticamente importati.



SismoTest valuta la classe del rischio sismico dell'edificio allo stato di fatto considerando tutte le peculiarità negative presenti. Successivamente, noti gli interventi da eseguire per il miglioramento sismico dell'edificio, valuta la classe di rischio allo stato di progetto. Inoltre, attraverso le informazioni ottenute, produce i documenti necessari per ogni pratica di cliente avviata, tra cui la relazione e l'asseverazione dell'edificio.

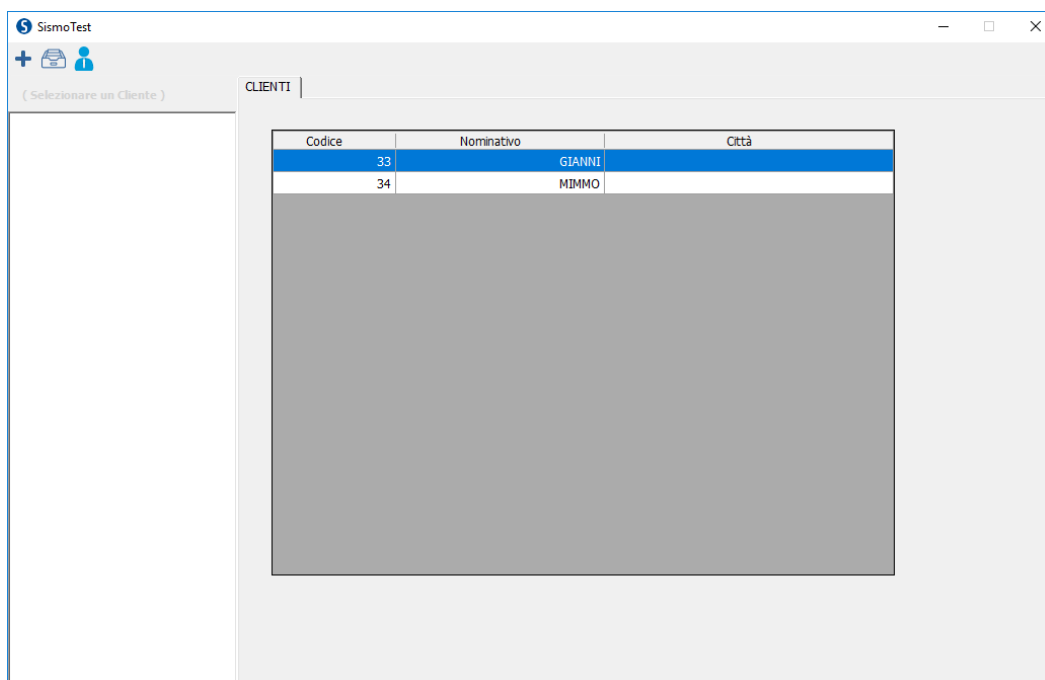
Com'è strutturato

Il processo da eseguire per ottenere la classificazione si basa essenzialmente sui seguenti passaggi:

- Inserimento dei dati del cliente
- Inserimento dei dati del professionista
- Inizializzazione della pratica del cliente
- Applicazione di uno due metodi di analisi da normativa, in base alla tipologia di struttura in esame
- Questionari
- Risultati





11.3.1 Comandi principali

Avviare il software SismoTest con doppio clic dal tasto sinistro del mouse. La seguente finestra è rappresentativa della schermata HOME del software



SismoTest ha un'interfaccia per la classificazione degli edifici e per la gestione dei clienti.

Tra le icone sulla barra dei menu:

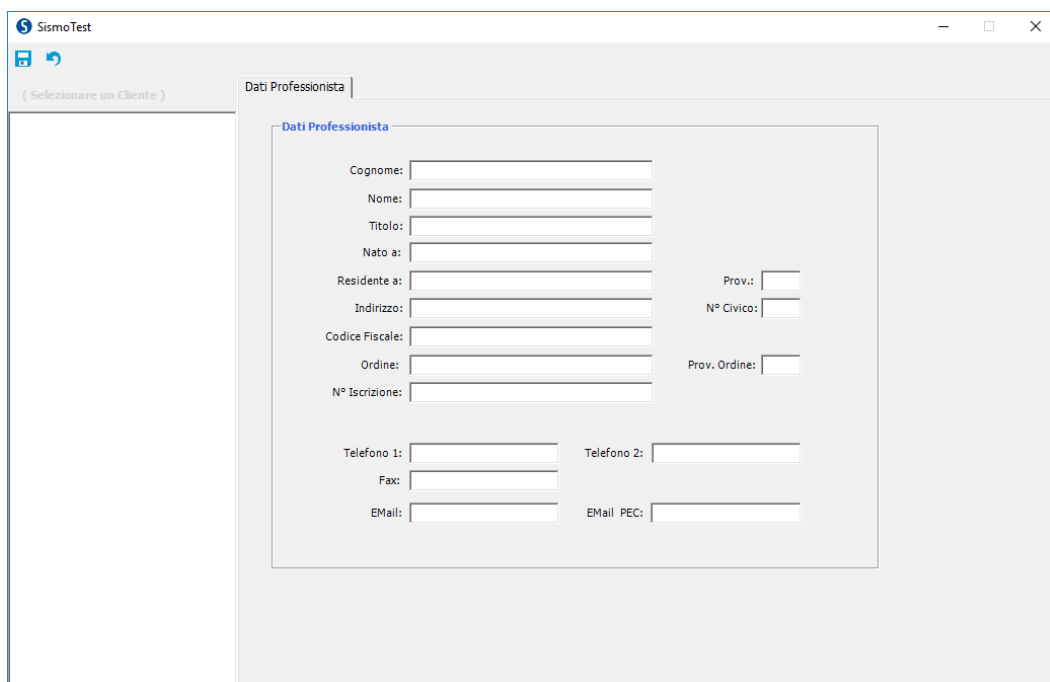
-  **AGGIUNGI CLIENTE/PRATICA:** possibilità di registrazione di un nuovo cliente nella schermata dedicata ai clienti e di una pratica nella schermata apposita per le pratiche
-  **ELENCO CLIENTI:** lista dei clienti già presenti nel registro del programma
-  **ELENCO PRATICHE:** ogni cliente ha una o più pratiche all'interno delle quali vi sono i progetti esaminati
-  **DATI DEL PROFESSIONISTA:** informazioni e recapiti del professionista

11.4 Dati del professionista

L'interfaccia di SismoTest deve essere personalizzata anche dal professionista dall'apposita finestra dedicata.

Aperto dalla barra di menu l'icona "Dati del Professionista", compare una finestra di dialogo dove è possibile registrare tutte le sue informazioni personali:

- Dati anagrafici
- Iscrizione all'ordine
- Recapiti



Finestra di dialogo dedicata all'inserimento dei dati del professionista

Tali informazioni saranno salvate e riportate all'interno della relazione tecnica e dell'asseverazione della classificazione dell'edificio, documentazione compilata automaticamente da SismoTest.

11.5 Elenco clienti

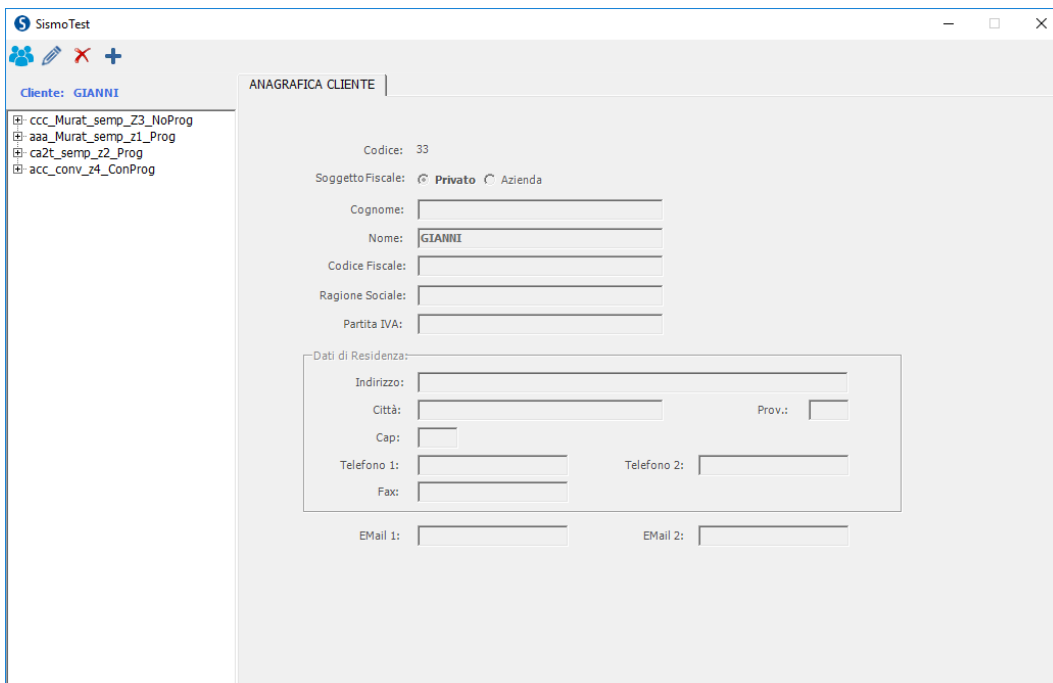
Uno degli aspetti di rilevante importanza in SismoTest è la sezione dedicata ai clienti.

SismoTest offre la possibilità di cominciare un progetto in base alle esigenze del cliente.

Appurato l'obiettivo del progetto da eseguire, il professionista comincia l'analisi inserendo nel database di SismoTest il nuovo cliente dall'apposito tasto

 AGGIUNGI CLIENTE

Appare una finestra di dialogo dove poter inserire tutti i dati anagrafici.



Salvati i dati nel database, SismoTest crea un elenco CLIENTI

In ogni momento, il software offre la possibilità di modificare il cliente esistente o eliminarlo.

Seguono le schermate relative alla MODIFICA e all'ELIMINAZIONE.

 MODIFICA CLIENTE

The screenshot shows the SismoTest application window. The title bar reads 'SismoTest'. The main window has a sidebar on the left with a 'Cliente: [UUUU GIANNI]' header and a list of items: ccc_Murat_semp_Z3_NoProg, aaa_Murat_semp_z1_Prog, ca2t_semp_z2_Prog, and acc_conv_z4_ConProg. The main area is titled 'Modifica cliente esistente' and contains a form with the following fields: Codice: 33; Soggetto Fiscale: Privato Azienda; Cognome: []; Nome: GIANNI; Codice Fiscale: []; Ragione Sociale: []; Partita IVA: []; Dati di Residenza: Indirizzo: []; Città: [] Prov.: []; Cap: []; Telefono 1: [] Telefono 2: []; Fax: []; EMail 1: [] EMail 2: [].

Qualora si volesse eliminare il cliente, per precauzione, appare una finestra di conferma dove viene specificato che l'eliminazione del cliente comporta l'eliminazione di tutte le pratiche ad esso associate.

 **ELIMINA CLIENTE**

The screenshot shows the SismoTest application window. The title bar reads 'SismoTest'. The main window has a sidebar on the left with a 'Cliente: GIANNI' header and the same list of items as the previous screenshot. The main area is titled 'ANAGRAFICA CLIENTE' and contains the same form as the previous screenshot. A dialog box titled 'SismoTestDII' is overlaid on the form, containing the text: 'Eliminare il cliente GIANNI? Verranno eliminate anche TUTTE le pratiche ad esso associate.' Below the text are 'OK' and 'Annulla' buttons.

11.6 Le pratiche

Per la realizzazione di una nuova pratica del cliente, bisogna impostare ciò che successivamente apparirà come Riepilogo della classificazione sismica dell'edificio. Per cominciare la classificazione bisogna innanzitutto:

- aprire una nuova pratica del cliente e nominarla attraverso il tasto

+ AGGIUNGI PRATICA

- inserire i DATI DELL'EDIFICIO, fra cui il comune, l'indirizzo, i dati catastali, le coordinate geografiche e i dati geotecnici

The screenshot shows the 'SismoTest' application window. On the left, there is a tree view under 'Cliente: [GIANNI]' with items like 'ccc_Murat_semp_Z3_NoProg', 'Relazione', 'Asseverazione', 'aaa_Murat_semp_z1_Prog', 'ca2t_semp_z2_Prog', and 'acc_conv_z4_ConProg'. The main area is titled 'Dati Edificio' and contains the following fields:

- Dati catastali:**
 - Comune:
 - Indirizzo:
 - Foglio: Particella: Subalterno:
- Coordinate geografiche di 2 spigoli opposti alla costruzione:**

	Latitudine	Longitudine	Fuso
Spigolo 1:	<input type="text" value="0,0000000"/>	<input type="text" value="0,0000000"/>	<input type="text" value="0"/>
Spigolo 2:	<input type="text" value="0,0000000"/>	<input type="text" value="0,0000000"/>	<input type="text" value="0"/>
- Altitudine s.l.m.:**
- Andamento del terreno:**

At the bottom right, there are buttons for 'Annulla', 'Indietro', and 'Avanti'.

Inseriti tutti i dati richiesti per l'identificazione dell'edificio, andando AVANTI (tasto in basso a destra), appare una finestra nominata "Classificazione Sismica della costruzione", dove è possibile scegliere:

- la Classificazione Rischio Sismico che si vuol effettuare (dello Stato di fatto o sia dello Stato di fatto che dello Stato di progetto)

- il Tipo di Struttura (tipologie strutturali di edifici che possono essere classificati)

- il Tipo di Analisi (tipologia di analisi da applicare. Tipologia semplificata, disponibile solo per le strutture in muratura, Tipologia convenzionale, basata sui calcoli ottenuti da un software apposito, applicabile a tutte le tipologie di strutture)

- la Zona Sismica (è importante ricordare che gli incentivi che offre il Sismabonus con le linee guida della normativa riguardano solo le prime tre zone. Per la zona numero 4, non è previsto alcun finanziamento, come ci suggerisce lo stesso SismaTest).

Soltanto dopo aver selezionato una voce per ciascun campo è possibile andare AVANTI.

Cliente: [GIANNI]

Classificazione Sismica della costruzione

Nome pratica:

Classificazione Rischio Sismico dello Stato di fatto

Classificazione Rischio Sismico dello Stato di progetto

Tipo Struttura

- Muratura
- C.A.
- Acciaio
- Legno
- Altro
- Capannone

Tipo Analisi

- Semplificata
- Convenzionale

Zona Sismica

- Zona 1
- Zona 2
- Zona 3
- Zona 4

Annulla Avanti >

Schermata principale dove selezionare il tipo di struttura, analisi e zona sismica

Successivamente appare una finestra con i DATI GENERALI della pratica e il relativo Riepilogo.

Cliente: [GIANNI]

DATI GENERALI

Riepilogo Pratica: [ccc_Murat_semp_Z3_NoProg del 02/04/2017 18:04:42]

Classificazione Rischio Sismico

Progetto riduzione Rischio Sismico

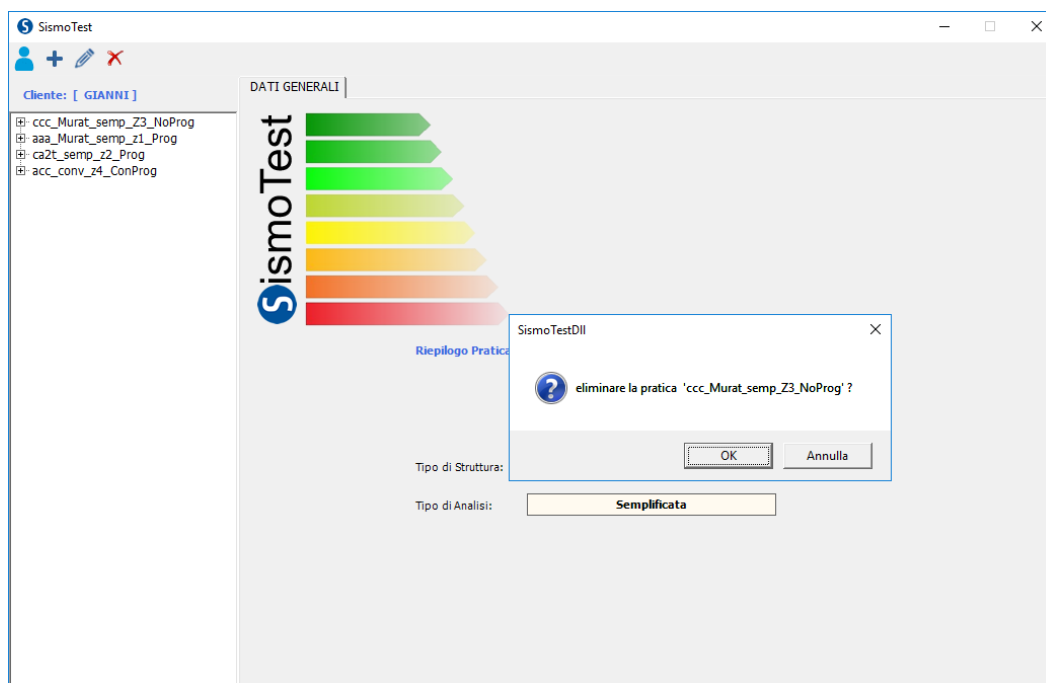
Tipo di Struttura:

Tipo di Analisi:

Schermata riassuntiva delle scelte impostate

SismoTest offre la possibilità non solo dell'eliminazione del cliente e quindi dell'intero pacchetto di pratiche ad esso associate, ma anche dell'eliminazione della singola pratica.

Eliminando la pratica dall'apposito tasto ELIMINA, appare una finestra di conferma per l'eliminazione.



Note le tipologie di struttura, analisi e zona, appare il questionario di sei schermate che può anche essere compilato successivamente.

11.7 Questionario

Note le tipologie di struttura, analisi e zona, appare il questionario di sei schermate, dove sono affrontati i seguenti argomenti:

- Analisi storico critica dell'edificio (riguardanti la documentazione esistente e disponibile della struttura)

The screenshot shows the SismoTest application window. On the left, a tree view lists project files: ccc_Murat_semp_Z3_NoProg, aaa_Murat_semp_z1_Prog, ca2t_semp_z2_Prog, and acc_conv_z4_ConProg. The main area is titled 'Questionario' and contains the 'Analisi storico critica' section. This section includes ten dropdown menus for the following items: Progetto originale disponibile, Anno di realizzazione del progetto originale, Progetto originale concepito con criteri antisismici, Certificato di collaudo originale disponibile, Interventi di ampliamento o riduzione effettuati nel tempo, Progetti delle modifiche strutturali eseguite nel tempo disponibili, Certificati di prova dei materiali disponibili, Eventi accaduti dalla messa in uso originale che hanno prodotto danni al fabbricato con perdita di funzionalità, Documentazione degli avvenimenti accaduti disponibile, Cambi di destinazione d'uso avvenuti dall'origine a oggi, and Realizzazione di opere per il ripristino della capacità portante. Below this is a 'Note' text area and navigation buttons: Salta questionario, Annulla, Indietro, and Avanti.

- Descrizione delle strutture principali (informazioni sull'effettiva corrispondenza tra geometria di progetto e geometria esistente, sul numero di piani fuori terra e interrati e sulla tipologia dell'edificio in esame)

The screenshot shows the SismoTest application window. On the left, the tree view is expanded to show 'Relazione' and 'Asseverazione' under the selected project. The main area is titled 'Questionario' and contains the 'Descrizione delle strutture principali' section. This section includes seven dropdown menus for: Le geometrie reali corrispondono ai valori presenti nel progetto della struttura originale, Rilievo strutturale dello stato di fatto eseguito, Numero di piani fuori terra, Numero di piani interrati, Tipologia di edificio, Rispetto dei limiti minimi richiesti da normativa per i giunti tra strutture adiacenti, Edificio regolare in altezza (7.2.2 NTC), and Edificio regolare in pianta (7.2.2 NTC). Below this is a 'Strutture spingenti' section with checkboxes for Non rilevato, Volte, Archi, Altro, and Copertura. The 'Caratteristiche terreno' section has two dropdown menus for Categoria sottosuolo and Categoria topografica. A 'Note' text area and navigation buttons (Annulla, Indietro, Avanti) are at the bottom.

- Elementi strutturali portanti verticali (tipologie di muratura, tipologie di pilastri...)

SismoTest

Cliente: [GIANNI]

Questionario

Elementi strutturali portanti verticali

- Murature portanti in mattoni
- Murature portanti in calcestruzzo
- Murature portanti in ciottoli e/o pietrame
- Murature a sacco
- Pilastrini in mattoni
- Pilastrini in calcestruzzo
- Pilastrini in legno
- Pilastrini in acciaio
- Altro

Note

Annulla < Indietro Avanti >

- Elementi strutturali portanti orizzontali (tipologie di travi, solai, volte...)

SismoTest

Cliente: [GIANNI]

Questionario

Elementi strutturali portanti orizzontali

- Travi in calcestruzzo
- Travi in acciaio
- Travi in legno
- Volte in mattoni
- Solai in legno
- Solai in calcestruzzo
- Solai in acciaio
- Solai misti con putrelle e laterizio
- Solai con elementi prefabbricati
- Altro

Note

Annulla < Indietro Avanti >

- Elementi strutturali di fondazione e strutture di copertura

SismoTest

Cliente: [GIANNI]

Questionario

Elementi strutturali di fondazione

- Non rilevato
- Fondazioni in calcestruzzo
- Fondazioni in mattoni o pietrame
- Fondazioni su pali
- Altro

Strutture di copertura

- Non rilevato
- Legno
- Calcestruzzo
- Acciaio
- Altro

Note

Annulla < Indietro Avanti >

- Presenza di segni di deterioramento o interventi che hanno modificato la costruzione iniziale

SismoTest

Cliente: [GIANNI]

Questionario

Interventi di modifica rilevanti subiti dalle strutture principali allo stato attuale rispetto alla costruzione iniziale

Presenza di segni di deterioramento strutturale

- Eccessive deformazioni
- Fuoripiombo
- Fessurazioni
- Armature c.a. non protette
- Elementi in acciaio ossidati
- Muffe e parassiti su strutture lignee
- Altro

Carichi congruenti con la destinazione d'uso

Note

Annulla < Indietro Avanti >

Terminato il questionario si procede con la pratica cliccando sul tasto AVANTI. Qualora non si voglia compilare il questionario al momento dell'apertura della pratica, SismaTest offre la possibilità di una compilazione successiva attraverso l'apposito tasto SALTA QUESTIONARIO.

11.8 Risultati

Qualora la pratica preveda la classificazione sia dello stato di fatto che dello stato di progetto per qualsiasi tipologia strutturale, il metodo applicabile è quello Convenzionale, in particolare, per tipologie in cemento armato, legno e acciaio è l'unico metodo applicabile.

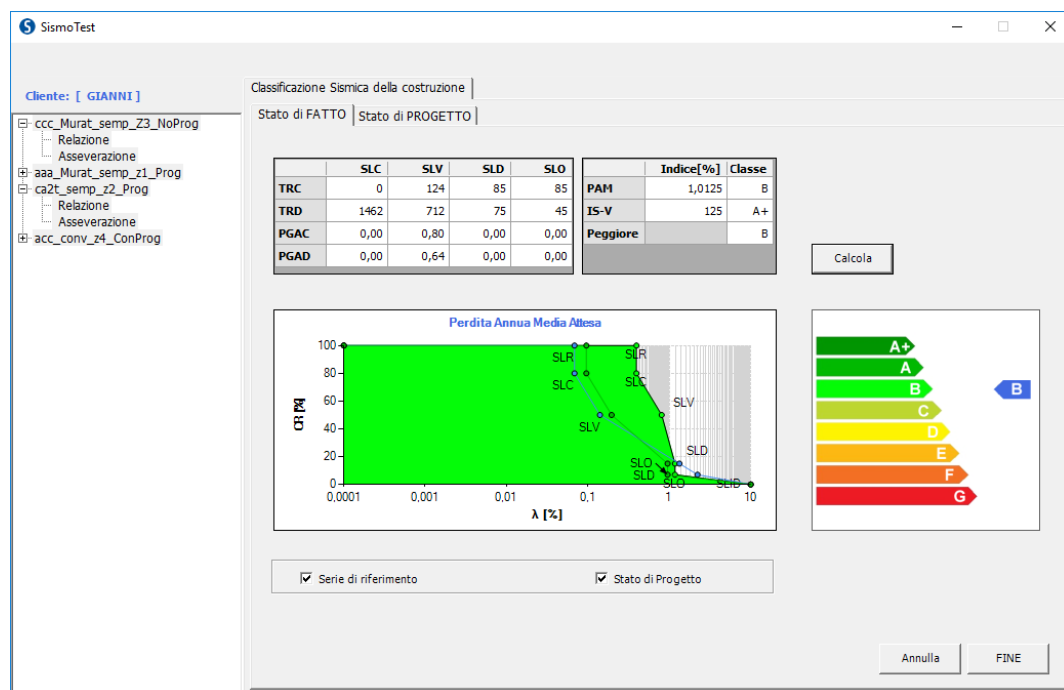
Scelto dalla schermata Classificazione Rischio Sismico, cliccando su AVANTI, otteniamo una finestra organizzata in due tabelle, una per lo Stato di fatto, l'altra per lo Stato di progetto.

Per ciascuna tabella si hanno i dati ricavati dal software di calcolo necessari alla classificazione:

- i tempi di ritorno della struttura di capacità e di domanda (Trc e Trd)
- le accelerazioni al suolo di capacità e di domanda (PGAc e PGAd).

Inseriti tutti i dati, cliccando su CALCOLA, sia per la tabella dello stato di fatto che per lo stato di progetto, vengono calcolati l'indice di perdita annuale media PAM e l'indice di rischio IS-V.

Attraverso il grafico del PAM, anche in base al colore ottenuto, si può valutare la classe sismica dell'edificio.



Schermata dei risultati ottenuti a seguito del calcolo del PAM e della classificazione sismica

Per concludere il metodo bisogna cliccare su FINE.

12 Bibliografia

- Abrams D.P., 1996, Effects of scale and loading rate with tests of concrete and masonry structures, *Earthquake Spectra*, 12, 1.
- Abrams D.P., 1997, Response of unreinforced masonry buildings, *Journal of Earthquake Engineering*, 1, 1.
- Abrams D.P., Calvi G.M. (eds.), 1994, Proc. of the US-Italy workshop on Guidelines for seismic evaluation and rehabilitation of unreinforced masonry buildings, Technical Report NCEER-94-0021, Pavia.
- Abrams D.P., Costley A.C., 1995, Dynamic response of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms, NCEER Technical Report, Urbana-Champaign.
- Anthoine A., Magonette G., Magenes G., 1995, Shear compression testing and analysis of brick masonry walls, Proc. of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna.
- Benedetti D., Carydis P., Pezzoli P., 1998, Shaking table tests on 24 simple masonry buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27, 1.
- Braga F., Dolce M., 1982, Un metodo per l'analisi di edifici multipiano in muratura antisismici, Proc. 6th I.B.Ma.C., Roma.
- Braga F., Liberatore D., 1991, Modeling of seismic behaviour of masonry buildings, Proc. 9th I.B.Ma.C., Berlino.
- Brencich A., Lagomarsino S., 1997, Un modello a macroelementi per l'analisi ciclica di pareti murarie, Atti dell'8° Convegno Nazionale ANIDIS, Taormina.
- Brencich A., Penna A., 1999, Una procedura a macroelementi per l'analisi sismica di pareti in muratura con orizzontamenti in cemento armato, Atti del 9° Convegno Nazionale ANIDIS, Torino.
- Cattari S., Curti E., Galasco A., Resemini S., 2005, "Analisi sismica lineare e non lineare degli edifici in muratura: teoria ed esempi di applicazione secondo OPCM 3274/2003 e 3431/2005", E100 - collana Edilizia-Progettare e costruire, Esselibri-Simone Editore, Napoli, pp.176, ISBN 88-513-0305-3.
- Clough R.W., Penzien J., 1993, Dynamics of structures, McGraw-Hill, New York.
- Costley A.C., Abrams D.P., 1995, Dynamic response of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms, NCEER Technical Report, Urbana-Champaign.
- Dadovici V., Benedetti D., 1994, Proc. of the Italian-French symposium on Strengthening and repair of structures in seismic areas, Nizza.
- Faccioli E., Pessina V. (eds.), 1999, The Catania Project - Earthquake damage scenarios for a high risk area in the Mediterranean, CNR-GNDT, Roma.
- Faccioli E., Pessina V., Calvi G. M., Borzi B., 1999, A study on damage scenario for residential buildings in Catania city, *Journal of Seismology*, 3, 3.
- Galasco A., Lagomarsino S., Penna A., 2001, Analisi sismica a macroelementi di edifici in muratura, Atti del 10° Convegno Nazionale ANIDIS, Potenza e Matera.

- Gambarotta L., Lagomarsino S., 1996, Sulla risposta dinamica di pareti in muratura, in Gambarotta L. (ed.) *La meccanica delle murature tra teoria e progetto*, Atti del Convegno Nazionale, Messina.
- Galasco A., 2001, *Analisi a collasso e risposta dinamica di pareti in muratura soggette ad azione sismica*, Tesi di Laurea, Università di Genova.
- Galasco A., Lagomarsino, S. and Penna, A., 2002, TREMURI Program: Seismic Analyser of 3D Masonry Buildings, University of Genoa.
- Galasco A., Lagomarsino S., Penna A., Resemini S., 2004, Non-linear Seismic Analysis of Masonry Structures, Proc. 13th World Conference on Earthquake Engineering, 1-6 Agosto 2004, Vancouver.
- Galasco A., Lagomarsino S., Penna A., Nicoletti M., Lamonaca G., Nicoletti M.e Spina D., Margheriti C., Salcuni A., 2005, Identificazione ed analisi non lineare degli edifici in muratura dell'Osservatorio Sismico delle Strutture, Atti XI Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia", Atti su cd, pp.14, Genova 25-29 gennaio 2004.
- Gambarotta L., Lagomarsino S., 1997a, Damage models for the seismic response of brick masonry shear walls. Part I: the mortar joint model and its applications, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26.
- Gambarotta L., Lagomarsino S., 1997b, Damage models for the seismic response of brick masonry shear walls. Part II: the continuum model and its applications, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26.
- Giuffré A. (ed.), 1993, *Sicurezza e conservazione dei centri storici in zona sismica. Il caso di Ortigia*, Laterza, Bari.
- Magenes G., Kingsley G.R., Calvi G.M., 1995, Static testing of a full scale, two-story masonry building: test procedure and measured experimental response, in *Experimental and numerical investigation on a brick*
- Magenes G., 2001, Considerazioni sulla modellazione della risposta di elementi murari e di pareti ad azioni nel piano in Magenes et al. (eds.), *Metodi semplificati per l'analisi sismica non lineare di edifici in muratura*, CNR-GNDT, Roma
- Paulay T., 2001, Some design principles relevant to torsional phenomena in ductile buildings, *Journal of Earthquake Engineering*, 5, 3.
- Petrini L., Pinho R., Calvi G.M., 2004, *Criteri di progettazione Antisismica degli Edifici*, IUSS Press, Pavia.
- Tomazevic M., 1978, Computation of the shear resistance of masonry buildings, in *The seismic resistance of masonry buildings*, Report, 1, ZRMK, Lubiana.
- Tomazevic M., Weiss P., 1990, A rational, experimentally based method for the verification of earthquake resistance of masonry buildings, Proc. 4th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs.
- Turnsek V. e Cacovic F., 1971. Some experimental results on the strength of brick masonry walls, Proc. of the 2nd I.B.M.A.C. Int. Conference, Stoke on Trent.

S.T.A. DATA si riserva di modificare in tutto o in parte le caratteristiche del software 3Muri senza alcun preavviso.



S.T.A. DATA SRL - C.so Raffaello, 12 - 10126 Torino