

Por 2000

Analisi e verifiche di edifici in muratura ordinaria ed armata

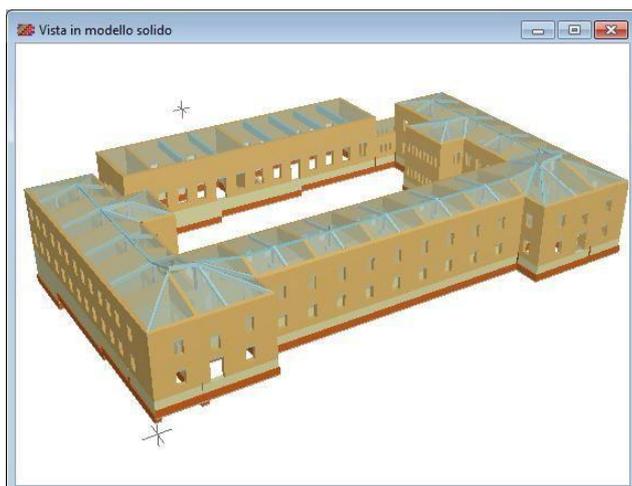
Por 2000 è un programma per la progettazione e la verifica di strutture in muratura ordinaria o armata che consente di ottenere modellazioni molto aderenti alla realtà strutturale e di eseguire tutte le verifiche richieste dalla normativa attuale e precedente.

Consente l'analisi pushover, le verifiche sismiche per gli stati limite di operatività, danno, salvaguardia vita e collasso, nonché tutte le verifiche locali delle murature in accordo con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2008. Il software permette, attraverso semplici operazioni di input specializzate per la tipologia strutturale, una definizione accurata della geometria, delle caratteristiche meccaniche della struttura e degli interventi di rinforzo per murature esistenti.

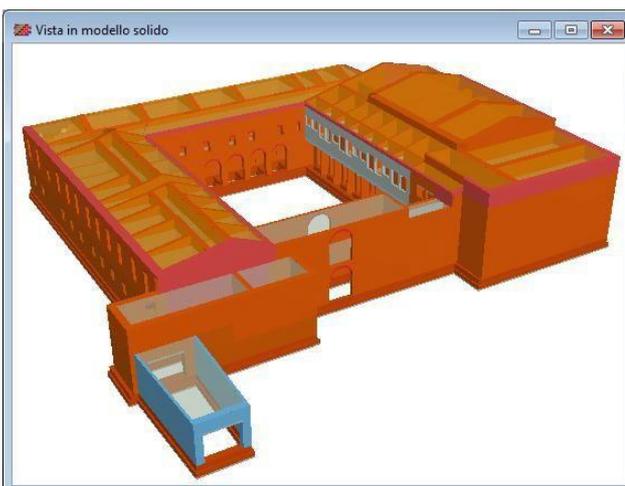
Strutture analizzabili

Por consente di analizzare edifici multipiano in muratura ordinaria o armata, con fondazioni piane o sfalsate, aperture ad architrave rettilineo o curvo, anche non allineate nella parete, solai inclinati o sfalsati, tiranti di piano e pannelli murari di differenti caratteristiche meccaniche. E' prevista la definizione di rinforzi murari di vario tipo, come affiancamenti murari, intonaci armati, placcaggi con fibre composite, cuciture attive in lamine di acciaio pretese, iniezioni. Consente inoltre la definizione di cordoli con assegnata capacità di ammortamento e tiranti di piano fra muri contrapposti.

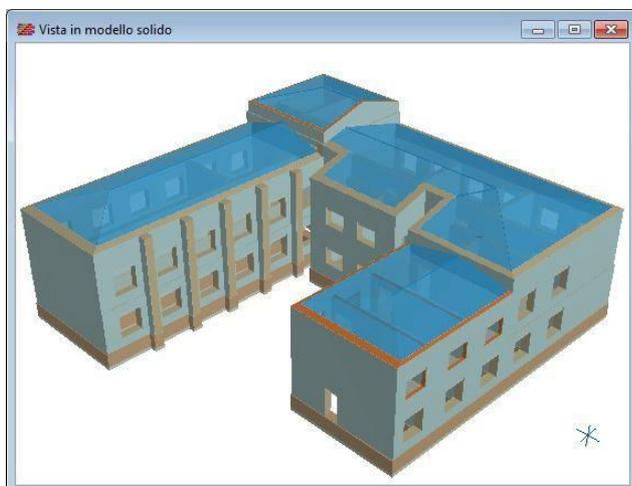
Il programma è indirizzato ad ingegneri, architetti, geometri che operano nella progettazione o nel consolidamento di strutture in muratura ed è stato realizzato con l'intenzione di fornire un ausilio concreto ed efficace in tutte le fasi della progettazione, dal disegno iniziale al dimensionamento degli eventuali interventi di consolidamento.



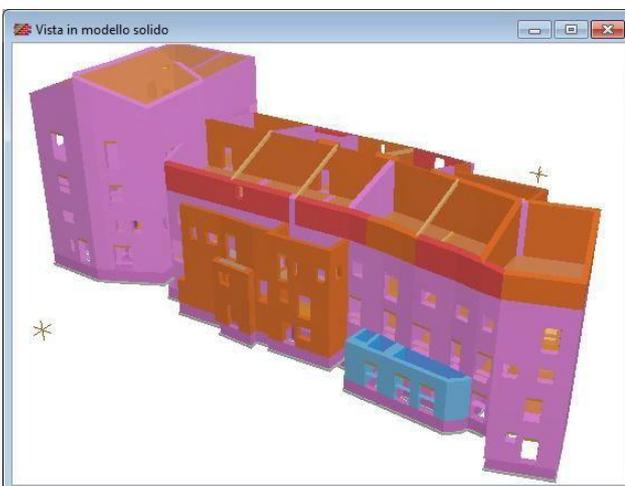
Edificio storico in murature di tufo.



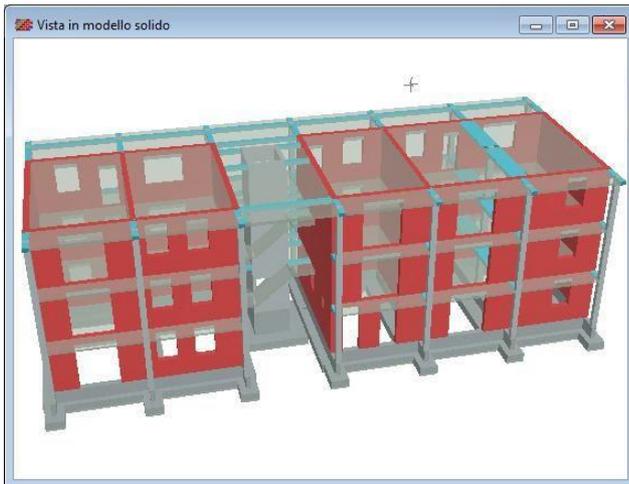
Edificio storico in mattoni pieni e ricostruzioni in laterizi semipieni.



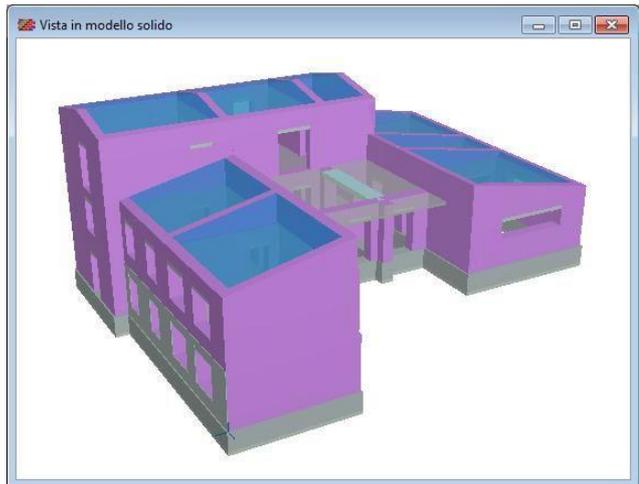
Scuola con murature a sacco e mattoni pieni, rinforzato.



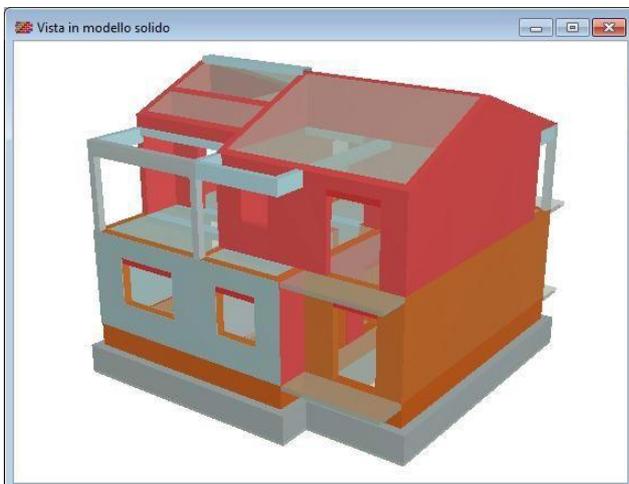
Aggregato prevalentemente in pietrame con ricostruzioni parziali.



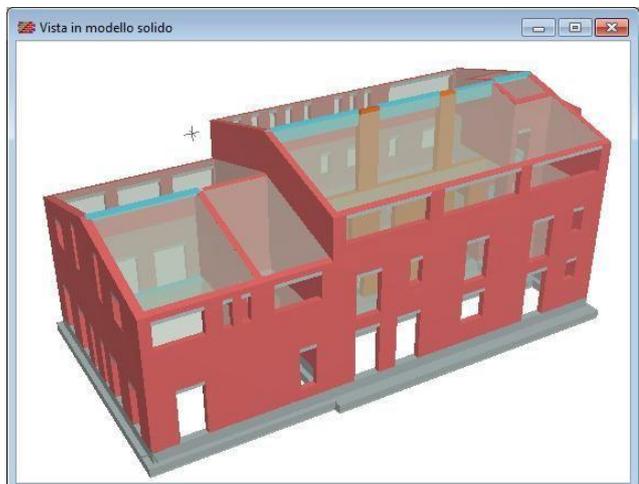
Nuova costruzione per abitazioni in laterizi semipieni



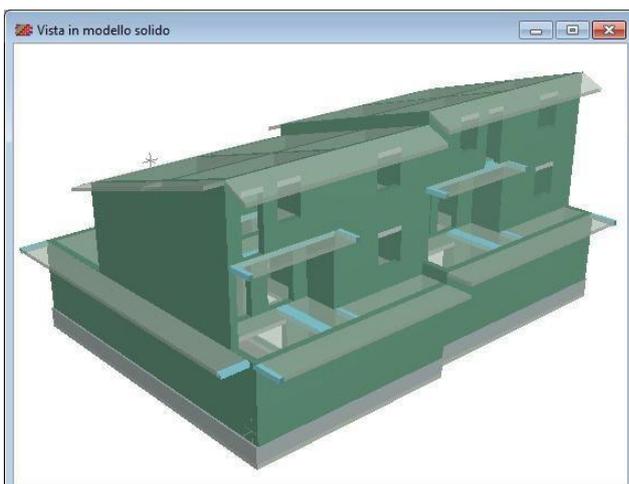
Edificio scolastico in pietrame a spacco, parzialmente rinforzato.



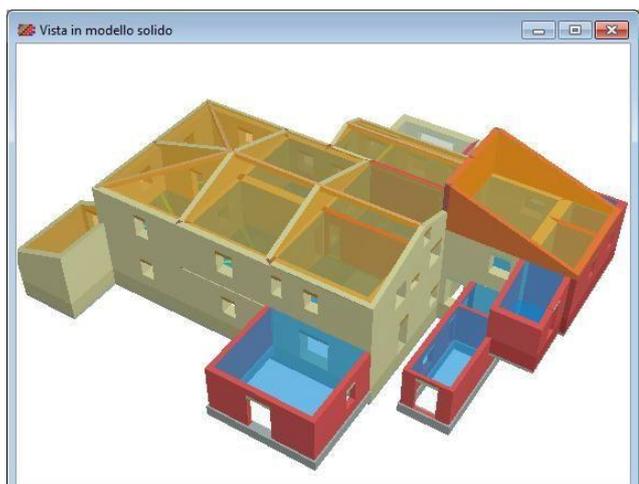
Intervento di sopraelevazione con rinforzi di intonaco armato



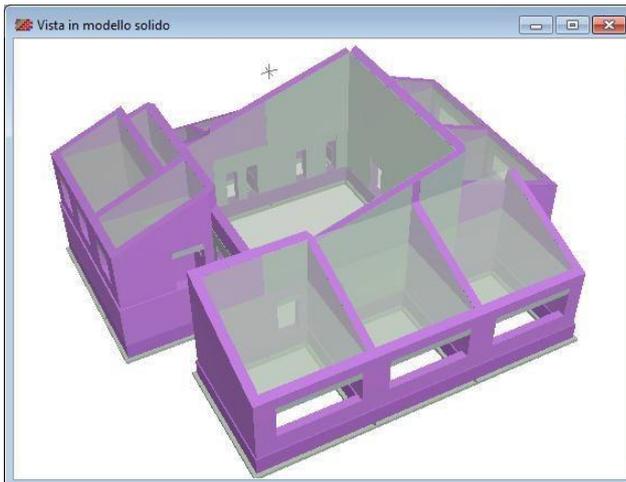
Nuovo edificio per abitazioni in laterizi semipieni



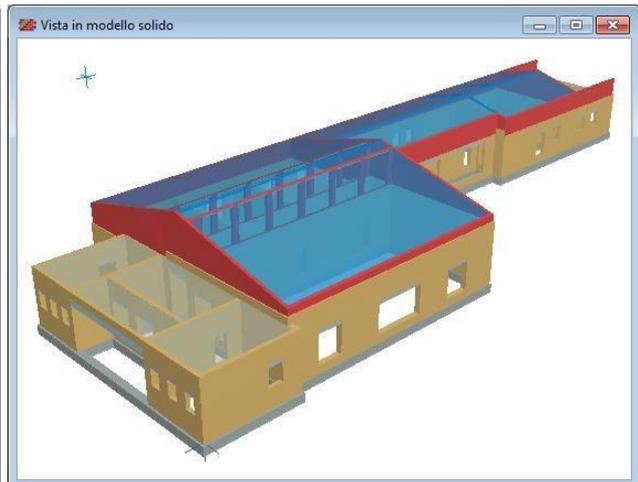
Nuova costruzione in muratura armata, in blocchi in calcestruzzo.



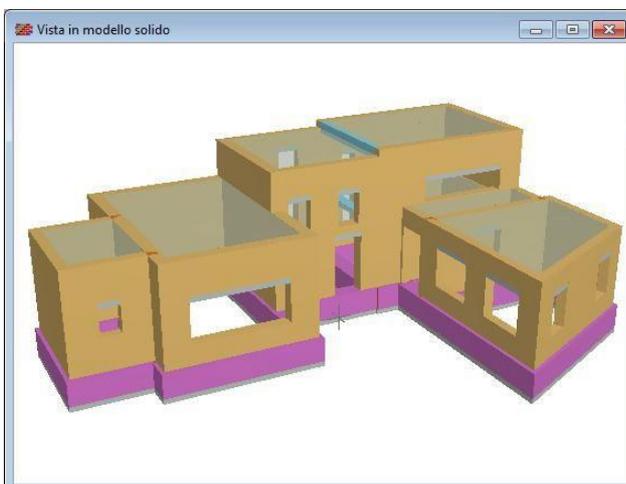
Murature esistenti in tufo con ampliamenti in laterizi semipieni.



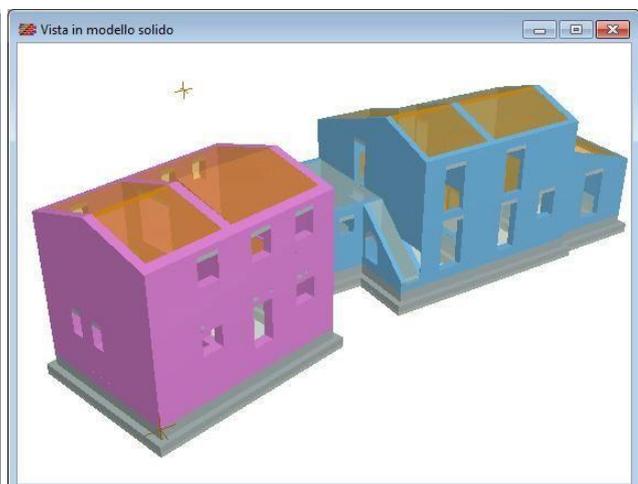
Scuola in pietrame a spacco, con rinforzi di intonaco armato,



Scuola in blocchi tufacei e sopraelevazioni in laterizi semipieni.



Edificio in murature di tufo.



Edificio rurale in pietrame a spacco e blocchi di calcestruzzo

Scelta del sistema normativo

E' possibile selezionare il sistema normativo da adottare nel calcolo, scegliendo fra le due opzioni:

- **Ntc 2008 / Opcm 3274**

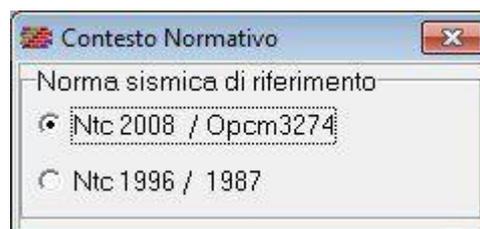
Si farà riferimento alle norme pubblicate nel 2008 e ai riferimenti tecnici collegati

- Dm 14/01/08 Norme tecniche per le costruzioni
- Cm 02/02/09 Istruzioni per l'applicazione delle Ntc08
- Opcm 3274 e 3431 Primi elementi per la classificazione sismica...

- **Ntc1996 / 1987**

Si farà riferimento alle norme pubblicate dal 1987 al 1996 e ai riferimenti tecnici collegati:

- Dm 20/11/87 Norme tecniche per edifici in muratura
- Dm 11/03/88 Norme tecniche per opere di fondazione
- Dm 16/01/96 Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche



Selezione del contesto normativo.

In funzione del sistema normativo selezionato, vengono richiesti i parametri sismici e le opzioni di analisi correlati. Una volta impostato il modello di calcolo, è possibile eseguire il calcolo prima con un sistema normativo e poi con l'altro, semplicemente selezionando l'opzione col mouse. Questa possibilità è utile per ottenere confronti e sperimentare l'uso delle nuove norme in casi concreti.

L'ambiente grafico

Il programma consente la vista grafica del modello, attraverso piante, prospetti, viste solide, domini di resistenza, mappe di impegno, realizzate con un grado di dettaglio tale da rendere visibili tutti i particolari della modellazione e i risultati più significativi del calcolo eseguito.

Tutte le finestre sono dotate dei comandi grafici usuali (zoom, pan, anteprima, ecc.) che permettono una facile gestione del disegno. In altre viste, come nella pianta, ai comandi di base si aggiungono i comandi di editing grafico, organizzati in apposite barre strumenti, con i quali è possibile inserire, cancellare, spostare, modificare e quotare gli elementi di modellazione.

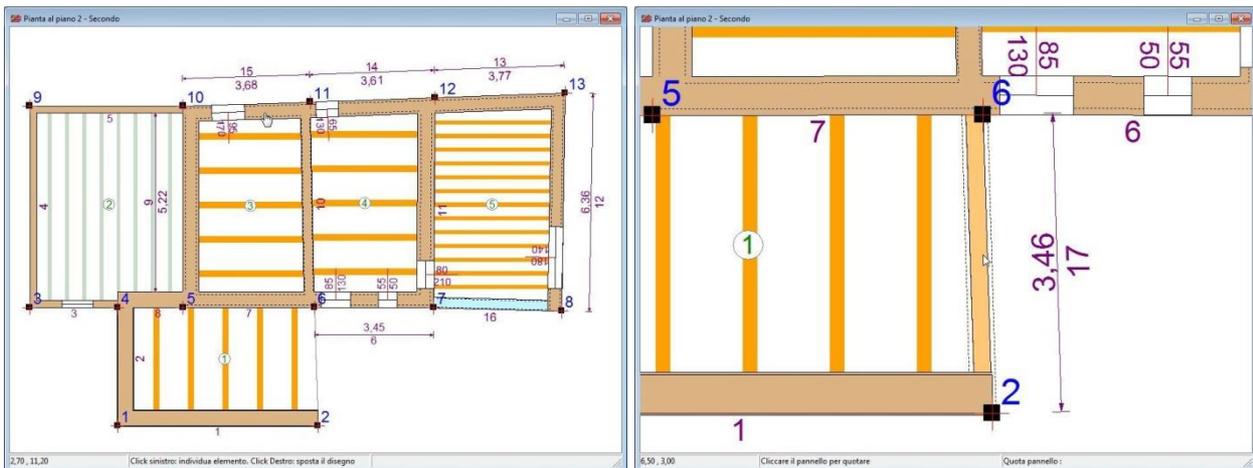
Altre viste si rendono disponibili col progredire del lavoro: i prospetti delle pareti e la vista solida 3D, ad esempio dipendono dalla costruzione logica del modello strutturale e quindi richiedono una consistenza minima dei dati di definizione. Le viste basate sui risultati, come i domini di resistenza e le mappe di impegno, diventano disponibili ad analisi eseguita e permettono l'interpretazione sintetica dei risultati raggiunti.

Per tutte le viste grafiche è possibile assegnare preferenze di disegno, come la dimensione e il font dei caratteri, la presenza di quotature e fillature, l'oscuramento di particolari layer. Altra caratteristica comune a tutte le finestre grafiche è il comando Anteprima, che consente di esaminare il preview di stampa del disegno, di riposizionarlo sul foglio, di stamparlo o di esportarlo in Dxf.

Le piante

Nelle piante sono visibili tutti gli elementi utilizzati nella modellazione, i nodi di incrocio, i pannelli murari, le aperture, i solai, i cordoli e i tiranti di piano. Il grado di dettaglio consente di apprezzare gli spessori e i disassamenti dei pannelli, i rinforzi applicati, la presenza dei cordoli, l'orditura dei solai, le dimensioni delle aperture. I tipi di muratura sono rappresentati inoltre con codice colore.

Oltre ai comuni comandi di gestione (zoom, pan, anteprima) sono presenti i comandi di input grafico degli elementi strutturali (importazione Dxf, inserimento, cancellazione, modifica e quotatura elementi).



Nella vista delle piante si distinguono i tipi di muratura in base al colore, l'orditura dei solai e le aperture. Nel particolare ingrandito si distinguono paramenti murari rinforzati con intonaco armato.

I prospetti dei pannelli

Il disegno mostra la vista in prospetto e in sezione di un pannello. Sono indicati i nodi che delimitano il pannello e le aperture presenti, quotate nelle dimensioni principali. La geometria in altezza del prospetto è ricavata dal programma in funzione dell'altezza di interpiano e dei ribassamenti o rialzi definiti su solai che insistono sul pannello. Nella sezione sono apprezzabili gli spessori di muratura, il disassamento rispetto alla congiungente i nodi e gli eventuali paramenti di rinforzo.

La barra strumenti prevede inoltre i comandi specifici per l'inserimento, lo spostamento o la modifica grafica delle aperture.

I prospetti delle pareti

Nella fase di costruzione del modello strutturale, il programma assembla in automatico le pareti come successione allineata di singoli pannelli. Il risultato dell'operazione è visibile nella vista Pareti, che mostra il prospetto e una sezione trasversale corrispondente ad una posizione selezionabile col mouse.

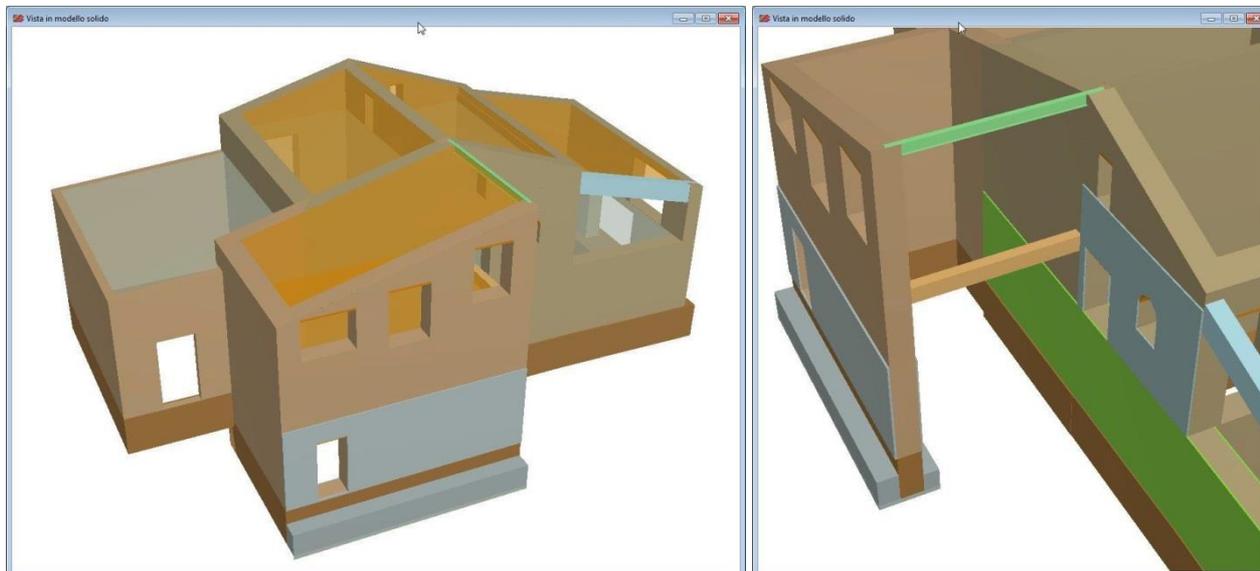
La sezione trasversale consente di controllare gli spessori e i disassamenti verticali delle murature.

Nella barra strumenti sono presenti i comandi per regolare le sezioni in cui eseguire le verifiche a ribaltamento, impostate in prima istanza dal programma, e per impostare in via grafica il disassamento delle murature ai vari piani, cliccando col mouse.

Vista di un pannello e della corrispondente parete che lo comprende.
Nella vista parete, cliccando col mouse sulla sezione trasversale, è possibile regolare il disassamento fra murature sovrapposte.

La vista solida 3D

La vista mostra il modello tridimensionale solido dell'edificio ed è utile per controllarne la corrispondenza col modello reale. Utilizzando il mouse si possono simulare operazioni di avvicinamento o allontanamento e di sorvolo. Ad analisi eseguita, è inoltre possibile apprezzare i modi deformativi (modali e pushover) in animazione.



Nella vista solida sono visibili elementi travi, rinforzi con incamiciature e allargamenti della base fondale con ali.
Nel particolare ingrandito sono visibili pannelli e fondazioni rinforzate e alcuni elementi trave.

La definizione della struttura

La definizione della struttura passa attraverso la definizione dei livelli, dei nodi di incrocio e degli elementi strutturali che rappresentano i pannelli murari, i solai, i tiranti, i rinforzi.

L'inserimento dei dati può avvenire per digitazione diretta nelle griglie di definizione o costruendo la pianta con l'editore grafico disponibile nelle piante. Sono disponibili, inoltre, funzioni di utilità come la duplicazione di piani, l'importazione Dxf e la sincronizzazione automatica delle finestre di lavoro, che consentono di velocizzare ulteriormente la fase di input.

Input in tabella

L'input in tabella consiste nel digitare i dati nelle griglie di definizione degli elementi, che prevedono comandi per aggiungere o eliminare elementi e danno un quadro informativo completo di tutti i dati di definizione.

Input grafico

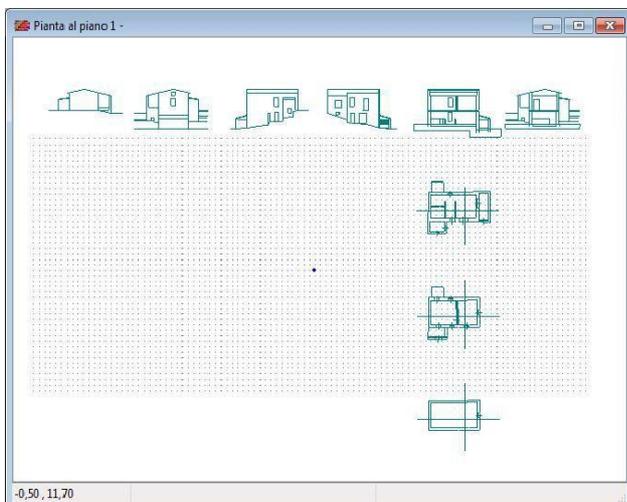
L'input grafico prevede funzioni di inserimento, modifica e cancellazione degli elementi strutturali, all'interno delle viste della pianta, dei pannelli e delle pareti. Nella pianta l'editing grafico è esteso a tutti gli elementi (nodi, pannelli, solai, aperture, tiranti) e consente di descrivere tutti i dettagli costruttivi importanti per la modellazione. Nella vista pannelli si possono inserire, spostare o cancellare aperture. Nella vista pareti si impostano le sezioni a ribaltamento e si regolano i disassamenti fra murature sovrapposte. Il tutto si rivela comodo ed intuitivo e costituisce una alternativa conveniente all'input numerico tabellare.

Per inserire un pannello in pianta basta cliccare in un punto e trascinare fino all'altro estremo. Non c'è bisogno di disporre preventivamente i nodi di incrocio, in quanto vengono creati in automatico nel caso non fossero già presenti. Le caratteristiche costruttive del pannello, tipo di muratura, spessore, ecc., possono essere predefinite prima dell'inserimento o impostate a posteriori intervenendo con la funzione modifica.

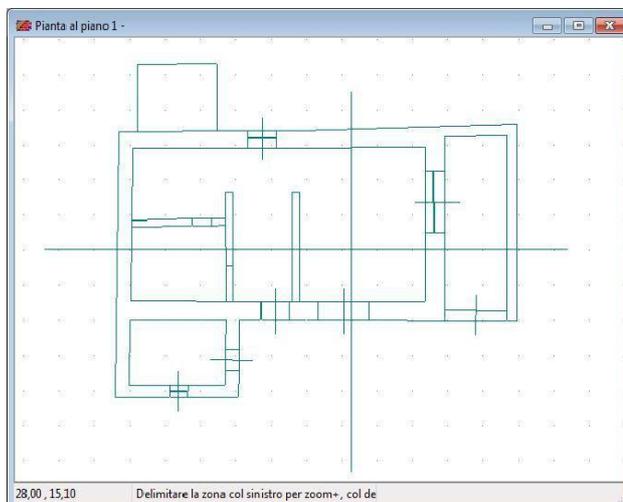
Lavorare su uno sfondo Dxf

Nella vista pianta si può inoltre importare uno sfondo Dxf ed utilizzarlo per velocizzare l'input grafico.

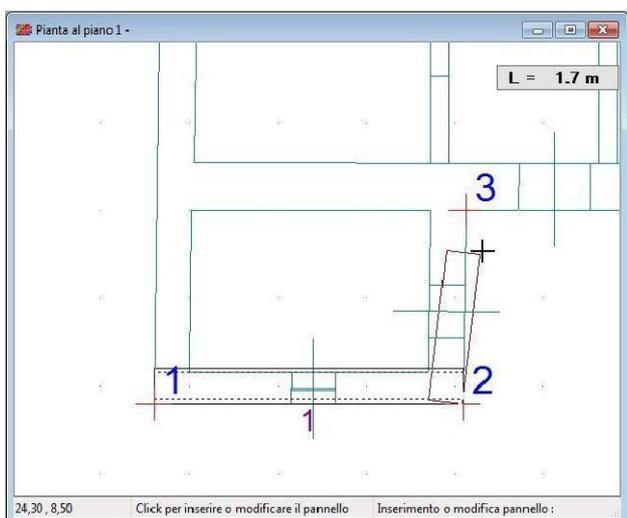
L'inserimento dei nodi può essere eseguita con precisione, in quanto è attiva una funzione di snap che individua sul Dxf gli estremi e la mezzzeria di ogni linea. Dopo aver posizionato i nodi, si può continuare con l'inserimento dei pannelli e delle aperture, come mostrato nelle figure seguenti. Quando lo sfondo non serve più può essere rimosso e il lavoro può proseguire con la definizione degli altri elementi della struttura.



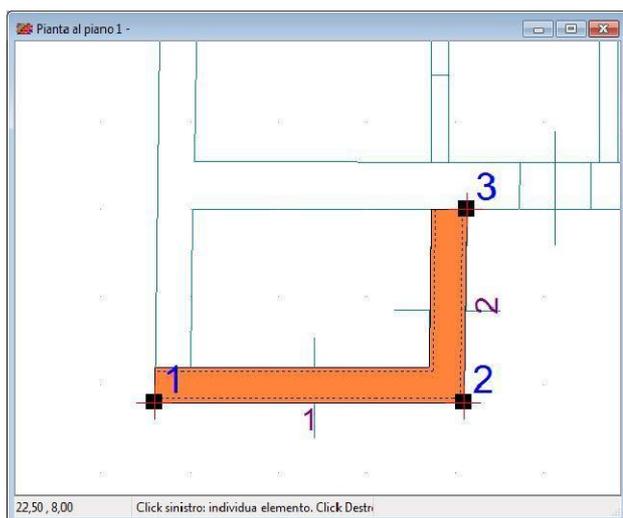
Inserimento di uno sfondo



Zoom su una pianta



Inserimento dei nodi e dei pannelli con lo snap



Vista con fillature dei primi due pannelli

Gli elementi di definizione

Passiamo in rassegna adesso i vari elementi che concorrono alla definizione della struttura.

I livelli

Si definiscono, innanzitutto, i livelli di piano dalla fondazione alla copertura, assegnando l'altezza di interpiano e le eventuali forze esterne applicate. Sui livelli si assegnano, inoltre, le opzioni di visualizzazione che consentono la composizione di viste solide parziali, utili per il controllo di conformità di parti interne.

I nodi di incrocio

I nodi corrispondono ai punti di incrocio in pianta dei pannelli murari o degli spigoli di solai a sbalzo. Sono utilizzati per la definizione dei pannelli murari, estesi fra due nodi, e dei solai che richiedono la sequenza dei nodi posti sul perimetro.

I pannelli

Il pannello è un elemento definito fra due nodi di incrocio, utilizzato per modellare muri di elevazione, muri di fondazione o travi per il supporto dei solai. Per i pannelli murari si assegna il tipo di muratura, lo spessore, il filo fisso, il carico verticale direttamente applicato, le precompressioni e il tipo di cordolo. Quest'ultimo

conferisce al pannello un grado di ammassamento col solaio e ne definisce il vincolo da considerare nelle verifiche a presso flessione: libero in testa, semplice appoggio o incastro cedevole.

I rinforzi

Ogni pannello murario può essere, opzionalmente, rinforzato con rinforzi a paramento e iniezioni di malta, con conseguente incremento dei valori di resistenza e di rigidezza, stimati dal programma in base alle correlazioni disponibili in letteratura o impostati in autonomia dall'utente.

Sono previste varie tipologie di rinforzi: affiancamento murario, intonaco armato, placcaggio con fibre composite, cuciture attive in lamine di acciaio pretese (sistema Cam), iniezioni.

Nella nuova versione, l'applicazione dei rinforzi può essere eseguita direttamente per via grafica nel disegno delle piante, contestualmente alla definizione di un nuovo pannello o modificando un pannello esistente.

Le aperture

Le aperture corrispondono alle porte e alle finestre presenti nella muratura. Si dispongono sui pannelli, selezionandone il tipo e definendone la posizione in pianta e in altezza.

I solai

I solai sono gli orizzontamenti presenti nella struttura, definiti in pianta mediante la sequenza dei nodi che ne delimitano il perimetro e assegnandone il tipo, l'angolo di orditura, i sovraccarichi presenti e le eccentricità di scarico da considerare nel calcolo. Inoltre possono essere abbassati o rialzati rispetto alla quota del livello o inclinati per ottenere falde o rampe.

I tiranti

I tiranti sono collegamenti fra pareti contrapposte, realizzati con cavi, barre o catene, disposti fra due punti in pianta alla quota dei solai. Per ogni tirante disposto si definiscono le caratteristiche meccaniche del ferro, il diametro, il tiro massimo nominale e la distanza di estinzione degli effetti lungo la parete. Si richiedono inoltre la dimensione degli ancoraggi terminali, ai fini della verifica a punzonamento sulla muratura.

I tipi di muratura

I tipi di muratura contengono tutte le informazioni tipologiche e meccaniche dei materiali. In particolare viene definito il tipo di blocco resistente (laterizio, calcestruzzo, pietrame, ecc.), la qualità della malta, la tipologia dell'armatura nel caso di murature armate, la classe di esecuzione della muratura, il grado di connessione trasversale fra i paramenti. Si assegnano inoltre il peso proprio e tutte le caratteristiche meccaniche di interesse per il calcolo: resistenza a compressione e a taglio, moduli elastici normale e tangenziale, i fattori di sicurezza, i limiti di duttilità.

In funzione dei blocchi, della malta e della connessione trasversale il programma può impostare in automatico i valori delle resistenze e dei moduli elastici, secondo correlazioni e tabelle disponibili in letteratura. In alternativa, le caratteristiche meccaniche possono essere impostate direttamente dall'utente, se ricavate ad esempio da prove o da altra documentazione.

Ad ogni tipo di muratura il programma assegna un colore di riferimento, utile per contraddistinguere gli elementi murari nelle viste grafiche.

Tipi di murature																										
id	Colore	Nome	Blocchi resistenti	Stato	Armatura	Malta	Cel	Cma	Ces	Cct	Peso	fbv	fbo [B]	iq%	f	fv	E	G	gst	gsi	gph	gco	tga	dd	dut	duf
1		Armata Lat+A1+M12	Laterizi m.armata	esistente	Ma08	M12	II	CP	2	M	1326	93,8	20,4	50	59,14	4,14	53229	15969	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,60	1,00
2		Armata CIs+A1+M12	Laterizi m.armata	esistente	Ma08	M12	II	CP	2	M	1937	61,2	15,3	50	43,77	2,48	35013	8753	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,60	1,00
3		Laterizi pieni +M10	Laterizi pieni	esistente	Assente	M10	II	CP	2	M	1530	81,6	81,6	50	78,21	3,37	54749	13657	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
4		Laterizi s.pieni +M10	Laterizi s.pieni	esistente	Assente	M10	II	CP	2	M	1224	93,8	20,4	50	60,16	4,21	54147	16244	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
5		Laterizi forati +M10	Laterizi forati	esistente	Assente	M10	II	CP	2	M	1122	20,4	10,2	50	15,04	1,05	13537	4031	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
6		Mattoni antichi +M5	Mattoni antichi	esistente	Assente	M5	II	CP	2	M	1835	40,8	40,8	50	41,28	0,98	16825	5608	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
7		Blc cls pieni +M10	Blc cls pieni	esistente	Assente	M10	II	CP	2	M	2039	61,2	40,8	50	51,20	2,91	40911	10228	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
8		Blc cls s.pieni +M10	Blc cls s.pieni	esistente	Assente	M10	II	CP	2	M	1428	30,6	20,4	50	44,52	2,53	35617	8904	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
9		Blc cls forati +M10	Blc cls forati	esistente	Assente	M10	II	CP	2	M	1224	20,4	10,2	50	21,06	1,32	16846	4452	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
10		Blc lapidei +M5	Blc lapidei	esistente	Assente	M5	II	CP	2	M	2243	40,8	40,8	50	81,66	1,22	29694	9120	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
11		Blc tufacei +M5	Blc tufacei	esistente	Assente	M5	II	CP	2	M	1632	32,6	32,6	50	26,64	0,49	12114	4038	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
12		Pme a spacco +M5	Pme a spacco	esistente	Assente	M5	II	CP	2	M	2141	40,8	40,8	50	39,78	0,81	18808	6269	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
13		Pme a spacco lst +M5	Pme a spacco lst	esistente	Assente	M5	II	CP	2	M	2141	40,8	40,8	50	43,75	0,88	20645	6864	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
14		Pme disord. +M5	Pme disord.	esistente	Assente	M5	II	CP	2	M	1937	28,6	28,6	50	19,63	0,36	9759	3253	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
15		Pme disord. lst +M5	Pme disord. lst	esistente	Assente	M5	II	CP	2	M	1937	28,6	28,6	50	21,59	0,40	10656	3533	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
16		Pme a sacco +M5	Pme a sacco	esistente	Assente	M5	II	CP	2	M	2039	24,5	24,5	50	34,42	0,59	13546	4515	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
17		Pme a sacco lst +M5	Pme a sacco lst	esistente	Assente	M5	II	CP	2	M	2039	24,5	24,5	50	37,86	0,65	14867	4901	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60
18		In c.a.	In c.a.	esistente							2549			50	291,35	22,20	257056	107107	3,00	2,00	1,00	1,20	0,40	0,30	0,80	1,20

Nella griglia dei tipi di muratura è possibile impostare autonomamente le caratteristiche meccaniche o utilizzare le funzioni automatiche di correlazione definite da varie normative. E' inoltre possibile definire murature armate.

I tipi di fondazione

Definiscono le tipologie delle fondazioni, con i dati riguardanti il tipo di materiale, l'altezza, le dimensioni dell'anima e delle ali laterali, la deformabilità del sottofondo, il carico limite e i relativi fattori riduttivi da considerare nelle verifiche delle tensioni sul terreno in campo statico e sismico.

I tipi di fondazione si applicano ai pannelli definiti come muro di fondazione.

I tipi di trave

Definiscono le tipologie delle travi, con riguardo al tipo di materiale e alla sezione.

I tipi di impalcato

I tipi di impalcato si caratterizzano in base alla tecnologia costruttiva (latero-cementizio, in legno, in acciaio) e con altri dati riguardanti le dimensioni dei travetti, la capacità di ripartizione trasversale e il peso proprio.

I tipi di apertura

Descrivono le porte e le finestre presenti nei pannelli. Sono richieste le dimensioni di ingombro, il materiale dell'architrave, la sua eventuale freccia e altri dettagli dimensionali tipici quali mazzetta, quadro e sguincio.

I tipi di cordoli

Al cordolo è affidata una duplice funzione: quella di ammorzare il pannello al solaio, per evitare distacchi e martellamenti, e quella di conferire un grado di vincolo al pannello sottostante, da considerare nella verifica a presso flessione in presenza di forze sismiche trasversali d'inerzia.

Il tipo di cordolo è definito dalle dimensioni trasversali, dalla tipologia (in c.a. continuo, in c.a. ammorzato, con profilati metallici, ecc.), dalla resistenza trasversale di ammorzamento e dal grado di vincolo che conferiscono al pannello sul quale è applicato. E' anche possibile assegnare l'assenza di cordolo.

I tipi di rinforzi

Il programma consente la definizione dei tipi di rinforzo da applicare ai pannelli murari. Sono previste alcune tipologie classiche come l'affiancamento murario e l'intonaco armato, che comportano un aumento di spessore, bilaterale o monolaterale, da specificare per ogni pannello. Le altre due tipologie sono più innovative e riguardano i rinforzi con fasce di fibre composite incollate con resine (Frp) e le cuciture attive in lamine di acciaio pretese (Cam).

id	Tipo	Nome	Materiali	f	rx	rz	ng	f	ar	sr	sp
1	Nulla	-									
2	AffM	Affiancamento murario	[AffM]Armata Cls+A1+M12								
3	IntA	Intonaco armato	[IntA]Cls e rete in acciaio	6	15	15	4	8	28,3	3800	
4	Frp	Compositi fibro-rinforzati	[Frp]Fibre di carbonio		30	30			12,0	24000	
5	Cam	Cuciture attive	[Cam]Lamine inox pretese		80	80			20,0	2600	10

Griglia dei tipi di rinforzo sui paramenti.

I tipi di armatura

I tipi di armatura definiscono quantità e diametri dei ferri di rinforzo da disporre nelle murature armate. Sono previste per default due tipologie di riferimento, in accordo rispettivamente alle disposizioni delle Ntc96 e delle Ntc08. In particolare vengono definite le armature verticali da disporre alle estremità dei maschi, in corrispondenza cioè dei nodi o dei lati di eventuali aperture, e le armature diffuse verticali ed orizzontali. Vengono infine assegnate le percentuali minime di ferro rispetto alle aree di muratura, che possono comportare l'inserimento di ferri diffusi aggiuntivi.

id	Nome	Acciaio	Afv estremi	Afv diffusa	Afo diffusa	amv	amo
1	Assente						
2	Ma08	B450C	1ø16/400	1ø5/60	2ø5/60	0,05	0,04
3	Ma96	Fe44k	2ø16/500	1ø5/60	2ø5/60	0,04	0,04

La griglia di definizione dei tipi di armatura da applicare alle murature armate.

La costruzione del modello

Una volta conclusa la definizione della struttura, si può richiedere il controllo della modellazione. In questa fase il programma effettua un approfondito controllo di congruenza dei dati e in presenza di situazioni strutturali anomali o inaccettabili rilascia opportuni messaggi di attenzione. L'utente valuta i messaggi ricevuti e interviene con le opportune modifiche correttive. Se non si riscontrano gravi incongruenze, viene costruito il modello strutturale, valutando le connessioni reciproche di tutti gli elementi inseriti e assemblando le pareti come successioni di singoli pannelli. Si riconoscono i maschi murari ai vari livelli dell'edificio e si determinano

le loro caratteristiche meccaniche, di rigidità e di vincolo. Il quadro informativo costruito in questa fase verrà utilizzato in tutte le successive fasi di calcolo.

Modellazione ed analisi sismica

Riportiamo di seguito alcune note informative riguardanti la modellazione.

Gli elementi resistenti

Il modello di calcolo assume come elementi resistenti all'azione sismica i maschi murari, chiamati anche setti, corrispondenti alle porzioni di muratura comprese fra due aperture successive, fra una apertura e un nodo d'incrocio o fra due nodi in assenza di apertura intermedia.

Le ipotesi di base

Le ipotesi base assunte nella modellazione sono che i maschi murari abbiano un comportamento tipo shear-type, ovvero abbiano rotazioni al piede e in testa impedita e che il loro spostamento in pianta sia descrivibile come roto-traslazione rigida.

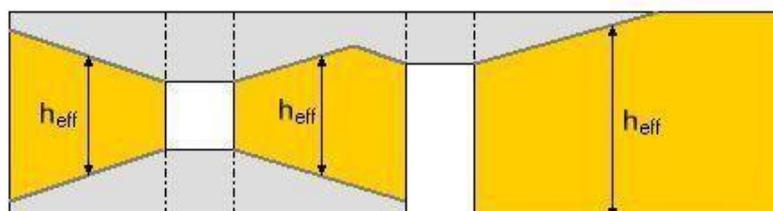
La prima ipotesi è generalmente accettabile ai fini tecnici quando sussiste fra le pareti un sufficiente grado di ammassamento tale da garantire un comportamento scatolare dell'insieme. In queste condizioni infatti, la presenza dei muri trasversali limita notevolmente la rotazione delle sezioni terminali delle murature, rendendo plausibile l'ipotesi di rotazioni impedita al piede e in testa. Inoltre, nel caso di setti adiacenti ad aperture, la deformabilità del collegamento può essere messa in conto, come in effetti si fa in Por 2000, attraverso un appropriato trattamento del nodo a dimensione finita.

Per quanto riguarda la seconda ipotesi, questa non discende, come pure a volte semplicisticamente si dice (mutuando dal caso degli edifici in c.a.), dalla presenza di solai di piano sufficientemente rigidi da impedire la deformazione in pianta della struttura (la rigidità dei solai, anche se realizzati in laterocemento, resta irrisoria rispetto a quella della muratura portante) ma è conseguenza anch'essa del comportamento scatolare dell'edificio. Infatti, se i muri sono validamente ammassati negli incroci, possiamo assimilare la pianta di un edificio murario ad una sezione pluriconnessa, dotata quindi di una forte rigidità torsionale. In questo contesto, anche in assenza di solai, la risposta ad una spinta orizzontale lungo un setto non produce effetti solo locali, ma porta ad una collaborazione dell'insieme dei setti, che si manifesta con una roto-traslazione dell'insieme, e pertanto gli spostamenti in pianta risultano tali da poter essere decritti con buona approssimazione tramite un moto rigido del solaio.

La validità di entrambe le ipotesi resta ovviamente legata ad un pieno ammassamento agli incroci murari ed ad una corretta realizzazione delle aperture, ma questi sono prerequisiti essenziali che una costruzione muraria deve comunque garantire. In tal caso le ipotesi forniscono un buon compromesso fra semplicità di analisi ed accuratezza di modellazione e sono accettabili ai fini tecnici, specie se si considera anche il livello delle approssimazioni coinvolte negli altri aspetti della modellazione (identificazione dei parametri elastici e di resistenza delle murature, valutazione dello stato di degrado ed altro). Si può anche osservare che, all'estremo opposto, una modellazione apparentemente più sofisticata, che veda pareti separate trattate come strutture intelaiate, porterebbe a trascurare del tutto gli effetti legati alla rigidità torsionale della cassa muraria, con ciò perdendo l'aspetto forse più importante del comportamento della struttura.

Riconoscimento dei maschi murari

L'individuazione dei maschi passa attraverso il riconoscimento delle pareti, viste come assemblaggio di uno o più pannelli murari allineati in pianta. In questo contesto la presenza delle aperture, interrompendo la continuità della muratura, indeboliscono la resistenza della parete; ma per contro si osserva, in qualche misura, un aumento di rigidità nelle immediate vicinanze dei vuoti, dovuto alla presenza delle fasce di piano sopra o sotto l'apertura. Studi sull'argomento modellano tale effetto con una riduzione dell'**altezza efficace** h_{eff} dei maschi posti a lato dell'apertura, tenendo conto di una angolo di diffusione degli sforzi in prossimità dei vuoti (vedasi sull'argomento: Mauro Dolce, "Schematizzazione e modellazione per azioni nel piano delle pareti", Corso sul Consolidamento degli edifici in muratura in zona sismica- Ordine Ingegneri di Potenza).

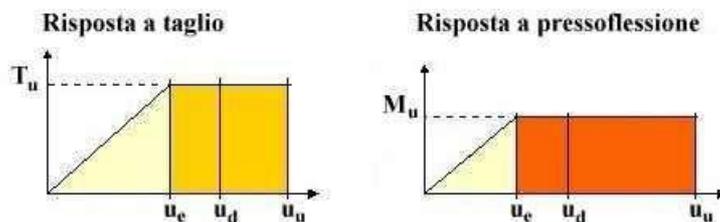


L'altezza netta così valutata interviene in sostituzione dell'altezza di piano nel calcolo della rigidezza tagliante e flessionale del setto.

Nell'ambito della parete, inoltre, è frequente trovare setti adiacenti non intercalati da una apertura. E' questo il caso dei setti a cavallo di un nodo di incrocio o di due setti in contatto, distinti per diversità di spessore o di materiale. Se si ipotizza che durante la deformazione non insorgano distacchi fra i due setti adiacenti (fatto plausibile per l'irrigidimento conferito dai solai), ovvero che l'insieme dei due setti mostri un comportamento solidale, è necessario amplificare in maniera opportuna le rigidezze flessionali dei singoli setti per tener conto del comportamento d'insieme. Questo aspetto di modellazione viene affrontato dal programma e risolto con l'omogeneizzazione delle rigidezze flessionali dei maschi riconosciuti in contatto.

Comportamento meccanico dei maschi

Si suppone inoltre che l'elemento resistente abbia un comportamento elastico perfettamente plastico, definito da una resistenza ultima (a taglio e a pressoflessione longitudinale) e dai valori limite di deformazione (duttilità di danno, duttilità ultima). Nel seguito, verranno discussi con maggiore dettaglio i termini di resistenza e duttilità che definiscono il legame elasto-plastico, in funzione delle indicazioni di normativa.



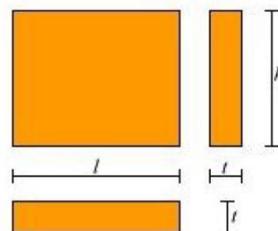
In virtù del comportamento elasto-plastico assunto per il maschio, la proporzionalità fra sforzo e spostamento è valida soltanto in campo elastico attraverso il valore calcolato di rigidezza, ossia fin tanto che lo spostamento u , dipendente sia dall'intensità della forza orizzontale applicata, sia dalle caratteristiche elastiche del setto di muratura, si mantiene inferiore allo spostamento al limite elastico u_e . Oltre detto limite, entrando in campo fessurativo, la muratura dissipa energia sotto forma di deformazione plastica senza più rispettare la legge di proporzionalità forza-spostamento, ma bloccando la portanza raggiunta al limite superiore di resistenza, identificato nel valore del taglio ultimo T_u o del momento M_u .

In funzione dei rapporti esistenti fra le resistenze T_u e M_u , col progredire del processo deformativo il maschio arriverà al valore limite di resistenza per pressoflessione o per taglio. Da questo punto in poi, continua ad offrire la portanza limite raggiunta, finché lo spostamento non raggiunge la soglia ultima, al di sopra della quale il maschio è dichiarato collassato e il suo contributo si annulla.

Rigidezza del maschio murario

La rigidezza di un maschio murario, nelle condizioni di rotazioni impedito al piede e in testa, si valuta in base alla teoria della trave deformabile a taglio e a flessione. In particolare, per un maschio di lunghezza l , altezza netta h e spessore t , il valore della rigidezza può essere determinato in base alla formula

$$K_m = \frac{G l t}{1.2 h} \frac{1}{1 + \frac{1}{1.2} \frac{G}{E} \left(\frac{h}{2}\right)^2}$$



Resistenza e duttilità della muratura

Generalmente gli edifici in muratura sono costituiti da elementi con caratteristiche diverse per geometria, rigidezza, duttilità e resistenza e pertanto si comportano in maniera altrettanto diversa allorché sottoposti a sforzo da parte dei carichi agenti.

Ciascun setto di muratura potrà tollerare valori limitati sia di sforzo che di deformazione e il modo attraverso cui resiste alle sollecitazioni dipende fortemente da queste caratteristiche.

In particolare, all'attingersi del massimo sforzo sopportabile, le risorse meccaniche si traducono nella capacità di assorbire energia per deformazione plastica, ed è proprio in questa fase che la muratura preserva la struttura dal repentino collasso fragile, giacché la quantità di energia dissipabile in campo plastico è spesso paragonabile, se non superiore, a quella che viene consumata in campo elastico. D'altra parte anche le risorse in campo plastico evidenziano un limite, raggiunto il quale il setto è da considerare collassato e, non essendo più in grado di equilibrare i carichi esterni, deve essere escluso dall'insieme murario ancora resistente.

Risposta flessionale e a taglio dei maschi per analisi secondo Ntc08

I maschi murari sono caratterizzati da un comportamento bilineare elastico-perfettamente plastico, con resistenza equivalente al limite elastico e spostamenti al limite elastico ed ultimo definiti sia per la risposta flessionale, sia per la risposta a taglio.

Taglio ultimo longitudinale per edifici nuovi

Il valore del taglio ultimo resistente si ottiene dalla seguente formula

$$T_u = (f_{vmo} + \tan(\varphi) \sigma_n) L B$$

in cui:

- L e B sono lunghezza e spessore del maschio murario (dimensioni in pianta),
- f_{vmo} è la resistenza tangenziale media della muratura $f_{vmo} = f_{vko}/0.7$
- f_{vko} è la resistenza tangenziale caratteristica assegnata alla muratura
- φ è l'angolo di resistenza a taglio della muratura (valore consigliato $\tan(\varphi)=0.4$)
- σ_n è la tensione normale media, prodotta dal carico verticale e dalle precompressioni.

Taglio ultimo longitudinale per edifici esistenti

Il valore del taglio ultimo resistente si ottiene dalla seguente formula

$$T_u = f_{vm} L B$$

in cui:

- L e B sono lunghezza e spessore del maschio murario (dimensioni in pianta),
- f_{vm} è la resistenza tangenziale media della muratura ottenuta come:

$$f_{vm} = \frac{1.5 f_{vm0}}{K_b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_n}{1.5 f_{vm0}}}$$

- f_{vm0} è la resistenza tangenziale media di calcolo per carico verticale nullo
 $f_{vm0} = f_{vko}/(0.7 \cdot \gamma_c)$
- γ_c è un fattore riduttivo per le resistenze (fattore di confidenza),
- k_b è un coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione
 $k_b = H/L$, con valori limitati nel range $1 \leq k_b \leq 1.5$
- f_{vko} è la resistenza tangenziale caratteristica assegnata alla muratura
- σ_n è la tensione normale media, prodotta dal carico verticale e dalle precompressioni.

Momento ultimo longitudinale

Il valore del momento ultimo resistente si ottiene dalla seguente formula

$$M_u = (L^2 B \sigma_n / 2) (1 - \sigma_n / (0.85 f_d))$$

in cui:

- L e B sono lunghezza e spessore del maschio murario,
- f_d è la resistenza normale di calcolo della muratura, $f_d = f_k / \gamma_c$
- f_k è la resistenza normale caratteristica assegnata alla muratura
- γ_c è un fattore riduttivo per le resistenze (fattore di confidenza),
- σ_n è la tensione normale media.

Nel caso di murature rinforzate con intonaco armato o compositi fibrorinforzati si tiene conto del contributo a trazione offerto dall'armatura o dalle fibre.

Limiti di duttilità

Nell'ambito di un modello elastico-perfettamente plastico del setto murario, i limiti di duttilità determinano i valori di spostamento in corrispondenza dei quali si assume venga raggiunto un particolare stato limite: di danno, di collasso a taglio o di collasso a flessione.

Nella normativa i limiti di duttilità vengono espressi in rapporto all'altezza di calcolo del setto, secondo la seguente tabella, in accordo con le disposizioni del Dm08 (punti 7.3.7.2, 7.8.2.2 e 7.8.3.2) e della Opcm 3471 (punti 4.11.2, 8.2.2, 8.3.2 e 11.5.8).

	Tipo di muratura		
	Ordinarie esistenti	Ordinarie nuove	Armata
Duttilità al limite di danno	0.003 h	0.003 h	0.004 h
Duttilità al limite ultimo: collasso a taglio	0.004 h	0.004 h	0.006 h
Duttilità al limite ultimo: collasso a p.flessione	0.006 h	0.008 h	0.012 h

Sebbene nella normativa non si faccia menzione di fattori di sicurezza da applicare ai valori tabellati sopra, il programma consente la possibilità di applicare un fattore di sicurezza (maggiore o uguale ad uno) che possa tener conto di probabili effetti sfavorevoli all'estrinsecarsi della duttilità, come ad esempio per localizzazione delle deformazioni o per danneggiamenti già esistenti (vedi § Duttilità limiti, Capitolo 4 del Manuale).

In particolare, i valori di calcolo delle duttilità limiti si ottengono come:

$$d_D = d_{kD} / \gamma_d \quad \text{duttilità limite di danno,}$$

$$d_U = d_{kU} / \gamma_d \quad \text{duttilità limite ultima al collasso,}$$

in cui:

$$d_{kD} \text{ e } d_{kU} \quad \text{sono le duttilità limite (di danno e ultima) assegnati per il tipo di muratura,}$$

$$\gamma_d \quad \text{è il fattore di sicurezza sulle duttilità assegnato } (\gamma_d \geq 1).$$

L'analisi pushover

Il programma prevede l'analisi sismica di tipo statico non lineare, altrimenti detta analisi pushover, condotta facendo variare il sisma secondo una scansione angolare stabilita dall'utente e procedendo per incrementi di carico successivi fino al raggiungimento degli stati limite di interesse imposti dalla normativa adottata.

L'analisi è condotta assoggettando l'edificio all'azione contemporanea dei carichi verticali, permanenti e variabili opportunamente combinati, e delle forze statiche equivalenti al sisma che generano nella muratura i taglianti di piano cumulati in altezza. Fissata una direzione sismica, l'analisi pushover procede per incrementi successivi delle forze sismiche, determinando per ogni passo di carico il taglio e la duttilità residua dei setti. Il controllo della duttilità consente di controllare se nel passo di carico è stato raggiunto uno stato limite di interesse e di individuare i setti che raggiungono la soglia di collasso (duttilità limite di collasso). Tali setti non daranno più contributo all'assorbimento del tagliante sismico nei passi di carico successivi, per cui col progredire dei collassi locali la struttura perde progressivamente capacità portante nei confronti delle azioni orizzontali. Quando il calo della forza resistente raggiunge un limite prefissato, si assume raggiunto il limite di collasso e l'analisi ha termine.

Per analisi secondo le Ntc08, si considerano i seguenti stati limite:

Slo stato limite di operatività,

si suppone che lo stato limite di operatività sia raggiunto quando nel corso dell'analisi pushover lo spostamento orizzontale relativo in un setto raggiunge una percentuale prefissata dell'altezza del setto stesso (d_o duttilità limite Slo), in questo caso pari a 2/3 del corrispondente valore limite prefissato per Sld per i vari tipi di muratura (p. C7.8.1.5.4 e p.C8.7.1.4);

Sld stato limite di danno,

si suppone che lo stato limite di danno sia raggiunto quando nel corso dell'analisi pushover lo spostamento orizzontale relativo in un setto raggiunge una percentuale prefissata dell'altezza del setto stesso (d_d duttilità limite Sld), in questo caso pari al valore limite prefissato per i vari tipi di muratura (p. C7.8.1.5.4);

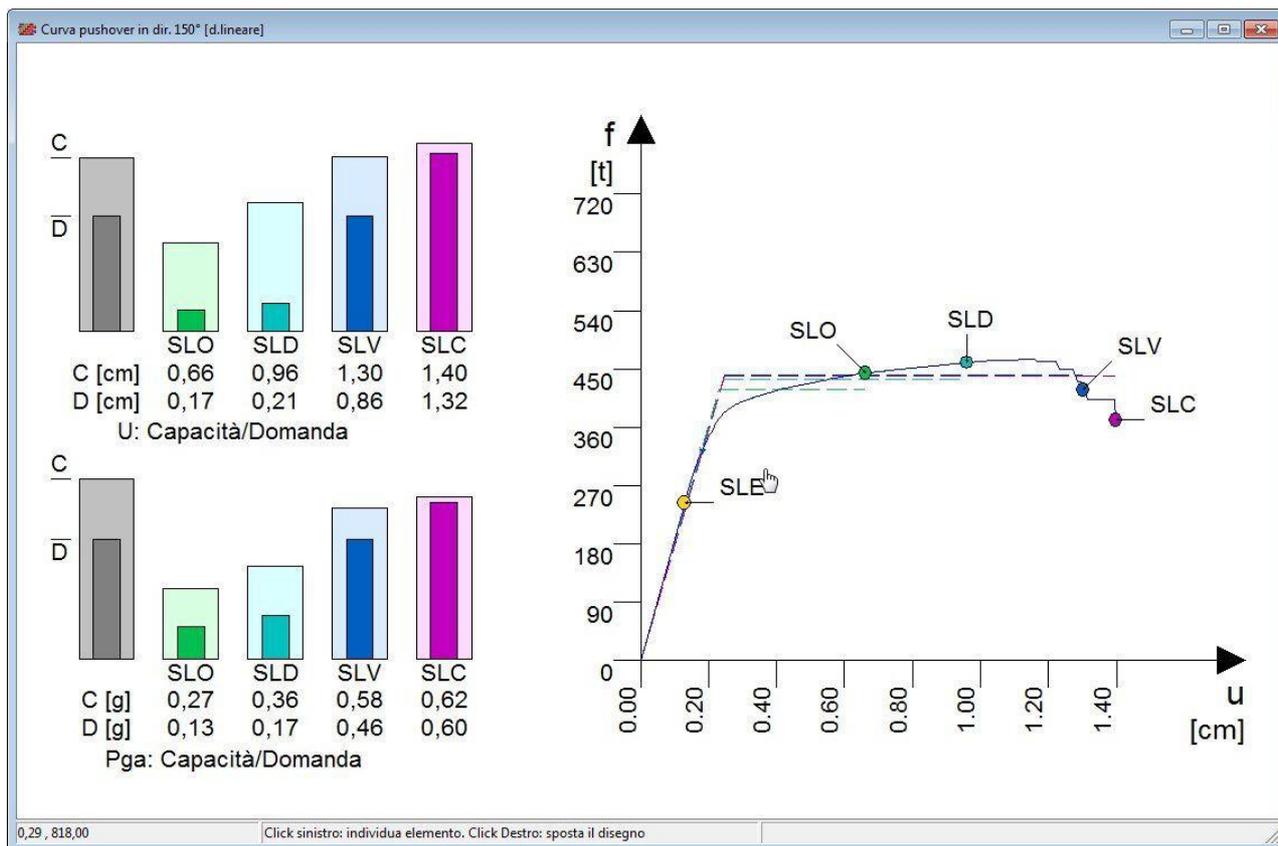
Slv stato limite di salvaguardia vita,

si suppone che lo stato limite di salvaguardia vita sia raggiunto quando nel corso dell'analisi pushover, dopo aver raggiunto la massima forza resistente, per effetto della progressiva eliminazione dei setti giunti a collasso questa si riduca ad una percentuale prefissata f_v del valore massimo raggiunto (p. C7.8.1.5.4);

Slc stato limite di collasso,

si suppone che lo stato limite di salvaguardia vita sia raggiunto quando nel corso dell'analisi pushover, dopo aver raggiunto la massima forza resistente, per effetto della progressiva eliminazione dei setti giunti a collasso questa si riduca ad una percentuale prefissata f_c del valore massimo raggiunto (p. C7.8.1.5.4);

Nel corso del processo il programma salva tutte le informazioni necessarie per la costruzione della curva di capacità o curva pushover, che sarà utilizzata per la successiva procedura di verifica per valutare l'accelerazione al suolo corrispondente al raggiungimento degli stati limite di interesse (capacità di Pga). La verifica finale consisterà quindi nel controllare che la capacità di Pga risulti maggiore della domanda di Pga richiesta dalla normativa o, in termini equivalenti, che il fattore di sicurezza ottenuto dal rapporto capacità/domanda sia maggiore di 1.

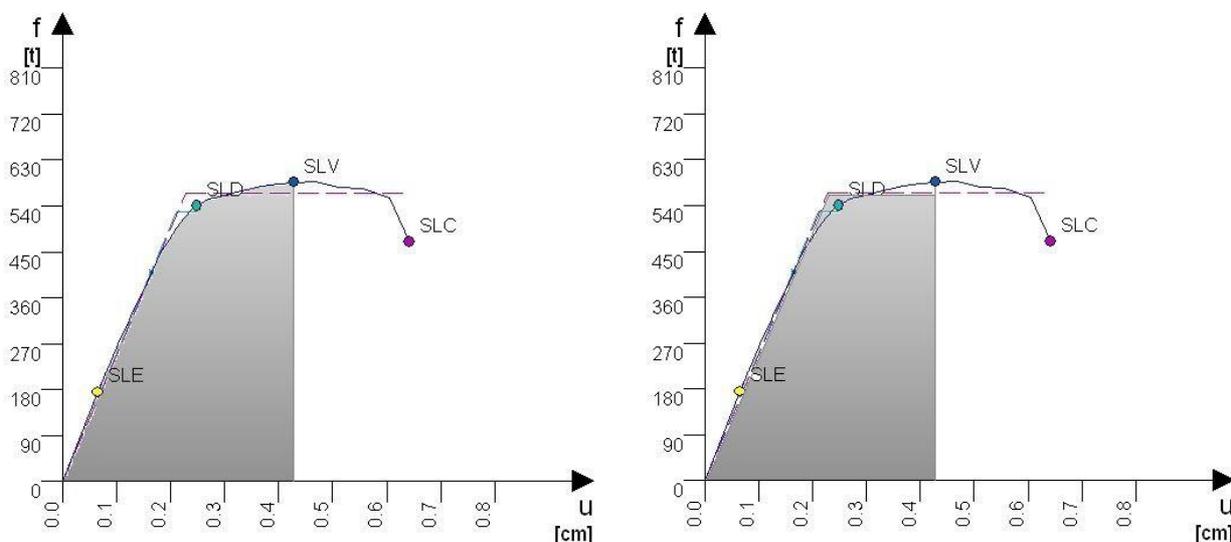


L'analisi pushover porta alla costruzione della curva di capacità, che esprime la relazione fra forza applicata e relativo spostamento orizzontale. Nell'analisi secondo Ntc08, sono evidenziati i punti di raggiungimento degli stati limite di operatività (SLO), di danno (SLD), salvaguardia vita (SLV) e collasso (SLC). Sulla sinistra sono posti istogrammi di verifica che confrontano capacità e domanda per l'accelerazione al suolo.

Le verifiche sismiche relative all'analisi pushover

Una volta che le curve dell'analisi pushover siano disponibili, è possibile eseguire le verifiche sismiche, che consistono nel valutare il grado di sicurezza della struttura muraria in relazione al raggiungimento di stati limite predefiniti in funzione della norma adottata.

L'analisi secondo Ntc08 richiede il controllo dello stato limite di operatività o di danno, a cui sono associati danni strutturali di modesta entità, e dello stato limite di salvaguardia vita, corrispondente a danni importanti negli elementi strutturali con conseguente calo della capacità portante.



La costruzione del sistema bilineare equivalente si ottiene da una equivalenza energetica imponendo l'uguaglianza delle aree sottese fra schema equivalente e curva di capacità. Nella figura è mostrato il caso relativo allo stato limite SLV.

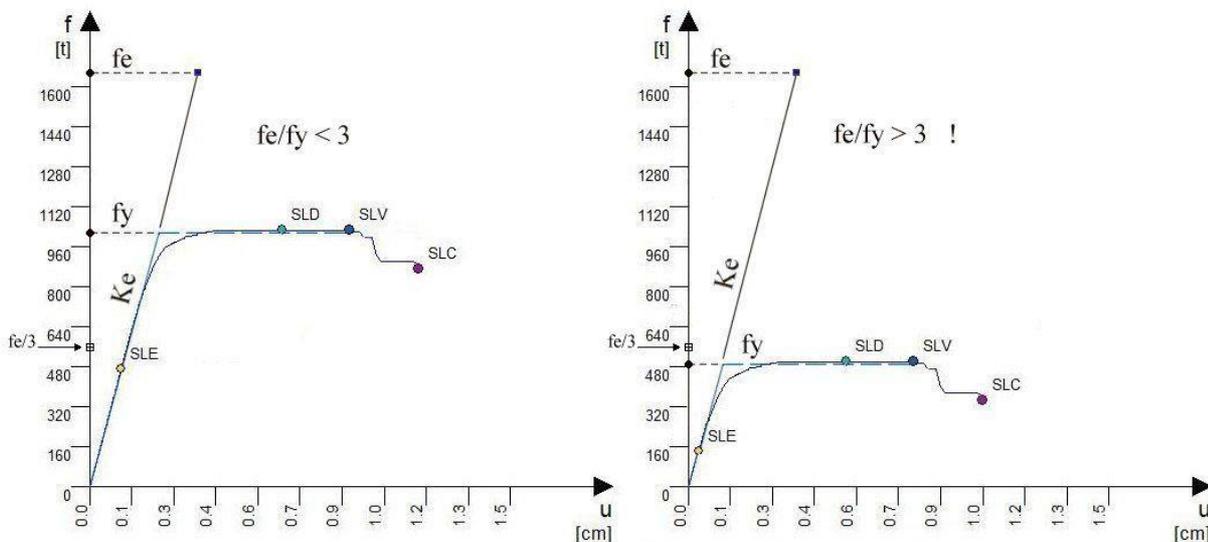
Verifica pushover secondo Ntc08

La verifica secondo Ntc08 consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo della costruzione e la domanda di spostamento (Ntc08 punto 7.8.1.6), ottenuta quest'ultima costruendo il sistema bilineare equivalente ad un grado di libertà ed applicando lo spettro di risposta elastico per lo stato limite considerato (Ntc08 7.3.4.1, Opcm 3274 punto 4.5.4); la verifica è quindi espressa in termini di Pga, confrontando le accelerazioni al suolo che portano al raggiungimento dello stato limite (capacità di Pga) e quella richiesta dalla normativa (domanda di Pga);

Verifica del rapporto f_e/f_y

Insieme alle verifiche basate sulla capacità di spostamento si richiede anche una verifica basata sulle forze e in particolare si richiede che il fattore di struttura del sistema equivalente q_e , definito dal rapporto fra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente (per i vari stati limite sismici di interesse), risulti non superiore a 3:

$$q_e = f_e / f_y \leq 3$$



Significato meccanico della verifica $f_e/f_y > 3$

Si tratta di una verifica complementare a quella vista in precedenza basata sulla capacità di spostamento ed equivale a richiedere che la capacità di termini di forze resistenti (f_y) sia maggiore di un valore limite assunto pari a $f_e/3$. Se consideriamo due strutture assoggettate ad azioni sismiche identiche e che presentino la stessa rigidezza elastica K_e , avremmo un identico valore della forza elastica f_e per entrambe. A parità di f_e , la verifica risulta positiva nella prima che presenta una forza resistente f_y maggiore.

L'esecuzione dell'analisi

Con l'esecuzione dell'analisi il programma calcola le sollecitazioni agenti negli elementi strutturali, esegue l'analisi sismica pushover e tutte le verifiche richieste dal sistema normativo selezionato.

Per le murature, le verifiche sono usualmente distinte in verifiche locali e verifiche globali, in funzione delle caratteristiche del meccanismo di crisi che si considera, da ritenere complementari ai fini della valutazione della sicurezza.

Immediatamente a valle dell'analisi il programma riporta su video due quadri che riportano i risultati ottenuti per tutte le verifiche eseguite.

Fattori di impegno delle verifiche statiche locali	
Verifica	SLU
Snellezza	0.66
Eccentricità trasversale	0.74
Eccentricità longitudinale	0.00
Pressoflessione trasversale	1.46
Pressoflessione longitudinale	1.28
Taglio longitudinale	0.00
Ribaltamento pareti	0.00
Portanza fondazioni	0.78

Ad analisi conclusa, gli esiti finali delle verifiche locali e sismiche sono riportati in due quadri sintetici, nei quali sono evidenziate in rosso le verifiche non soddisfatte.

Fattori di sicurezza per verifiche sismiche locali				
Verifica	SLO	SLD	SLV	SLC
Pressoflessione trs.	—	—	0.81	—
Ribaltamento pareti	—	—	2.47	—
Portanza fondazioni	—	—	2.51	—
Fattori di sicurezza per verifiche sismiche globali (pushover)				
Verifica	SLO	SLD	SLV	SLC
Pga: capacità [g]	0.24	0.33	0.37	0.44
Pga: domanda [g]	0.19	0.24	0.60	0.66
Fattore di sicurezza	1.26	1.38	0.62	0.67
Fattori di struttura del sistema equivalente (pushover)				
Verifica	SLO	SLD	SLV	SLC
F.struttura ($f_e/f_y \leq 3$)	0.87	1.11	2.61	2.97

Analisi dei carichi

La prima fase riguarda la determinazione del carico verticale nei setti e della relativa eccentricità dovuta allo scarico eccentrico dei solai, ai disassamenti delle murature e alle eccentricità convenzionali fissati dalle norme. Il processo inizia con la ripartizione del carico verticale dei solai sulle murature portanti e prosegue con lo scarico verticale all'interno della parete forata, ridistribuendo il carico in funzione degli architravi presenti, fino alle fondazioni.

Combinazioni di carico

Il programma predispone le seguenti combinazioni di carico da utilizzare per le verifiche:

- Statica locale utilizzata per le verifiche statiche di tipo locale sulle murature,
- Statica fondazioni utilizzata per le verifiche statiche di tipo locale sulle fondazioni,
- Sismica locale utilizzata per le verifiche sismiche di tipo locale sulle murature,
- Sismica fondazioni utilizzata per le verifiche sismiche di tipo locale sulle fondazioni,
- Sismica pushover utilizzata per le verifiche sismiche globali con analisi pushover.

Per ognuna di esse, i fattori di combinazione sono impostati di default in funzione del sistema normativo selezionato, ma possono in ogni caso essere variati dall'utente.

id	Nome combinazione	S.limite	Pe min	Pe max	Pr min	Pr max	Va min	Va max	Sis + - Psi
1	Statica locale	SLU	1,00	1,30	0,90	1,20	0,00	1,50	0,00 1.0/psi0
2	Statica fondazioni	SLU	1,00	1,30	0,90	1,20	0,00	1,50	0,00 1.0/psi0
3	Sismica locale	SLV	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00 psi2/psi2
4	Sismica fondazioni	SLV	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00 psi2/psi2
5	Sismica pushover	SLD/SLV	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00 psi2/psi2

Definizione delle combinazioni di carico per sistema normativo Ntc08.

Verifiche locali

Le verifiche locali corrispondono a meccanismi di crisi dipendenti quasi esclusivamente da condizioni locali all'elemento e per i quali si possono assumere schemi statici di verifica semplificati. Rientrano in questa categoria le verifiche dei setti a pressoflessione trasversale e le verifiche a ribaltamento delle pareti, sotto le azioni dei carichi verticali, delle spinte statiche di falde non efficacemente ammortate, delle spinte sismiche di inerzia o di solai non efficacemente incordolati.

- Verifica della snellezza (Dm87 o Dm08)
- Verifica dell'eccentricità trasversale e longitudinale (Dm87 o Dm08)
- Verifica a taglio per azioni statiche (Dm87 o Dm08)
- Verifica pressoflessione trasversale e longitudinale (Dm87 o Dm08)
- Verifica a ribaltamento per azioni statiche e sismiche (Dm96 o Dm08)
- Verifica dei tiranti a trazione a punzonamento (Dm96 o Dm08)
- Verifica delle tensioni in fondazione (Dm88 o Dm08)

Verifiche globali

Le verifiche globali corrispondono a meccanismi di crisi che dipendono dal comportamento d'insieme degli elementi resistenti e che richiedono una adeguata modellazione della struttura muraria. Tipicamente, gli

edifici in muratura soggetti ad azione sismica, se presentano un sufficiente grado di ammassamento negli incroci, tendono a mostrare un comportamento scatolare con forte rigidità torsionale, in analogia ad una sezione pluriconnessa. Interviene inoltre l'effetto dei solai, che in virtù dell'elevata rigidità nel loro piano esaltano ulteriormente il comportamento d'insieme.

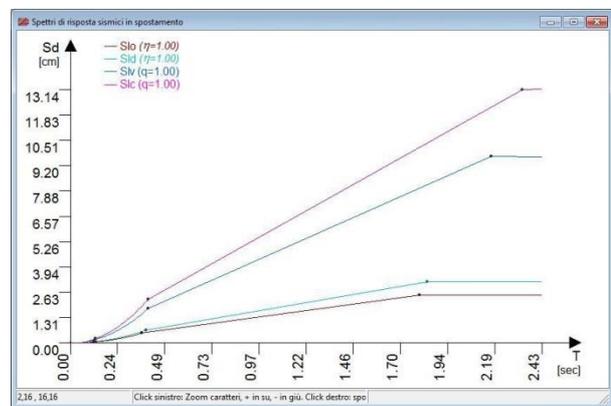
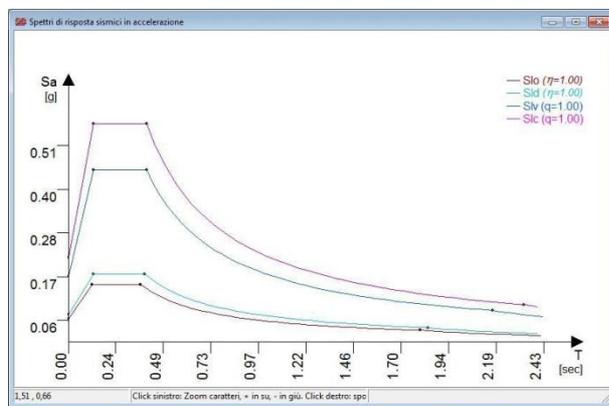
In queste verifiche, lo stato di crisi non è direttamente collegato alla crisi locale del singolo setto, ma piuttosto al raggiungimento di condizioni limite predefinite, valutate su una scala più ampia. Tali condizioni sono regolamentate dalla normativa con la definizione degli stati limite di interesse (SLD, SLV, SLC per Ntc08, SLU per Ntc96).

Sintesi grafiche delle verifiche

L'analisi porta alla costruzione delle curve di capacità pushover, dei domini di resistenza sismici e delle mappe di impegno dei setti. L'esame di questi grafici sintetizza in maniera efficace la risposta statica e sismica dell'edificio e consente di trarre utili indicazioni per eventuali interventi di rinforzo.

Spettri di risposta

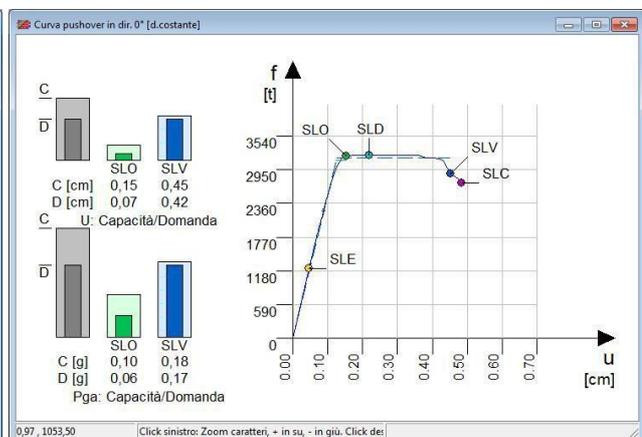
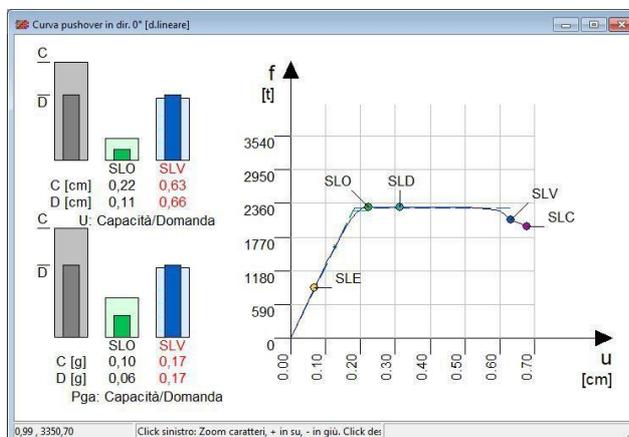
Sono visibili gli spettri di risposta previsti dal sistema normativo selezionato, in termini di accelerazione o di spostamento, sui quali ad analisi conclusa, sono riportati i punti di lavoro delle analisi effettuate.



Vista degli spettri di risposta in accelerazione e spostamento per sistema normativo Ntc08.

Curve pushover

Dette anche curve di capacità, rappresentano il percorso di equilibrio carico-spostamento dell'analisi pushover per ogni direzione sismica. Sono evidenziati sulla curva gli stati limite raggiunti e la schematizzazione del sistema bilineare equivalente. I risultati della verifica pushover in corrispondenza degli stati limite di interesse (SLO, SLD, SLV e SLC) sono inoltre espressi con istogrammi di confronto fra il valore di capacità ottenuto dall'analisi e il valore di domanda richiesto dalla normativa.

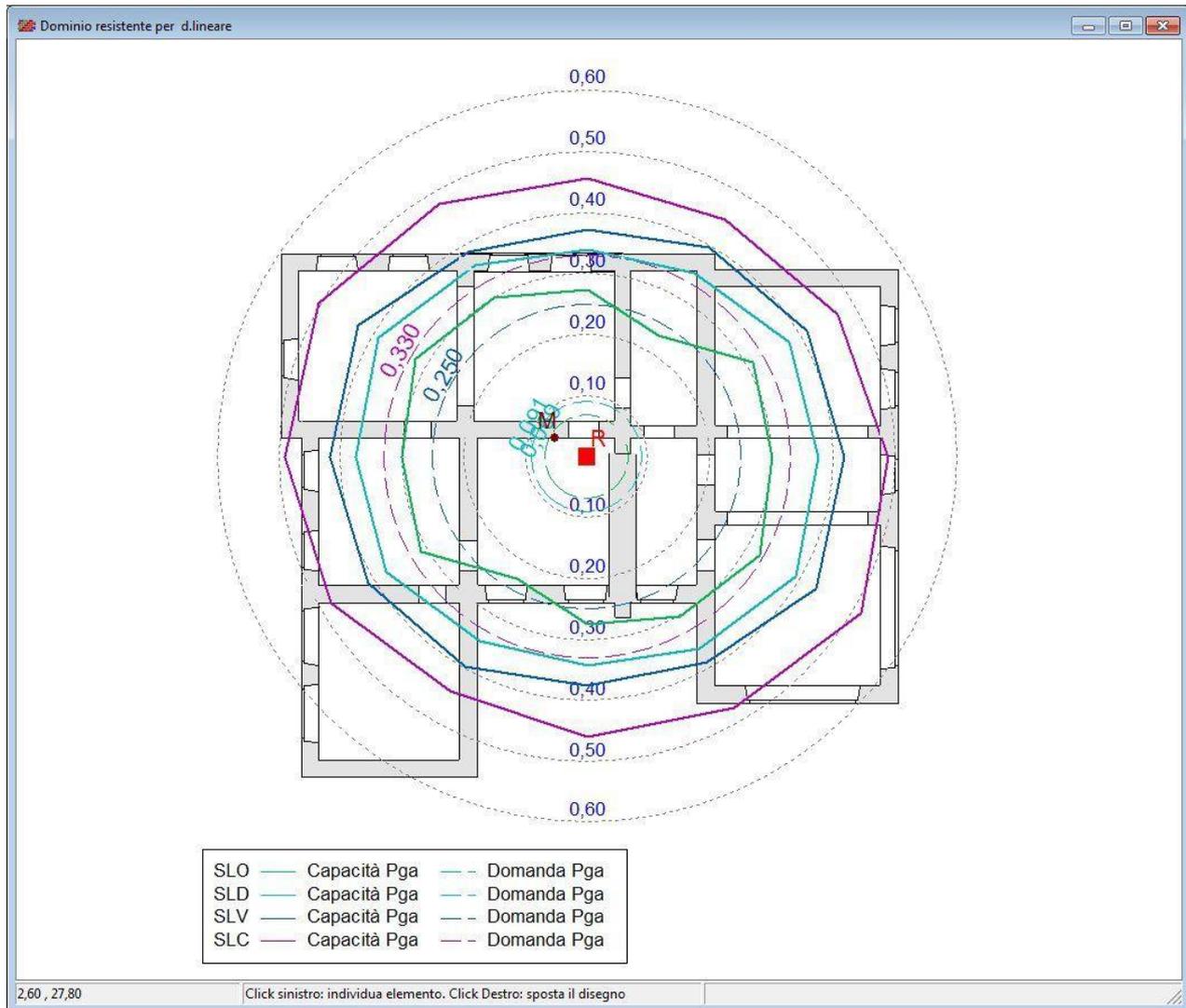


Vista di due curve di capacità relative ad una stessa struttura: entrambe riferite all'orientazione sismica a 0° (dir.X), ma a differenti distribuzioni delle forze sull'altezza. Sulle curve sono evidenziati i punti di degli stati limite e gli schemi bilineari equivalenti. Visibili sulla sinistra gli istogrammi di verifica, che esprimono il confronto fra capacità e domanda.

I domini di resistenza sismica

L'esame dei domini di resistenza è un mezzo molto efficace per valutare i risultati dell'analisi sismica. Distinguiamo nel disegno i domini di capacità e i domini di domanda. Il dominio di capacità è un diagramma disegnato in pianta, il cui raggio in una certa direzione misura la capacità di accelerazione al suolo per sisma agente in quella direzione, nel dominio di domanda il raggio misura invece l'accelerazione al suolo richiesta dalla normativa per lo stato limite considerato. La verifica per una direzione sismica è soddisfatta se la capacità è maggiore della domanda, ovvero se il dominio di capacità è esterno a quello di domanda. Confrontando il dominio di capacità col dominio di domanda possiamo quindi capire su quali direzioni le verifiche non sono soddisfatte e quali sono le direzioni di maggiore debolezza.

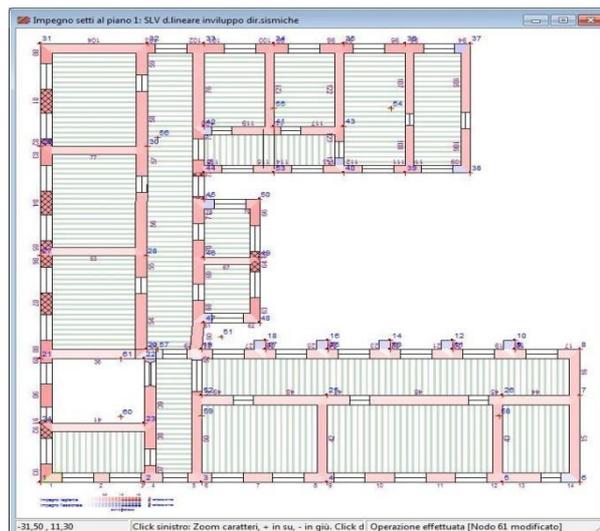
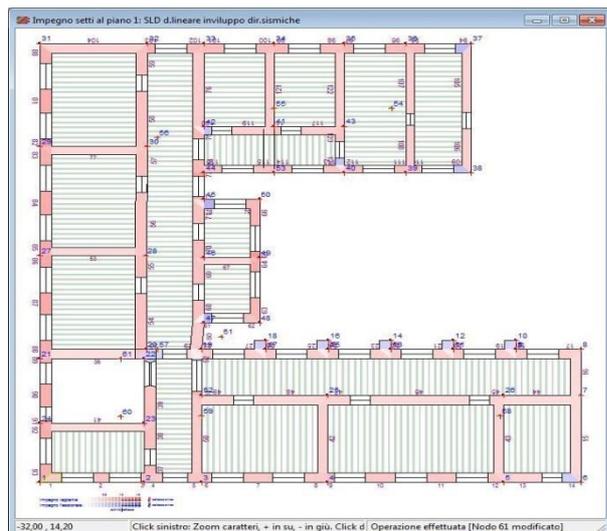
I domini di resistenza riportati in grafico dipendono dal sistema normativo sismico selezionato: nel caso di analisi sismica secondo il Dm96 sono riportati il dominio elastico, di fessurazione ed ultimo. Nel caso di analisi sismica secondo Dm08 sono riportati invece i domini di danno, salvaguardia vita e collasso, valutati per una doppia distribuzione di forze sismiche sull'altezza dell'edificio.



Vista dei domini di resistenza ottenuti con analisi pushover secondo Ntc08.

Le mappe di impegno sismico

Si tratta di un disegno pianta che riporta in codice colore il quadro deformativo dei maschi murari corrispondente ad uno degli stati limiti di interesse determinati con l'analisi sismica non lineare. Si possono individuare i setti collassati e il tipo di crisi che ha determinato il collasso del maschio, per taglio o per pressoflessione longitudinale. Inoltre, è possibile riconoscere i collassi critici, quelli cioè che avvengono per bassi livelli dell'azione sismica e che risultano pregiudiziali per il soddisfacimento della verifica sismica. Cliccando il setto col mouse è inoltre possibile ottenere informazioni numeriche più dettagliate. L'informazione espressa da tali mappe risulta molto utile per interpretare le risorse di sicurezza disponibili e per localizzare i possibili interventi di rinforzo.

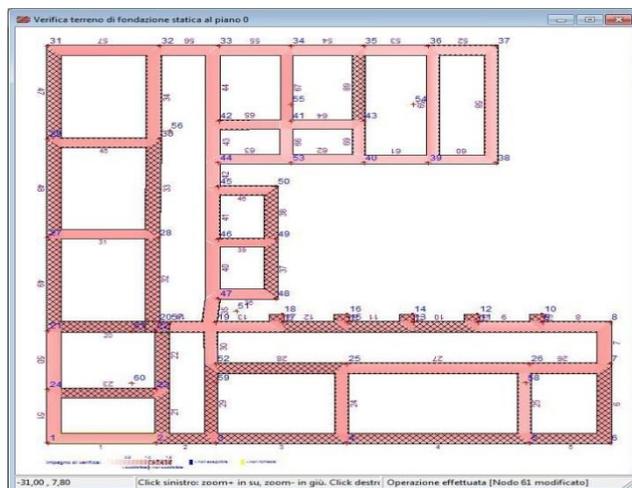
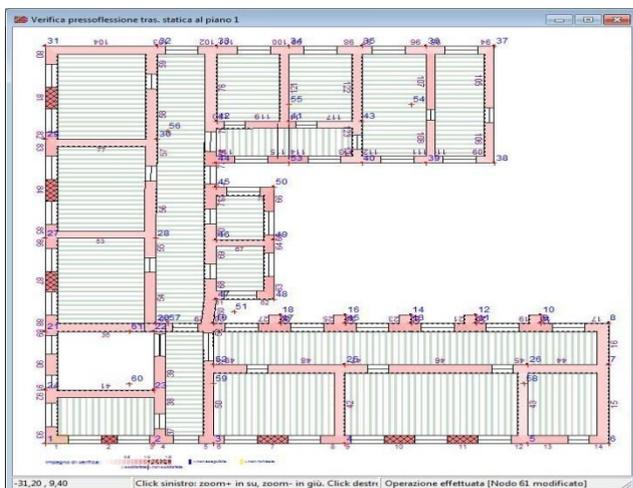


Mappe di impegno sismico per SLD e SLC ottenute con analisi pushover secondo Ntc08. I maschi critici, che condizionano l'esito della verifica per lo stato limite indicato, sono evidenziati con doppia retinatura. Cliccando col mouse si ottengono i valori numerici di duttilità.

Le mappe di impegno per le verifiche

Si tratta di un disegno analogo al precedente, in cui le tonalità di colore esprimono il grado di impegno dei setti murari per le verifiche locali, la tonalità diventa più intensa all'aumentare dell'impegno. La soglia di verifica è rappresentata da un impegno pari al 1, i setti con un impegno superiore non soddisfano la verifica e sono evidenziati in rosso pieno, con un doppio tratteggio diagonale. Con un semplice click, inoltre, è possibile ottenere informazioni numeriche dettagliate riguardanti la verifica del setto cliccato.

Questa mappa, insieme a quella dell'impegno sismico e dei domini di resistenza aiutano ad interpretare i risultati raggiunti con l'analisi e danno informazioni molto utili per il dimensionamento delle opere di rinforzo.



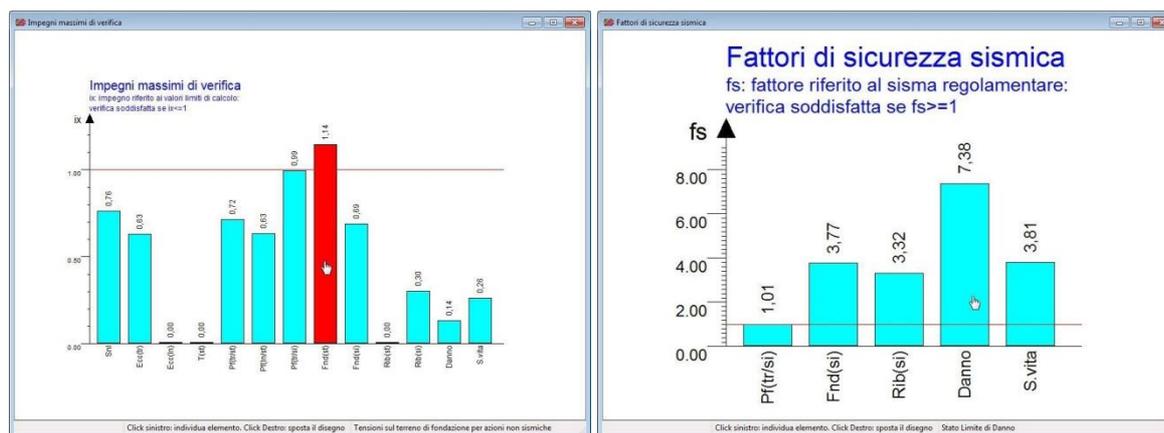
Mappe di impegno per le verifiche a pressoflessione trasversale statica e delle tensioni sul terreno di fondazione.

Gli elementi che non soddisfano la verifica sono evidenziati in rosso con doppia retinatura.

Cliccando col mouse si ottengono i valori numerici di verifica.

Istogrammi riepilogativi

Sono gli istogrammi riepilogativi di tutte le verifiche effettuate, riportati in termini di impegni massimi di verifica e di fattori di sicurezza sismica. Differenziati in funzione del sistema normativo selezionato, esprimono gli esiti finali di tutte le verifiche condotte.



Vista degli istogrammi sintetici per gli impegni massimi di verifica e per la sicurezza sismica. L'istogramma è riportato in rosso nel caso di verifica non soddisfatta.

Riesecuzione delle verifiche

Con gli attuali elaboratori elettronici il tempo impiegato per l'esecuzione dell'analisi è in genere di qualche secondo, per una struttura di medie dimensioni. Valutare i risultati e per capire quali interventi siano necessari per migliorare la sicurezza strutturale è invece un processo che, se non adeguatamente supportato dal programma, potrebbe risultare estremamente difficoltoso. In Por 2000, l'utente ha a disposizione i risultati di tutte le verifiche in forma estesa, ma anche sintesi grafiche che aiutano ad interpretare i risultati conseguiti: domini di resistenza, mappe di impegno, curve di capacità pushover e istogrammi di sintesi finale.

Dai domini l'utente individua subito le direzioni di maggiore debolezza strutturale sotto sisma. Dalle mappe di impegno sismico può invece individuare i setti che per carenza di resistenza o di duttilità arrivano prematuramente ad uno stato limite, condizionando il risultato finale. Elementi che non soddisfano le verifiche locali possono invece essere localizzati nelle mappe di impegno verifiche.

Una volta individuate i punti di debolezza, si può predisporre un piano di rinforzi e rieseguire l'analisi.

Il miglioramento sismico e la vulnerabilità convenzionale

Gli interventi che riguardano edifici esistenti possono richiedere la valutazione del miglioramento sismico rispetto ad una condizione preesistente e il calcolo della vulnerabilità convenzionale, richiesta come allegato a pratiche di finanziamento opportunamente regolamentate.

Il miglioramento sismico

Il programma consente di valutare il miglioramento sismico che si ottiene a seguito di un intervento di rinforzo di una struttura esistente. Si richiede in questo caso di effettuare l'analisi della struttura nello stato di fatto e di riportare i valori di sicurezza ottenuti per questo stato nell'analisi della struttura rinforzata.

Alla fine dell'operazione si ottiene un quadro di confronto disponibile sia a video che in stampa, esteso su tutte le verifiche sismiche e nel quale la sicurezza è espressa in termini di accelerazioni al suolo.

Nome della verifica	SL	Ca	Ce	D	Ca >= D	Ca >= Ce
Pressoflessione trasversale	SLV	0,558	0,069	0,250	si	si
Portanza delle fondazioni	SLV	1,520	0,661	0,250	si	si
Ribaltamento pareti	SLV	1,749	0,043	0,250	si	si
Pushover al limite di danno	SLD	0,310	0,230	0,091	si	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	0,373	0,285	0,250	si	si

Il controllo del miglioramento sismico confronta la capacità attuale con la domanda di normativa e con la capacità esistente.

La vulnerabilità convenzionale

La verifica di vulnerabilità è condotta secondo le indicazioni per le verifiche sismiche di livello LV1, contenute nelle "Linee Guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale", allegate alla Direttiva PCM del 9/2/2011.

Le procedure di tipo LV1 sono basate su metodi semplificati e forniscono valutazioni veloci e di prima approssimazione della sicurezza sismica. Sono quindi adatte ad applicazioni su scala territoriale per trattare un elevato numero di edifici ed ottenere graduatorie di rischio in base a procedure standardizzate, generalmente ad uso delle amministrazioni pubbliche per stabilire la priorità degli interventi.

La procedura in esame porta alla valutazione di due fattori di sicurezza: il primo espresso in termini di periodi di ritorno, il secondo in termini di accelerazioni al suolo (Pga), entrambi riferiti allo stato limite di salvaguardia della vita.

Il metodo proposto si basa sulle assunzioni che l'edificio abbia un comportamento scatolare. In questo caso il metodo fornisce fattori di sicurezza relativi a meccanismi di rottura a taglio o a pressoflessione nel piano del pannello, per effetto delle azioni orizzontali dovute al sisma e distribuite sulla sua altezza. In questo contesto, la procedura non tiene conto di eventuali meccanismi di collasso locale, che nel caso dovranno essere valutati separatamente.

liv	dir	Rottura	Fasce	mu	beta	k	As	sv	tau	e*	Fr	Ser	Prr	Agr	IsSlv	FaSlv
0	X						95.27	1.26	0.22	0.84						
	Y						95.03	1.26	0.22	0.84						
1	X	taglio	resistenti	0.84	1.25	1.00	45.18	2.57	0.29	0.84	231999	0.383	137	0.14	0.29	0.57
	Y	taglio	resistenti	0.84	1.25	1.00	47.86	2.57	0.29	0.84	243905	0.402	152	0.15	0.32	0.60
2	X	taglio	resistenti	0.84	1.25	0.90	37.57	1.55	0.29	0.84	174029	0.287	79	0.11	0.17	0.43
	Y	taglio	resistenti	0.85	1.25	0.90	41.13	1.55	0.29	0.84	190992	0.315	95	0.12	0.20	0.48
3	X	taglio	resistenti	0.84	1.25	0.70	37.57	0.61	2.00	0.84	795010	1.311	2247	0.45	4.73	1.85
	Y	taglio	resistenti	0.85	1.25	0.70	41.13	0.61	2.00	0.84	872503	1.439	2475	0.47	5.21	1.91
4	X	taglio	resistenti	0.88	1.25	0.40	56.04	0.06	2.00	0.84	2000649	3.300	2475	0.47	5.21	1.91
	Y	taglio	resistenti	0.94	1.25	0.40	54.14	0.06	2.00	0.84	2065233	3.407	2475	0.47	5.21	1.91

Il controllo della vulnerabilità sismica convenzionale ai vari piani.

Interventi di rinforzo

Dopo aver eseguito l'analisi il programma riporta un resoconto sintetico delle verifiche effettuate, sia per le verifiche statiche locali, sia per le verifiche sismiche condotte con l'analisi pushover.

Il quadro generale delle verifiche

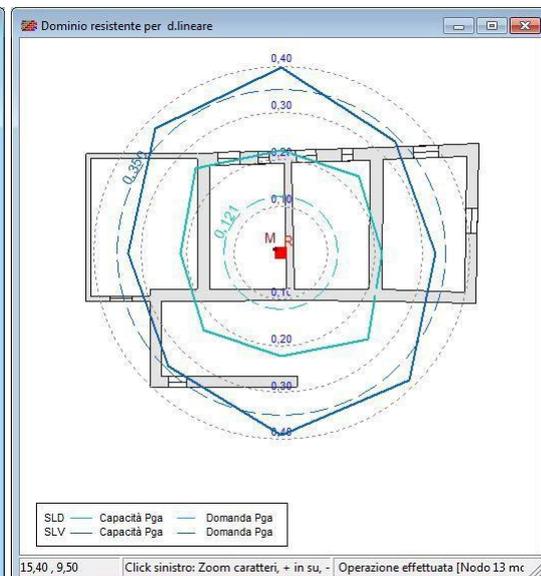
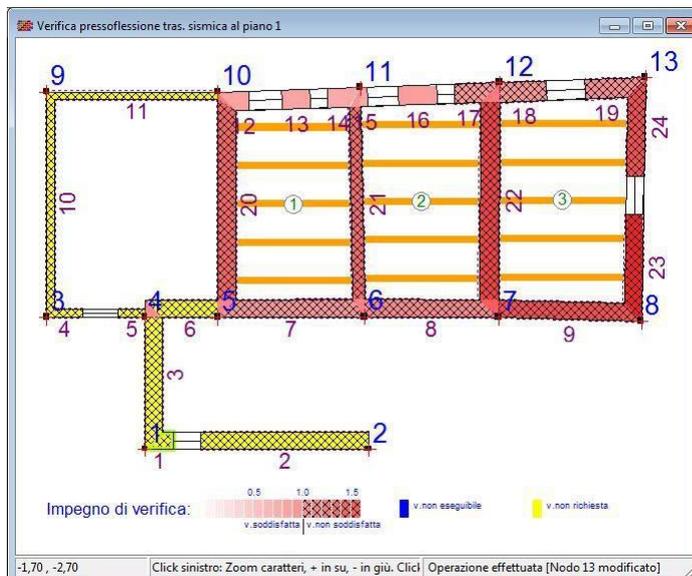
In particolare, immediatamente al termine dell'analisi sono riportati i quadri delle Verifiche statiche locali e delle Verifiche sismiche, che evidenziano in rosso i casi di verifiche non soddisfatte.

Informazioni analoghe possono anche ricavarsi dalla lettura dei Grafici sintetici di verifica, che riportano in rosso gli istogrammi relativi alle verifiche non soddisfatte.

Da queste prime informazioni, il progettista può farsi un quadro generale dello stato di sicurezza dell'edificio e di individuare le principali carenze sulle quali intervenire.

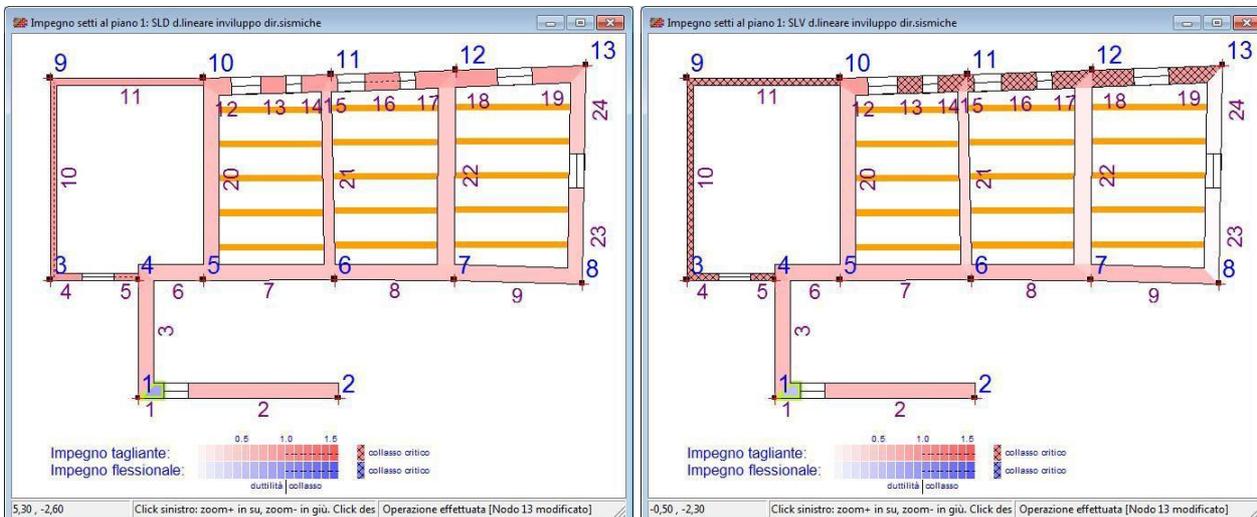
Nei quadri riportati in figura si evince ad esempio che per quanto riguarda le verifiche statiche locali, ci sono problemi sulla verifica di eccentricità trasversale, di pressoflessione trasversale e longitudinale. Per quanto riguarda le verifiche sismiche, sono evidenziate come non soddisfatte le verifiche locali a pressoflessione trasversale, a ribaltamento delle pareti e le verifiche pushover per lo stato limite di salvaguardia vita e di collasso.

Prima di procedere con l'applicazione dei rinforzi, raccomandiamo comunque di arricchire il quadro informativo, esaminando i domini di resistenza sismici e le mappe di impegno delle verifiche.



L'individuazione degli elementi più impegnati

Il passo successivo consiste nell'individuare gli elementi su cui agire in via prioritaria. Nel caso delle verifiche sismiche pushover, per individuare gli elementi critici che necessitano di rinforzi, si può aprire la vista dell'Impegno sismico dei setti. Viene riportata una pianta a toni di colore con gli impegni di duttilità nei setti in corrispondenza di un particolare stato limite. Scorrendo le mappe di impegno per gli stati limite Slv e Slc ai vari piani, si possono individuare i setti critici, fillati con doppio tratteggio.



Un procedimento analogo può essere seguito anche per le verifiche statiche, come ad esempio la pressoflessione trasversale. In questo caso, per individuare gli elementi più impegnati si aprirà la vista dell'Impegno di verifica dei setti, selezionando dall'interno del foglio la verifica a pressoflessione statica, facendo attenzione ai setti evidenziati dal doppio tratteggio diagonale.

L'applicazione dei rinforzi

Gli interventi di rinforzo possono essere diversi. Innanzitutto, si può pensare a rinforzare direttamente i setti individuati, applicando ad essi una delle tecniche previste dal programma, come l'affiancamento murario, l'intonaco armato, la fasciatura con fibre composite (Frp), le cuciture attive in lamine di acciaio pretese (Cam) o le iniezioni di malta. Altre alternative, da valutare caso per caso, possono consistere nella chiusura o nello spostamento di aperture, nella costruzione di cordoli o catene, nella costruzione di nuove murature o nell'applicare rinforzi distribuiti lungo direzioni preferenziali (di maggiore debolezza o rigidità), individuate ad esempio dall'esame dei domini di resistenza.

Il controllo del miglioramento conseguito

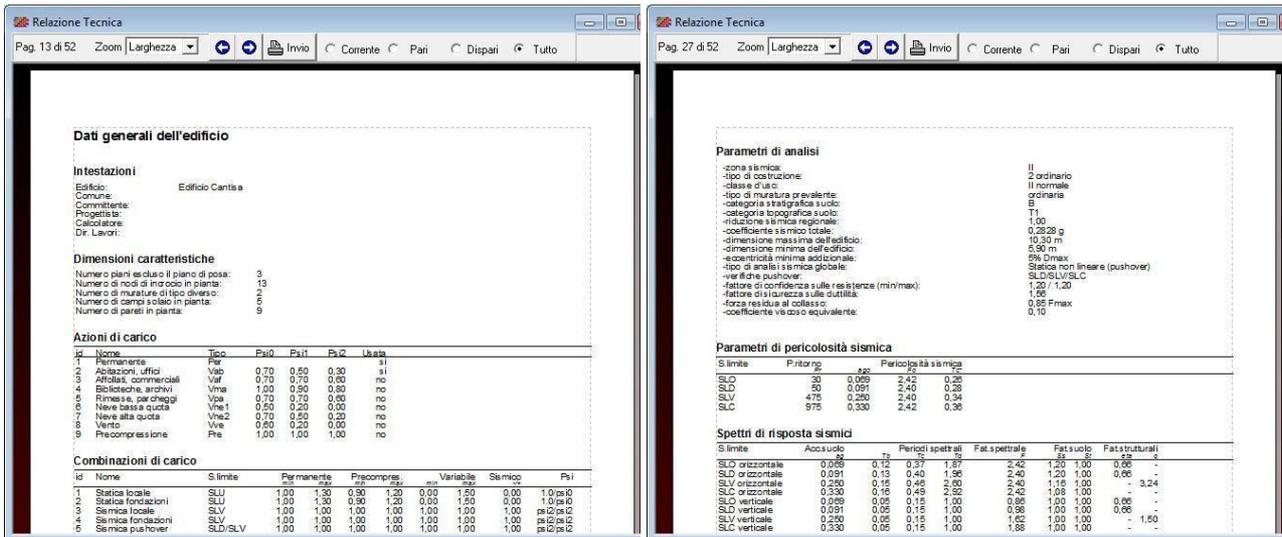
Dopo aver applicato i rinforzi, si possono controllare immediatamente gli effetti che si ottengono, rieseguendo l'analisi e verificando il miglioramento conseguito, ripercorrendo lo schema delineato in questo paragrafo.

Stampa della relazione e dei disegni

Le opzioni di stampa del programma, consentono di avere in uscita un elaborato finale di calcolo completo di dati, risultati e disegni, in accordo con il sistema normativo selezionato per l'analisi.

Il tabulato

Tutti i dati relativi all'edificio analizzato, i criteri di base dell'analisi e i risultati numerici delle verifiche condotte possono essere inclusi nella relazione di calcolo, selezionando gli argomenti desiderati. Il tabulato viene composto e mostrato a video in anteprima. E' anche possibile la stampa diretta o l'esportazione in formato Rtf.

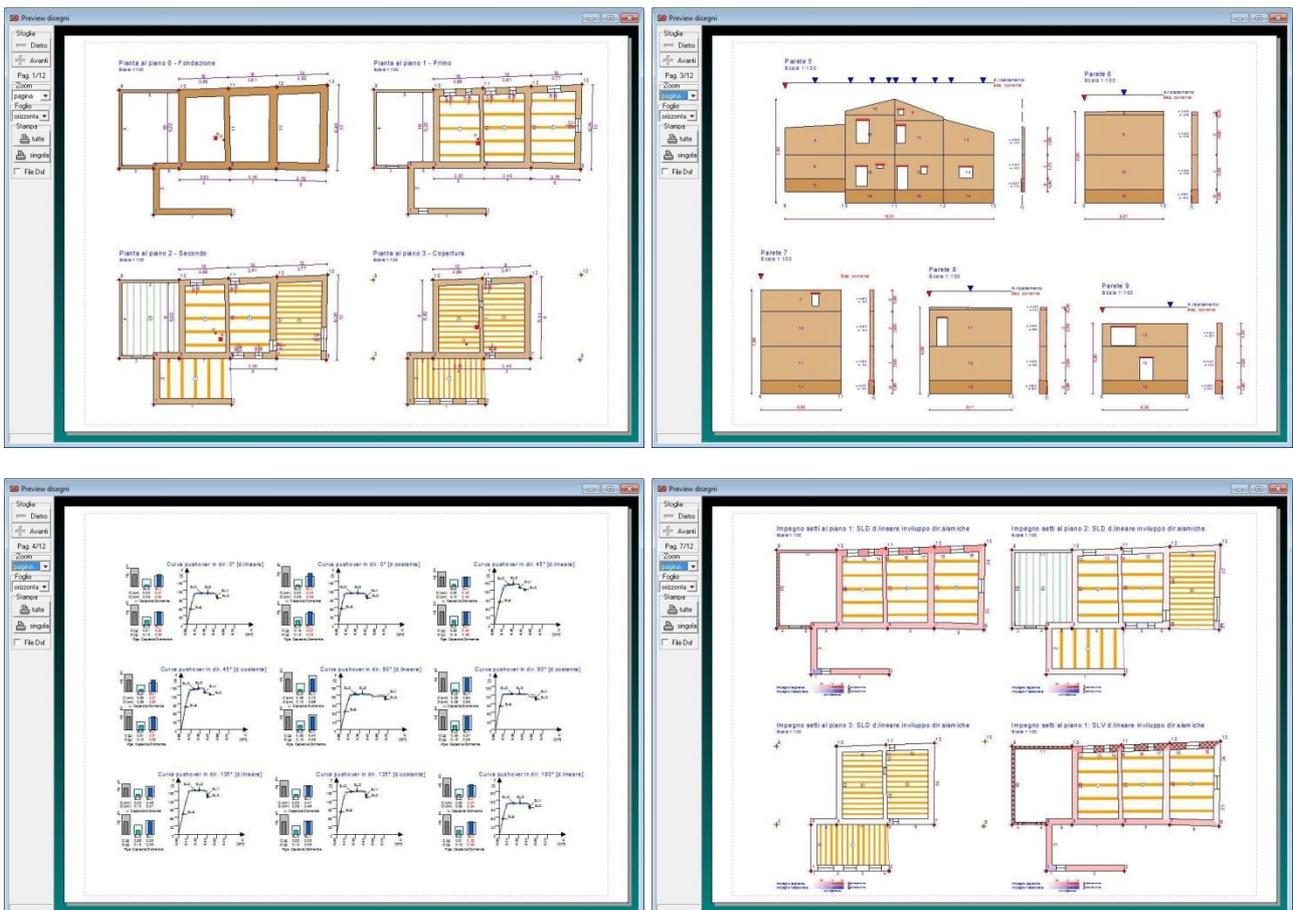


Alcune pagine di tabulato e il sommario finale nell'anteprima di stampa.

I disegni

I disegni prodotti sono piante, prospetti delle pareti, prospettive solide, domini di resistenza, mappe di impegno per gli stati limite sismici e per le verifiche locali, curve di capacità pushover.

Tutti i disegni possono essere impaginati sul foglio correntemente selezionato, dall'A4 fino all'A0 in funzione della capacità della stampante correntemente selezionata. E' possibile quindi esaminare l'anteprima di stampa dell'impaginato e, utilizzando gli ulteriori comandi di gestione previsti, procedere alla stampa diretta o all'esportazione Dxf di singole tavole o solo di quelle selezionate.



Disegni impaginati di piante, pareti, curve di capacità e mappe di impegno nell'anteprima di stampa.