

# POR 2000

## Analisi e verifiche di edifici in muratura ordinaria ed armata

Por 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.

Fornisce le verifiche locali delle murature e le verifiche sismiche pushover per gli stati limite di operatività, danno, salvaguardia vita e collasso in accordo con le Ntc 2018, nonché le verifiche semplificate LV1 richieste dalla Direttiva del P.C.M. 9/2/2011 e il Calcolo della classe di rischio secondo DM 58/2017 (Sismabonus). Sono recepite inoltre le precisazioni contenute nella C.M. n.7 del 19/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni". 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, direttamente applicabili alle murature esistenti.

E' possibile impiegare il software in un workflow BIM tramite importazione del file IFC da usare come riferimento per l'input ed anche esportare il modello in IFC.

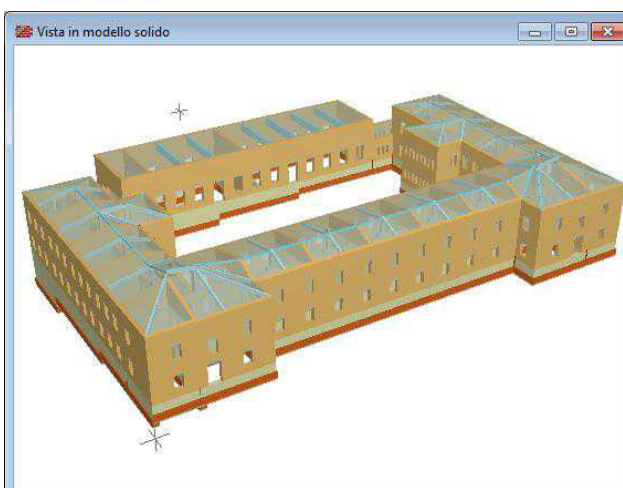
### Strutture analizzabili

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. Consente la definizione di travi, sia isolate, sia composte in sistemi a graticcio e di vario materiale (c.a., acciaio, legno). Il sistema fondale prevede le tradizionali fondazioni in muratura o anche sistemi a graticcio di travi.

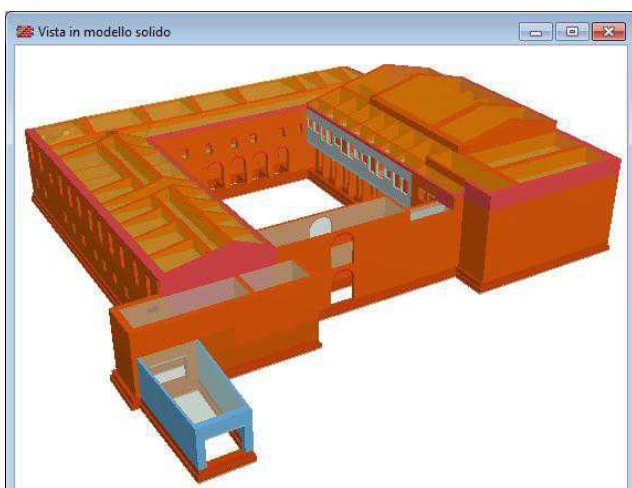
La modellazione può anche includere pannelli in legno (XLAM, XFRAME) da connettere con angolari e dispositivi holddown,

E' prevista la definizione di rinforzi murari di vario tipo, come affiancamenti murari, intonaci armati tradizionali o di nuova tecnologia (FRCM, SRG, CRM), placcaggi con fibre in composito o in acciaio (FRP, SRP), ristilature armate dei giunti con fili di acciaio (RIA) o in fibra (RIF), cuciture attive in lamine di acciaio pretese (CAM), iniezioni. Consente inoltre la definizione di cordoli con assegnata capacità di ammorsamento e tiranti di piano fra muri contrapposti.

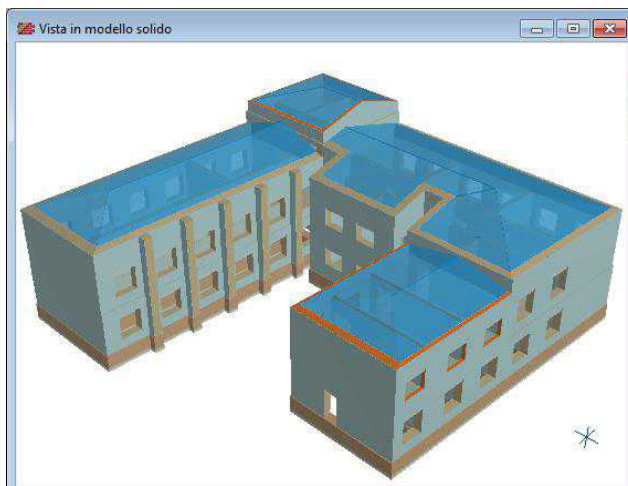
Il programma è indirizzato ad ingegneri, architetti, geometri che operano nella progettazione o nel consolidamento di strutture in muratura ed è stato realizzato con l'intenzione di fornire un ausilio concreto ed efficace in tutte le fasi della progettazione, dal disegno iniziale al dimensionamento degli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



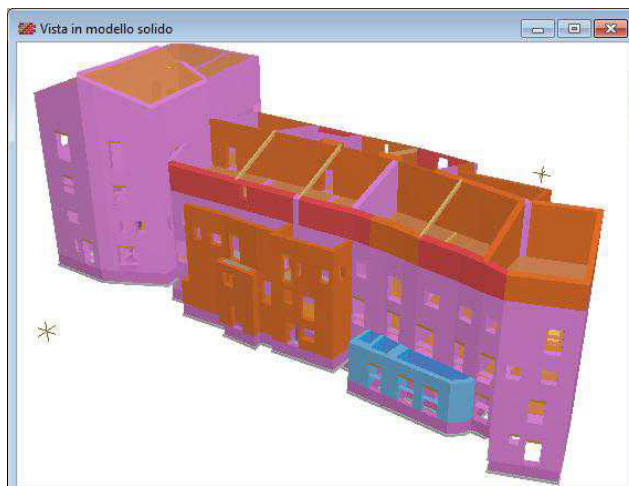
Edificio storico in murature di tufo.



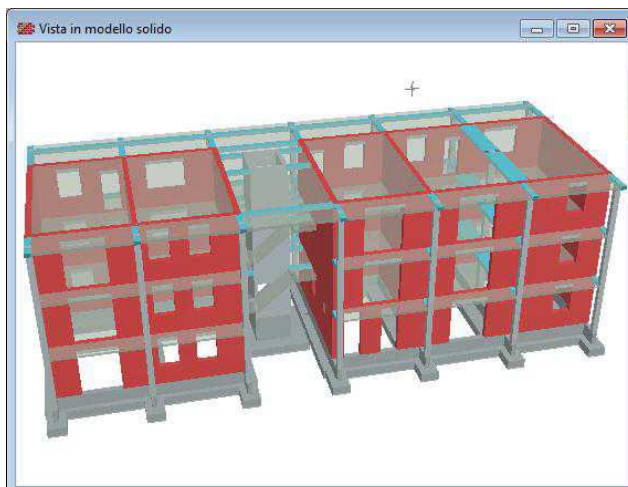
Edificio storico in mattoni pieni e ricostruzioni in laterizi semipieni.



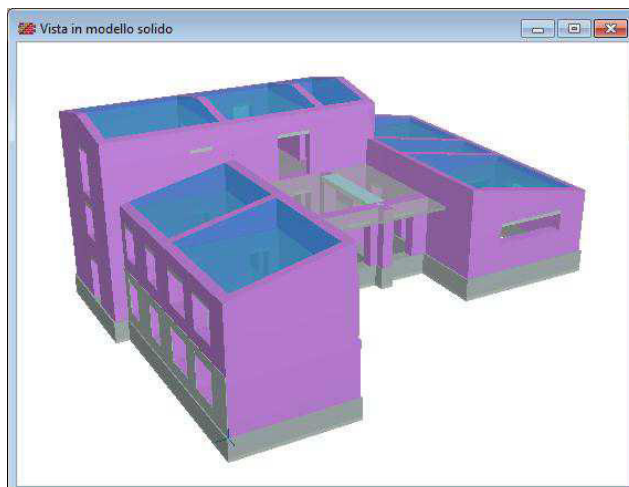
Scuola con murature a sacco e mattoni pieni, rinforzato.



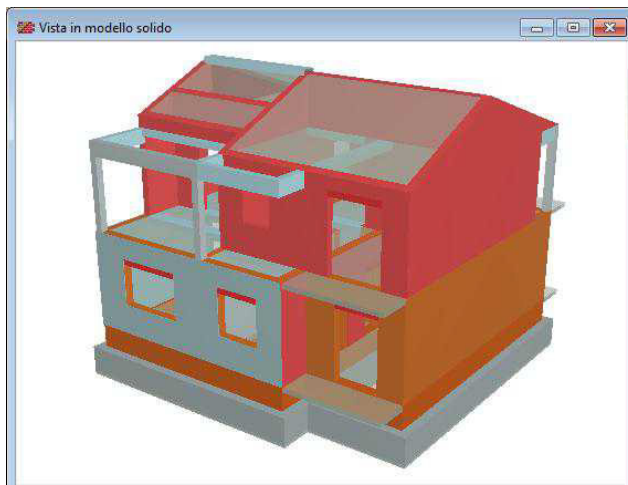
Aggregato prevalentemente in pietrame con ricostruzioni parziali.



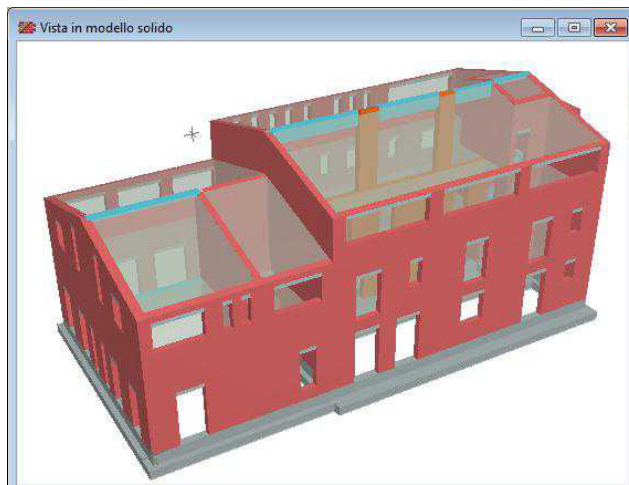
Nuova costruzione per abitazioni in laterizi semipieni



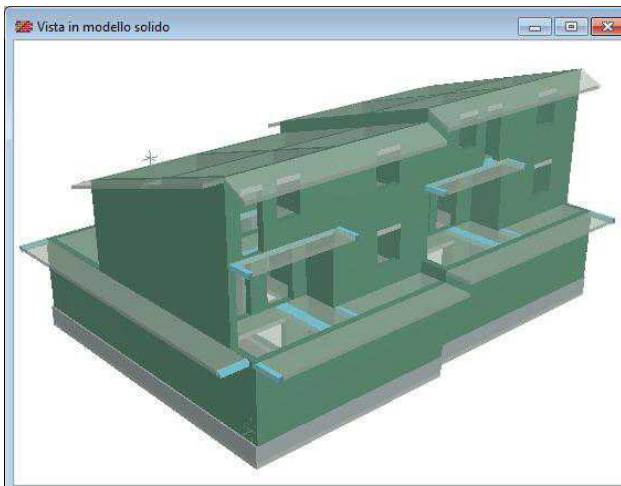
Edificio scolastico in pietrame a spacco, parzialmente rinforzato.



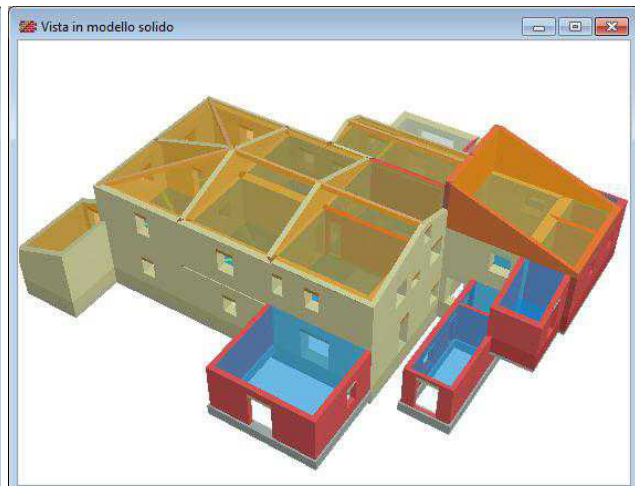
Intervento di sopraelevazione con rinforzi di intonaco armato



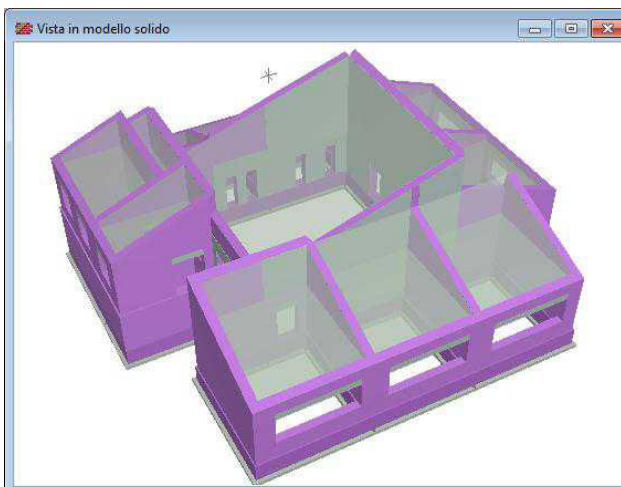
Nuovo edificio per abitazioni in laterizi semipieni



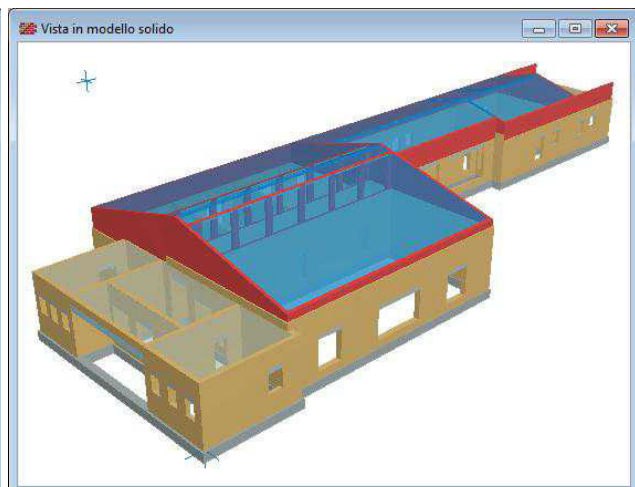
Nuova costruzione in muratura armata, in blocchi in calcestruzzo.



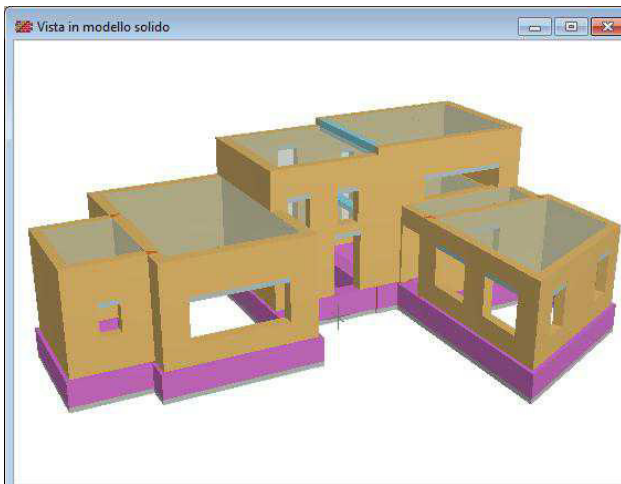
Murature esistenti in tufo con ampliamenti in laterizi semipieni.



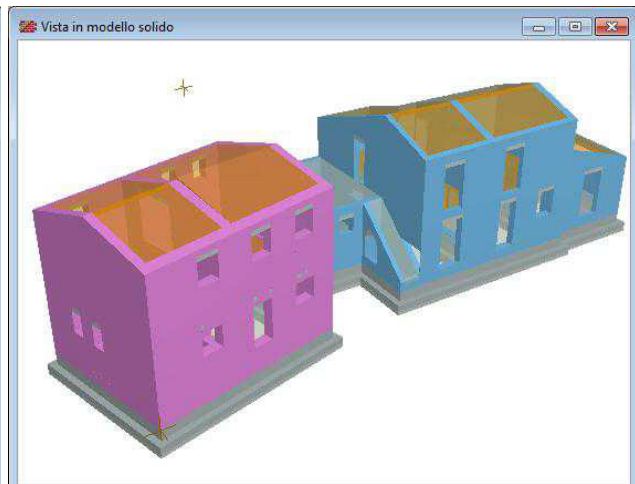
Scuola in pietrame a spacco, con rinforzi di intonaco armato,



Scuola in blocchi tufacei e sopraelevazioni in laterizi semipieni.



Edificio in murature di tufo.



Edificio rurale in pietrame a spacco e blocchi di calcestruzzo

### Sceita del sistema normativo

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

- **Ntc 2018**

Si farà riferimento alle norme pubblicate nel 2018 e ai riferimenti tecnici collegati:

Dm 17/01/18 Norme tecniche per le costruzioni

Dm 14/01/08 ALLEGATO A ALLE NTC 2018: PERICOLOSITA' SISMICA

ALLEGATO B ALLE NTC 2018: TABELLE DEI PARAMETRI SISMICI

- **Ntc 2008**

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
Dpcm 2/9/2011	Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale

- **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.

---

## Esportazione dati per piattaforme informatiche regionali

Il programma prevede moduli aggiuntivi per l'esportazione dei dati verso le piattaforme informatiche previste da alcune Regioni per la denuncia, la trasmissione e l'autorizzazione delle pratiche edilizie in zona sismica. In particolare, sono previsti collegamenti con i seguenti servizi esterni:

### Regione Calabria Sistema SISMI.CA

Il sistema SISMI.CA è il sistema informatico per la gestione delle autorizzazioni sismiche, in vigore dal 1/1/2017. L'export verso il sistema SISMI.CA si ottiene con il modulo PorSismica, che produce l'elaborato generale e le tabelle csv richieste dal sistema.

### Regione Abruzzo Servizi di Genio Civile

La Regione Abruzzo ha pubblicato la modulistica e le schede tecniche per presentare le istanze di autorizzazione sismica, da consegnare agli sportelli S.U.E. (Sportello Unico per l'Edilizia) del comune interessato o mediante il sistema digitale PEGASUS, limitatamente per la Provincia di Pescara. Per questo sistema, è disponibile il modulo RspAbruzzo, che fornisce i dati per la compilazione delle schede Risultati sintetici.

### Regione Lazio Piattaforma OpenGenio

In questo sistema si richiede la compilazione di una scheda tecnica di sintesi del calcolo strutturale eseguito, corrispondente all'Allegato B (modello 2018). Per tale sistema, l'arricchimento del quadro verifiche e del tabulato di stampa presente nella versione aggiornata consentono di affrontare senza problemi la compilazione della scheda tecnica, con l'ausilio di apposite Istruzioni scaricabili liberamente dal sito aziendale [www.newsoft-eng.it](http://www.newsoft-eng.it).

---

## 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.

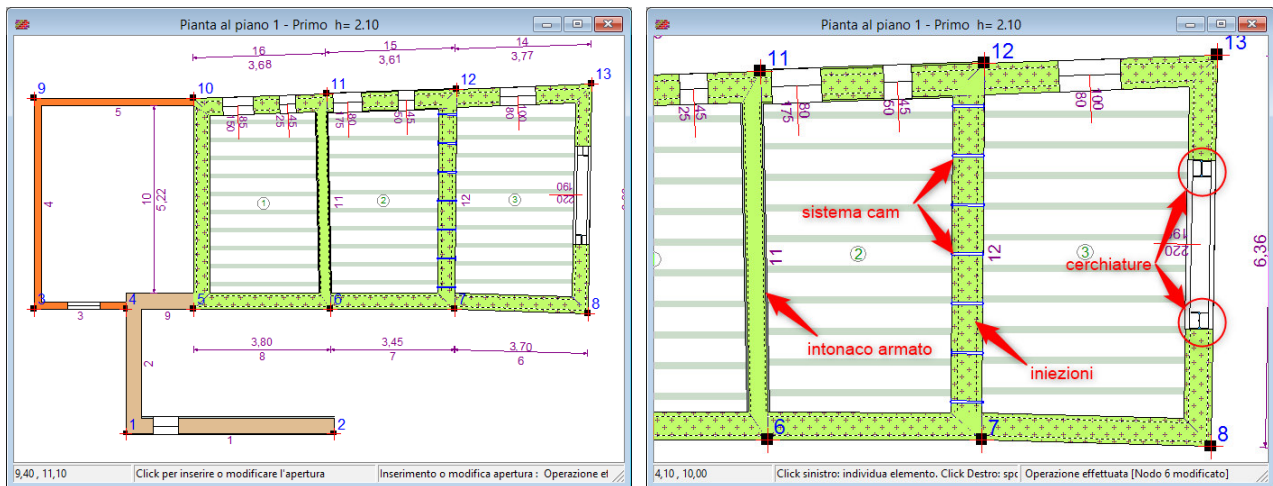
Altre viste si rendono disponibili col progredire del lavoro: i prospetti delle pareti e la vista solida 3D ad esempio dipendono dalla costruzione logica del modello strutturale e quindi richiedono una consistenza minima dei dati di definizione. Le viste basate sui risultati, come i domini di resistenza 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 e sono apprezzabili anche i rinforzi applicati, sia ai pannelli murari (affiancamenti, intonaci armati, cuciture attive, iniezioni), sia alle aperture (cerchiature in c.a., acciaio, legno).

Oltre ai comuni comandi di gestione (zoom, pan, anteprima) sono presenti i comandi di input grafico degli elementi strutturali (importazione Dxf, importazione Ifc, 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, iniezioni e cuciture armate.

### 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.

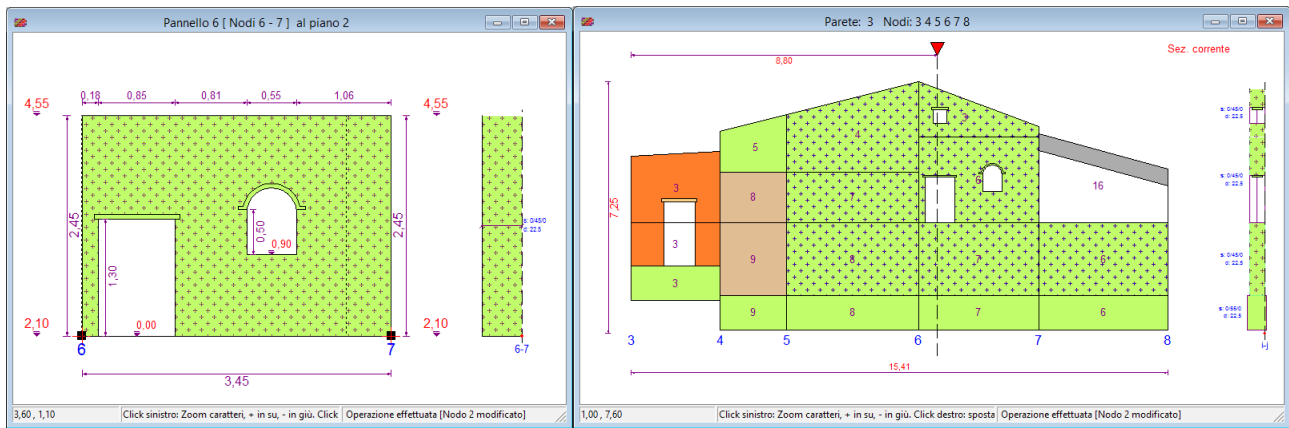
La barra strumenti prevede inoltre i comandi specifici per l'inserimento, lo spostamento o la modifica grafica delle aperture.

### 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.



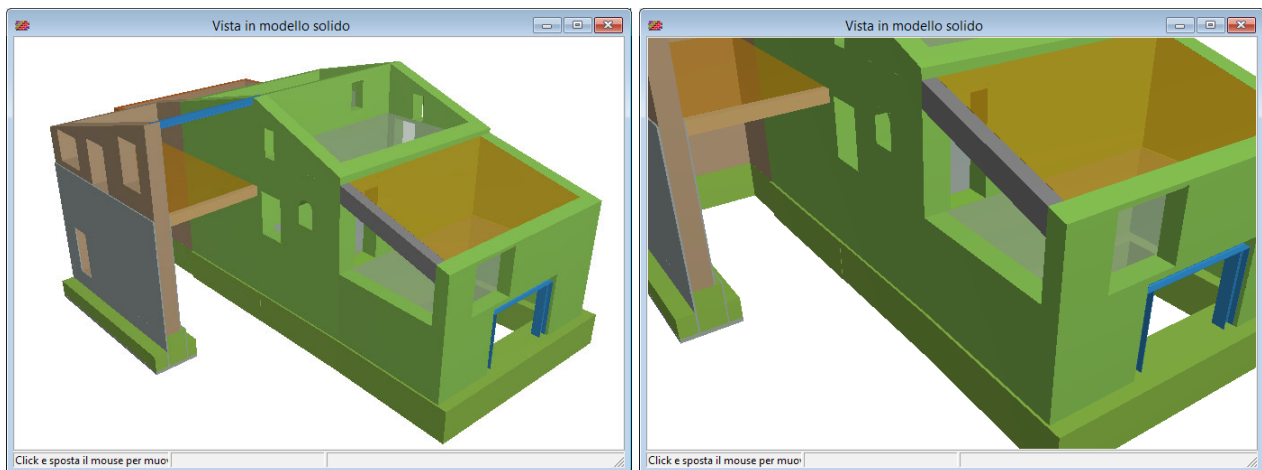
Vista di un pannello e della corrispondente parete che lo comprende.

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. Se si dispone di un modello BIM, questo può essere visualizzato nella vista 3D insieme al modello strutturale per rilevare eventuali difformità fra i due modelli. 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, sezioni degli elementi fondali e cerchiature delle aperture.

## 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 o Ifc (nel caso si disponga di un modello BIM) 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

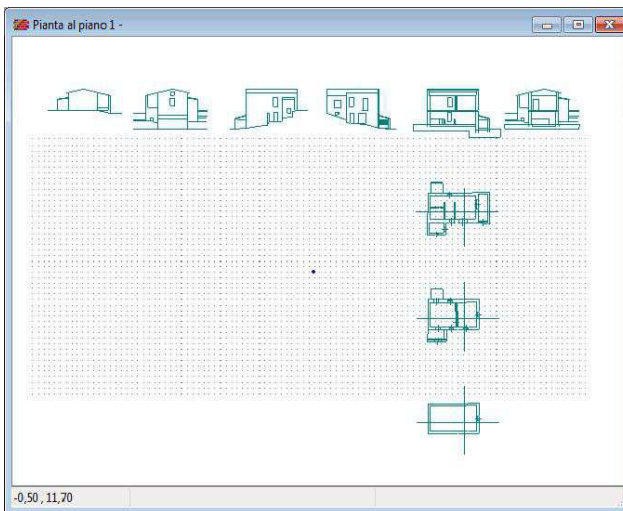
impostano le sezioni a ribaltamento e si regolano i disassamenti fra murature sovrapposte. Il tutto si rivela comodo ed intuitivo e costituisce una alternativa conveniente all'input numerico tabellare.

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.

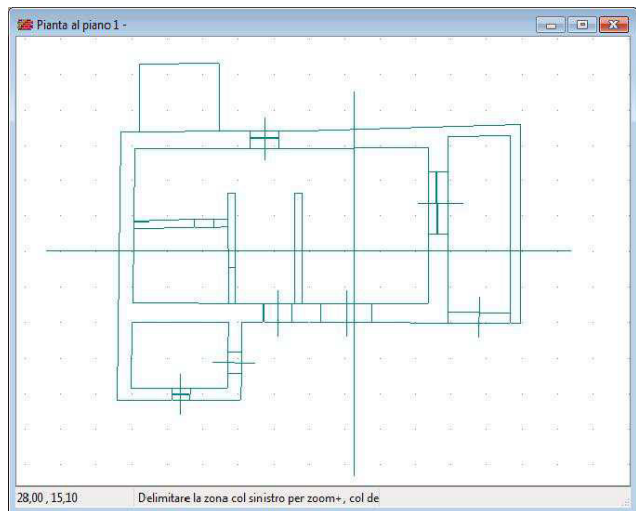
### Lavorare su uno sfondo Dxf/lfc

Nella vista pianta si può inoltre importare uno sfondo Dxf o lfc (nel caso si disponga di un modello BIM) ed utilizzarlo per velocizzare l'input grafico.

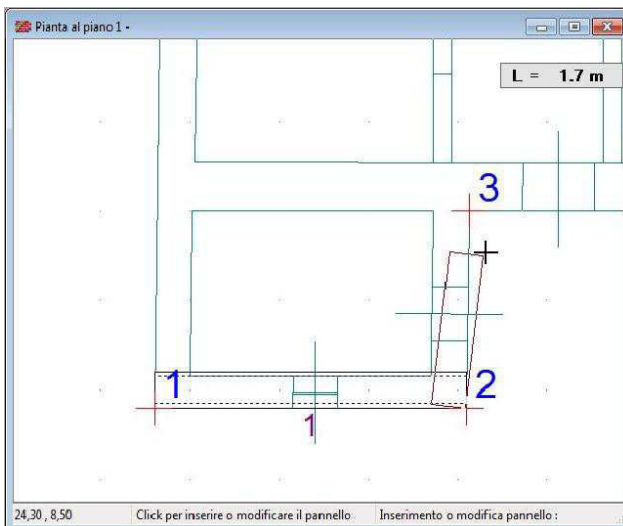
L'inserimento dei nodi può essere eseguita con precisione, in quanto è attiva una funzione di snap che individua sullo sfondo importato gli estremi e la mezzeria di ogni linea. Dopo aver posizionato i nodi, si può continuare con l'inserimento dei pannelli e delle aperture, come mostrato nelle figure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



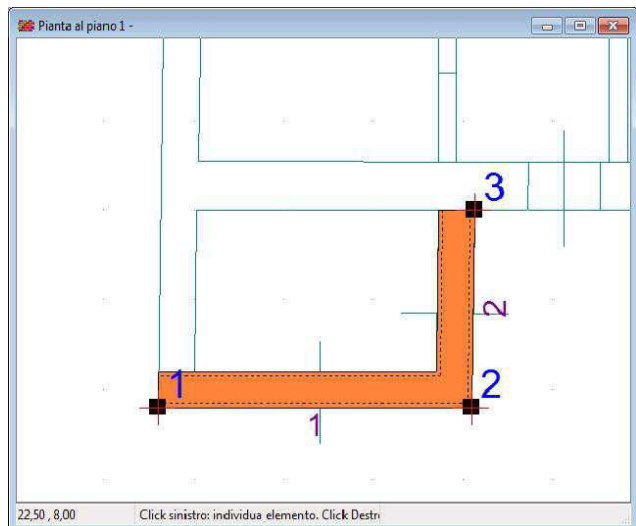
Inserimento di uno sfondo



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 ammortamento 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 rigidità, stimati dal programma in base alle correlazioni disponibili in letteratura o impostati in autonomia dall'utente.

Sono previste varie tipologie di rinforzi: affiancamenti murari, intonaci armati tradizionali o di nuova tecnologia (FRCM, SRG, CRM), placcaggi con fibre in composito o in acciaio (FRP, SRP), ristilature armate dei giunti con fili di acciaio (RIA) o in fibra (RIF), cuciture attive in lamine di acciaio pretese (CAM), iniezioni.

L'applicazione dei rinforzi può essere eseguita direttamente per via grafica contestualmente alla definizione di un nuovo pannello o modificando un pannello esistente nella vista delle piante, dove sono inoltre identificabili graficamente con retinature (nel caso di iniezioni) o con i dettagli propri della tipologia applicata, quali ringrossi di paramenti (nel caso di intonaci armati o in fibra) o maglie di cucitura (nel caso del sistema Cam).

---

**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.

Dalla versione V12 c'è la possibilità di definire i rinforzi anche per le aperture, previsti mediante cerchiatura con elementi in c.a., profilati metallici, elementi lignei o semplicemente come ricostituzione dei ritti con nuovo materiale murario.

---

**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.

Per la definizione dei parametri meccanici è stata predisposta una procedura guidata, come mostrato di seguito.

Definizione guidata delle caratteristiche meccaniche di una muratura esistente

Definizione guidata delle caratteristiche meccaniche di una muratura nuova

Tipi di murature																											
id	Colore	Nome	Blocchi resistenti	Stato	Armatura	Malta	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	esist.	Ma08	M12	1326	93,8	20,4		50	59,14	4,14	53229	15969	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,60	1,00				
2		Armata Cls+A1+M12	Blc ds m.armata	esist.	Ma08	M12	1937	61,2	15,3		50	43,77	2,48	35013	8753	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,60	1,00				
3		Laterizi pieni +M10	Laterizi pieni	esist.	Assente	M10	1530	81,6	81,6		50	59,76	2,57	41572	10393	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
4		Laterizi s.pieni +M10	Laterizi s.pieni	esist.	Assente	M10	1224	93,8	20,4		50	60,16	4,21	54147	16244	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
5		Laterizi forati +M10	Laterizi forati	esist.	Assente	M10	1122	20,4	10,2		50	15,04	1,05	13537	4031	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
6		Mattioni ancbi +M5	Mattioni ancbi	esist.	Assente	M5	1835	40,8	40,8		50	29,80	1,73	13460	4487	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
7		Blc ds pieni +M10	Blc ds pieni	esist.	Assente	M10	2039	61,2	40,8		50	51,20	2,91	40911	10228	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
8		Blc ds s.pieni +M10	Blc ds s.pieni	esist.	Assente	M10	1428	30,6	20,4		50	44,52	2,53	35617	8904	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
9		Blc ds forati +M10	Blc ds forati	esist.	Assente	M10	1224	20,4	10,2		50	21,06	1,32	16846	4452	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
10		Blc lapidei +M5	Blc lapidei	esist.	Assente	M5	2243	40,8	40,8		50	81,66	2,68	30224	10075	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
11		Blc tufacel irr. +M5	Blc tufacel irr.	esist.	Assente	M5	1632	32,6	32,6		50	26,64	0,00	12114	4038	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
12		Blc tufacel reg. +M5	Blc tufacel reg.	esist.	Assente	M5	1632	32,6	32,6		50	34,15	1,90	16103	5710	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
13		Pme a spacco +M5	Pme a spacco	esist.	Assente	M5	2141	40,8	40,8		50	39,78	0,81	18808	6269	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
14		Pme disord. +M5	Pme disord.	esist.	Assente	M5	1937	28,6	28,6		50	21,03	0,35	9759	3253	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
15		Pme a sacco +M5	Pme a sacco	esist.	Assente	M5	2039	24,5	24,5		50	27,53	0,59	13546	4515	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,40	0,60				
16		In c.a.	In c.a.	esist.			2549				50	291,35	22,20	257056	107107	3,00	2,40	1,00	1,20	0,40	0,30	0,80	1,20				

Il foglio dei Tipi di murature è più sintetico perché alcuni dati sono definiti nel foglio della Definizione guidata.

### Altri materiali

Oltre alle murature, il programma consente la definizione di altri materiali che intervengono negli elementi trave, nei rinforzi murari o nelle cerchiature delle aperture:

- calcestruzzi armati,
- barre per c.a.,
- acciai strutturali,
- legni strutturali
- compositi fibrorinforzati.

I materiali vengono descritti con tutti i parametri di interesse per le verifiche di resistenza o per la caratterizzazione dei limiti di duttilità.

### Tipi di sezioni

Per consentire una maggiore libertà nella modellazione di travi o della cerchiatura delle aperture, il programma permette dalla versione V12 di definire anche sezioni trasversali di varie forme per definire

elementi in c.a., in acciaio o in legno. Compaiono anche sezioni per muratura, utilizzate nella descrizioni delle fondazioni che frequentemente possono presentare svasature o allargamenti della base fondale e richiedere quindi l'adozione di sezioni a T rovescio.

Sezioni in muratura								
id	nome	forma	B	H	Bs	Bd	Ht	Hb
1	Ret 400x400	Ret	400,0	400,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Ret 500x500	Ret	500,0	500,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Ret 600x1000	Ret	600,0	1000,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	Tro 600x1000	Tro	600,0	1000,0	300,0	400,0	0,0	500,0

Sezioni in c.a.								
id	nome	forma	B	H	Bs	Bd	Ht	Hb
1	Ret 300x400	Ret	300,0	400,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Ret 300x500	Ret	300,0	500,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Ret 600x210	Ret	600,0	210,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	Rez 300x1200	Rez	300,0	1200,0	0,0	0,0	300,0	300,0
5	Tdi 400x600	Tdi	400,0	600,0	200,0	200,0	200,0	0,0
6	Tro 400x600	Tdi	400,0	600,0	200,0	200,0	0,0	0,0

Sezioni in acciaio								
id	nome	forma	B	H	tw	ta	rr	
1	Quadro 10x10	Pia	10,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Piatto 60x10	Pia	60,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	IPE 100	Ipe	55,0	100,0	4,1	5,7	7,0	
4	IPE 200	Ipe	100,0	200,0	5,6	8,8	12,0	
5	HEA 140	He	140,0	133,0	5,5	8,5	12,0	
6	HEB 140	He	140,0	140,0	7,0	12,0	12,0	
7	HEB 180	He	180,0	180,0	8,5	14,0	15,0	
8	RHS 100x100x5	TubeR	100,0	100,0	5,0	0,0	5,0	
9	CHS 101x5	TubeC	101,6	0,0	5,0	0,0	0,0	

Sezioni in legno				
id	nome	forma	B	H
1	Ret 160x240	Ret	160,0	240,0
2	Ret 200x200	Ret	200,0	200,0
3	Ret 200x400	Ret	200,0	400,0

### 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 di applicano ai pannelli definiti come muro di fondazione.

A partire dalla versione V12 è disponibile per i tipi di fondazione un nuovo parametro che permette di caratterizzare il grado di connessione della tipologia in esame, fra i due estremi della fondazione isolata (ovvero virtualmente senza connessioni) e la fondazione pienamente connessa (ovvero facente parte di un insieme interconnesso a graticcio).

### I tipi di trave

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

Nella versione V12 la modellazione delle travi è stata estesa sotto vari aspetti, sia come arricchimento delle sezioni e del materiale, sia come modellazione e verifica. Le travi in c.a. possono essere rettangolari o a T ed è possibile definirne l'armatura longitudinale e la staffatura su tre zone della luce. Sono inoltre previste travi in acciaio con profilati Ipe, He, angolari o tubolari e travi rettangolari in legno.

E' adesso possibile costituire sistemi di travi a graticcio, ovvero con interconnessioni trave su trave, sia in elevazione (per modellare impalcati o coperture nervate), sia in fondazione (per modellare fondazioni in c.a. connesse nei nodi). La modellazione delle travi consente inoltre di conoscere le sollecitazioni derivanti dai carichi statici e di procedere alla loro verifica come elementi secondari, ovvero come elementi considerati non resistenti nella risposta sismica, ma necessari per i carichi verticali. Per tutti i materiali citati sono previste le griglie di definizione, con tutti i dati meccanici richiesti dalle verifiche.

Tipi di travi						
id	Nome	Materiale	Sezione	afs	afc	afd
1	Trave 30x50 in ds	[CA] C20/25 Rck255	[CA] Ret 600x210	Ø12+Ø8/250	Ø12+Ø8/250	Ø12+Ø8/250
2	Trave 20x30 in legno	[LE] Legno massiccio conifera C24	[LE] Ret 200x400			
3	Trave IPN200 Fe360	[AC] S235/Fe360 (Low strength)	[AC] IPE 100			
4	Trave IPE200 Fe430	[AC] S275/Fe430 (Medium strength)	[AC] IPE 100			
5	Trave HEB200 Fe510	[AC] S355/Fe510 (High strength)	[AC] IPE 100			

La griglia di definizione dei tipi di trave, previste in c.a., acciaio e legno.

### I tipi di impalcati

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 del vano, i dettagli dell'anta (mazzetta, quadro e sguincio) e dell'architrave (freccia, materiale e sezione trasversale).

### I tipi di cordoli

Al cordolo è affidata una duplice funzione: quella di ammorsare 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. ammorsato, con profilati metallici, ecc.), dalla resistenza trasversale di ammorsamento 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 paramenti esterni dei 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. Sono disponibili anche gli intonaci armati di nuova tecnologia (FRCM, SRG e CRM), i placcaggi con fibre in composito o in acciaio (FRP, SRP), le ristilature armate dei giunti con fili di acciaio (RIA) o in fibra (RIF), le cuciture attive in lamine di acciaio pretese (CAM).

Ogni intervento ha i suoi pro e contro, in termini di prestazioni meccaniche, durabilità, invasività o anche di reversibilità quando questa prestazione fosse richiesta. Inoltre, per gli interventi riguardanti edifici di interesse storico, deve essere attentamente valutata la compatibilità generale con le esigenze di tutela e conservazione.

L'affiancamento murario è probabilmente una delle tecniche più antiche e consiste nell'affiancare in aderenza ad una muratura debole, una muratura di nuova costituzione, avendo cura di realizzarne anche la connessione trasversale. In questo modo si realizza una muratura sandwich le cui caratteristiche meccaniche possono ottenersi da una media pesata sugli spessori delle caratteristiche delle murature componenti.

La ristilatura armata consiste nello scarificare i giunti di malta per una profondità di 4-5 cm, facendo passare all'interno di essi una maglia continua di sottili funi in acciaio o in fibra, da solidarizzare alla muratura con connettori trasversali e successivamente da ricoprire con miscele di malta fino al riempimento del giunto. Punti di forza di tale tecnica sono la buona reversibilità dell'intervento e la possibilità di mantenere la muratura a faccia vista, caratteristica molto apprezzata per il rinforzo di murature storiche e di pregio. Il rinforzo è espressamente previsto nella tabella C8.5.II della Cm2019, che definisce i coefficienti correttivi da applicarsi alle caratteristiche di resistenza delle murature rinforzate con tale tecnica, raccomandando per i moduli elastici l'adozione di valori d'incremento ridotti del 50%.

Gli intonaci armati di nuova tecnologia (FRCM, SRG e CRM) ripropongono i concetti di base dell'intonaco armato tradizionale, ma ricollocati nell'ambito di sistemi certificati che consentono di superarne alcuni limiti riconosciuti, quali la durabilità nel tempo, la scarsa traspirabilità e la ridotta compatibilità con strutture murarie di interesse storico-monumentale. La comune rete elettrosaldata viene quindi sostituita da reti in fibra o di acciaio inossidabile, il betoncino dei paramenti si ottiene con malte speciali e le legature vengono realizzate con tecniche e componenti ottimizzati. L'effetto del rinforzo è valutato pannello per pannello, determinando i fattori correttivi delle resistenze e dei moduli elastici della muratura rinforzata, considerando il contributo dovuto alla rete (aree efficaci e resistenza a trazione) e il contributo dovuto ai paramenti (qualità della matrice e relativi spessori).

I placcaggi con fibre in composito (FRP) o reti in acciaio (SRP) sono applicati con matrici organiche (resine epossidiche, poliuteraniche, ecc.) con una disposizione in genere discontinua sulla superficie della muratura, mediante strisce distanziate di una determinata larghezza poste in due direzioni. In questo caso il contributo della matrice è del tutto trascurabile e l'effetto del rinforzo è dovuto esclusivamente all'area efficace delle fibre o della rete metallica.

Il sistema delle cuciture attive (CAM) è costituito da una maglia tridimensionale di nastri in acciaio inox, leggermente pretesi, che producono un effetto di precompressione triassiale sulle murature. Permette buoni incrementi di resistenza e duttilità ed è molto indicato per murature con scarsa connessione trasversale fra i paramenti. Non consente però la conservazione del faccia a vista.

id	Tipo	Nome	Matrice	Rinforzo	Rete	seo	set	alfa	Disposizione	b1	b2	s1	s2	ng	sp
1	---	-	---	---					continua						
2	AMU	Affiancamento murario in ...	---	[Mu] Armata Cls+A1+M12					continua						
3	IAR	Intonaco armato con rete...	cls	[Fe] B450C	ø6 150x150	0,189	0,189	0	continua					4	
4	CAM	Cuciture attive con nastri...	---	[Ac] Aisi 301 Inox		0,800		0	discontinua	20,0	20,0	600,0	800,0	1	10
5	RIA	Ristilatura armata con tre...	---	[Ac] Aisi 304 Inox	ø6 300x300	0,094	0,094	0	continua					5	
6	RIF	Ristilatura armata con tre...	---	[Frp] CFRP (High strength)	ø2 300x300	0,011	0,011	0	continua					5	
7	FRP	Placcaggio Frp in strisce d...	resine	[Frp] CFRP (High strength)		0,120		0	discontinua	100,0	100,0	300,0	300,0	0	
8	SRP	Placcaggio Srp in strisce d...	resine	[Ac] Aisi 304 Inox		0,240		0	discontinua	100,0	100,0	600,0	600,0	0	0
9	FRCM	Intonaco Frcm con rete in...	cls	[Frp] CFRP (High strength)		0,076	0,076	0	continua					1	
10	SRG	Intonaco Srg con rete in ...	cls	[Ac] Aisi 304 Inox		0,240	0,240	0	continua					0	0
11	CRM	Intonaco Crm con rete in...	malte	[Frp] CFRP (High strength)		0,240	0,240	0	continua					4	0

Griglia dei tipi di rinforzo sui paramenti.

### I tipi di armatura per murature armate

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.

### Tipi di armatura per elementi in c.a.

La caratterizzazione degli elementi in c.a. richiede la conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali (calcestruzzo e ferro), la forma e la dimensione della sezione trasversale e l'armatura presente in alcune sezioni significative lungo la luce. Nel caso delle travi si suppone l'armatura variabile in tre zone lungo la luce, mentre per ritti, traversi di cerchiature ed architravi in c.a. si suppone una armatura costante sulla luce.

I tipi di armatura consentono di descrivere posizione e quantità dei tondini presenti ai lembi di una sezione e la sua staffatura, in maniera da rendere possibile calcoli di verifica sia di elementi travi (considerate in quest'ambito come elementi secondari), sia di elementi di cerchiatura.

id	Nome	dfs	nØdf/ps	nØdf/ps	nØdf/ps	nØdf/ps	Øds/ps	pxb/pxh
1	Ø12+Ø8/250	12 12	2ø12/250	2ø12/250	2ø12/250	2ø12/250	ø8/250	400+400
2	Ø16+Ø6/250	16 16	2ø16/250	2ø16/250	2ø16/250	2ø16/250	ø6/250	600+600
3	Ø16+Ø8/150	16 16	2ø16/250	2ø16/250	2ø16/250	2ø16/250	ø8/150	400+400
4	Ø20+Ø8/100	20 20	2ø20/250	2ø20/250	2ø20/250	2ø20/250	ø8/100	400+400

La griglia di definizione dei tipi di armatura da applicare ad elementi in c.a.

## 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 e 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 impedito 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

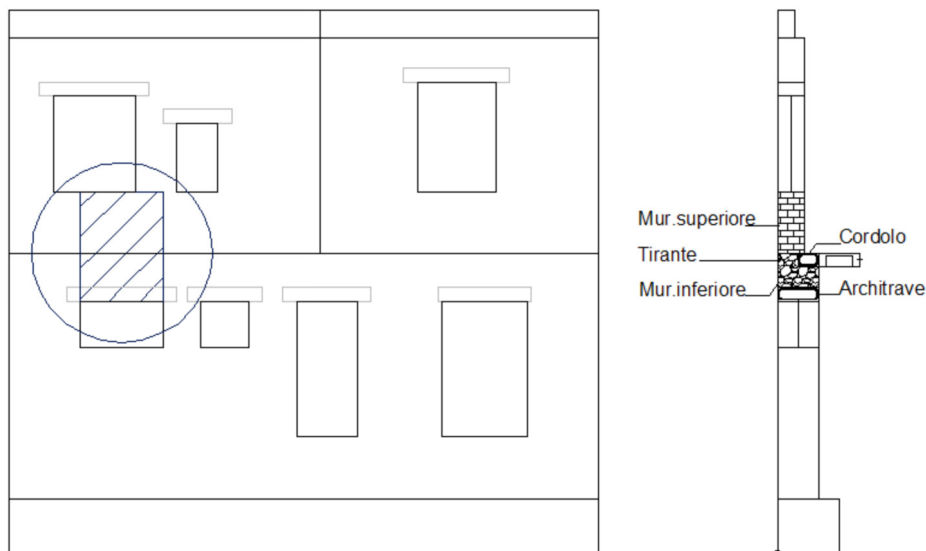
ammorsamento tale da garantire un comportamento scatolare dell'insieme. In queste condizioni infatti, la presenza dei muri trasversali limita notevolmente la rotazione delle sezioni terminali delle murature, rendendo plausibile l'ipotesi di rotazioni impedite al piede e in testa. Inoltre, nel caso di 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 ammorati 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 rototraslazione 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 ammoramento 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.

### Modellazione delle fasce

A partire dalla versione V12 il programma consente la modellazione delle fasce ovvero di quelle porzioni di muratura collocate al di sopra di una apertura ed assimilabili a travi in muratura fra due setti murari consecutivi. La configurazione geometrica dell'elemento può essere molto variabile, essendo composta dalla porzione sopra-finestra del piano inferiore e dalla porzione sottofinestra del piano superiore, che in generale possono presupporre diversità di materiale e spessori. Ma oltre a queste, la fascia può comprendere il cordolo di piano, l'architrave dell'apertura e l'effetto di tirantature presenti.



Identificazione geometrica e componenti di una fascia

Per la modellazione delle fasce il programma contempla le due possibilità:

- fasce non modellate:  
in questo caso si assume che le fasce siano caratterizzate da resistenza e duttilità piuttosto alte, tali da non avere influenza nella risposta sismica dei setti, che in questo caso sono considerati strettamente nello schema statico sheartype;

- fasce modellate:  
in questo caso si assume che le fasce siano caratterizzate da resistenza e duttilità finite, tali da influenzare la risposta sismica dei setti, che in questo caso si discostano dallo schema statico sheartype e mostrino un certo grado di rilassamento del vincolo rotazionale in testa, nella misura stabilita dal concomitante effetto flangia dato dalla connessione negli incroci.

L'attivazione della modellazione delle fasce si fa nella sezione *Sismici* del foglio delle *Opzioni di analisi*.

Modellazione fasce di piano		Modellazione fasce di piano	
Modellazione fasce attivata	<input type="checkbox"/>	Modellazione fasce attivata	<input checked="" type="checkbox"/>
Contributo resistenza del cordolo attivata	<input checked="" type="checkbox"/>	Contributo resistenza del cordolo attivata	<input checked="" type="checkbox"/>
Contributo resistenza dell'architrave attivata	<input checked="" type="checkbox"/>	Contributo resistenza dell'architrave attivata	<input checked="" type="checkbox"/>
Valori di riferimento duttilità	da studi specifici (CM19)	Valori di riferimento duttilità	da studi specifici (CM19)
Soglia duttilità di inizio danneggiamento	0,80	Soglia duttilità di inizio danneggiamento	0,80
Riduzione valori predefiniti della duttilità di collasso	1,00	Riduzione valori predefiniti della duttilità di collasso	1,00
Riduzione vincolo rotazionale per resistenza fascia	1,00	Riduzione vincolo rotazionale per resistenza fascia	1,00
Riduzione vincolo rotazionale per degrado fascia	1,00	Riduzione vincolo rotazionale per degrado fascia	1,00
Riduzione duttilità ultima per degrado fascia	1,00	Riduzione duttilità ultima per degrado fascia	1,00

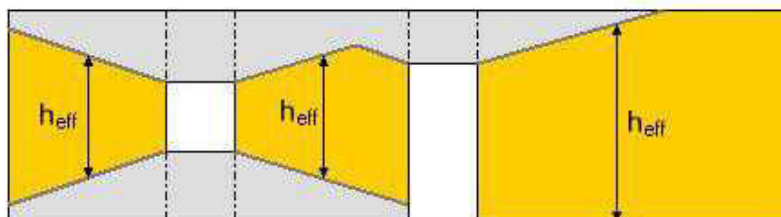
Attivazione della modellazione delle fasce e impostazione dei parametri collegati

Se la modellazione delle fasce non viene attivata, si ottiene un modello di calcolo analogo a quelle delle versioni precedenti alla V12.

Se la modellazione delle fasce viene attivata, diventano attivi i relativi parametri di modellazione che consentono di tener conto del contributo del cordolo e dell'architrave, di riferire i valori di duttilità a studi più o meno conservativi e di modulare gli effetti di rilassamento del vincolo rotazionale e del danneggiamento per degrado fascia.

### 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 un 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).



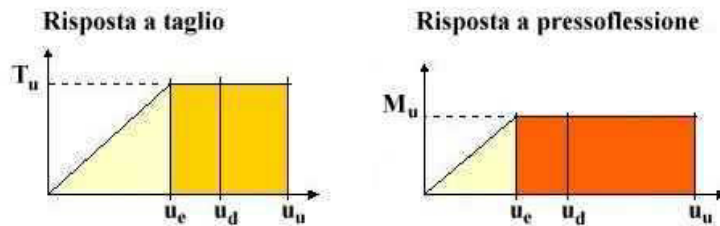
L'altezza netta così valutata interviene in sostituzione dell'altezza di piano nel calcolo della rigidità tagliante e flessionale del setto.

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 rigidità 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 rigidità 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 esalto-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.

### Comportamento meccanico delle fasce

Si suppone che le fasce abbiano un comportamento elastico perfettamente plastico (analogo a quello dei setti), definito da una resistenza ultima (a taglio e a pressoflessione longitudinale) e dai corrispondenti valori ultimi di deformazione.

La modellazione delle fasce coinvolge due aspetti distinti: il primo riguarda l'accertamento del vincolo rotazionale che la fascia è in grado di conferire al maschio sottostante, il secondo gli effetti di danneggiamento dovuti al degrado delle fascia sugli elementi ad essa collegati.

### Valori resistenti

La fascia è un elemento piuttosto complesso da modellare in quanto oltre alle difficoltà di ordine geometrico connesse con l'eventuale disallineamento delle aperture fra il livello inferiore e superiore, possono coesistere anche diversità di materiale e spessore e i contributi di eventuali architravi, cordoli e tiranti.

Per trattare questi aspetti nel programma si adottano le seguenti formule generalizzate:

$$T_u = f_{vmo,i} h_i t_i + f_{vmo,s} h_s t_s + V_{t,cor} + V_{t,arc} \quad \text{taglio ultimo resistente}$$

$$M_u = H_p h_o / 2 (1 - H_p / (0.85 f_{hd,s} h_s t_s + 0.85 f_{hd,i} h_i t_i)) \quad \text{momento ultimo resistente}$$

in cui:

$h_i t_i$   $h_s t_s$  altezza e spessore della parte di sezione in muratura afferente al livello inferiore/superiore,  
 $f_{vmo,i}$   $f_{vmo,s}$  resistenza di progetto a taglio in assenza di compressione della muratura inferiore/superiore,  
 $V_{t,cor}$   $V_{t,arc}$  resistenza di progetto a taglio del cordolo e dell'architrave,  
 $h_o$  altezza della sezione complessiva omogeneizzata, ovvero:  $h_o = h_s t_s + h_i t_i / t_i$   
 $f_{hd,i}$   $f_{hd,s}$  resistenza di progetto a compressione orizzontale della muratura inferiore,  
 che in via approssimata può essere assunta pari a a quella in direzione verticale.

$H_p$   $\min(H_{et}, H_{mu})$  in cui:

$H_{et}$  capacità a trazione dell'elemento teso disposto orizzontalmente,

$H_{mu}$  capacità a trazione dovuta al meccanismo di ingranamento dei blocchi di muratura,

$$H_{mu} = \min(f_{bt}/2, 0.40 f_{hd,i} h_i t_i) + \min(f_{bt}/2, 0.40 f_{hd,s} h_s t_s)$$

in cui:

$f_{bt}$  resistenza a trazione dei blocchi in direzione orizzontale,  
 un valore approssimato è indicato in C8.7.1.3.1.1/Ntc18:

$$f_{bt} = 0.1 f_b$$

essendo  $f_b$  la resistenza a compressione dei blocchi in direzione orizzontale.

Nel caso di analisi pushover le resistenze sono assunte nel loro valore medio.

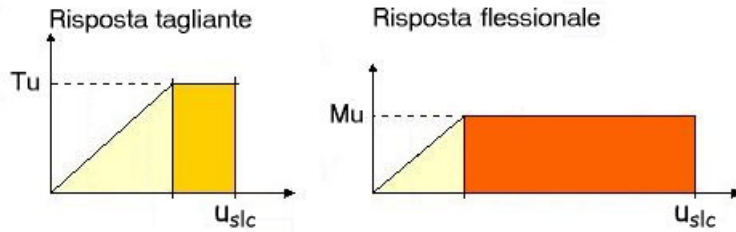
### Limiti di duttilità

I limiti di duttilità della fascia sono espressi in rapporto alla sua luce, facendo riferimento a due fonti principali, che il progettista può selezionare nel foglio delle Opzioni di Analisi:

- i più recenti studi sperimentali sulle fasce (Beyer, Cattari, Mangalathu e altri), recepiti in CM2019,  $u_{SLC} = 0,015 - 0,020$  a pressoflessione in presenza di elemento resistente a trazione,

- $u_{SLC} = 0.015$ . a taglio
- le disposizioni relative ai maschi estese per analogia alle fasce, riportate in Ntc2018:
  - $u_{SLC} = 0,010 - 0.016$  a pressoflessione per muratura ordinaria/armata,
  - $u_{SLC} = 0.005 - 0.005$ . a taglio per muratura ordinaria/armata.

In aggiunta, l'utente può impostare un fattore riduttivo nel caso volesse adottare valori più cautelativi rispetto a quelli predefiniti.

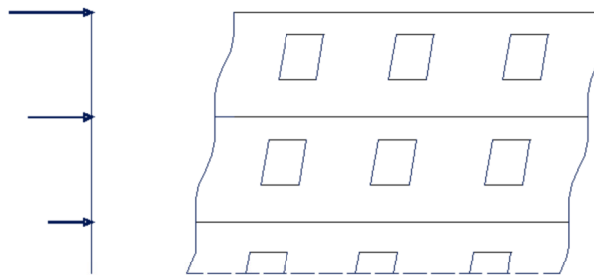


**Sollecitazioni agenti nelle fasce**

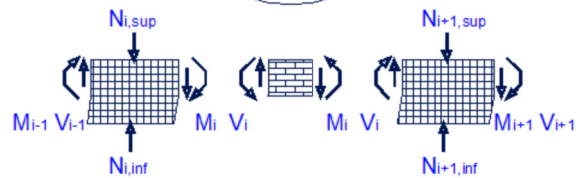
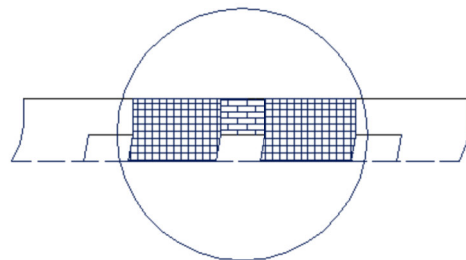
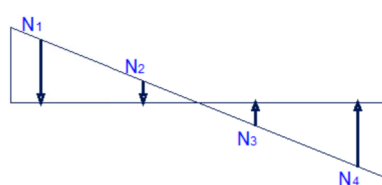
Nel corso dell'analisi pushover vengono costantemente valutate le sollecitazioni di taglio e momento agenti nelle fasce e la duttilità raggiunta in esse in termini di rotazione plastica.

Innanzitutto si determinano per ogni passo di carico la distribuzione degli sforzi normali nei maschi che equilibrano le forze orizzontali sismiche, adottando un modello cinematico tridimensionale che assicuri la congruenza degli spostamenti verticali di punti adiacenti, ma appartenenti a pareti diverse, per tener conto delle connessioni d'angolo fra le pareti, ovvero del cosiddetto effetto flangia, fondamentale nelle strutture in muratura perché è alla base del comportamento scatolare.

Forze di piano



Sforzi normali da sisma



Schema delle sollecitazioni fra fascia e maschi adiacenti

Schema di equilibrio fra forze sismiche e sforzi assiali

Noti gli sforzi normali nei maschi è possibile determinare il taglio  $V_i$  nella  $i$ -esima fascia imponendo l'equilibrio alla traslazione verticale nel maschio che precede la fascia in esame

$$V_i = V_{i-1} + N_{i,inf} - N_{i,sup}$$

Il valore del momento all'estremità delle fasce discende dall'equilibrio alla rotazione dell'elemento:

$$M_i = V_i l_i / 2$$

**Accertamento del vincolo rotazionale**

L'accertamento del vincolo rotazionale può essere valutato in modo semplificato in funzione del rapporto fra la capacità resistente complessiva delle due fasce collegate al maschio e il momento resistente del maschio stesso, tenendo conto quando presenti delle connessioni d'angolo con muri trasversali. In funzione di questo effetto il maschio può subire un effetto di rilassamento del vincolo rotazionale in testa allontanandosi dalla soluzione sheartype.

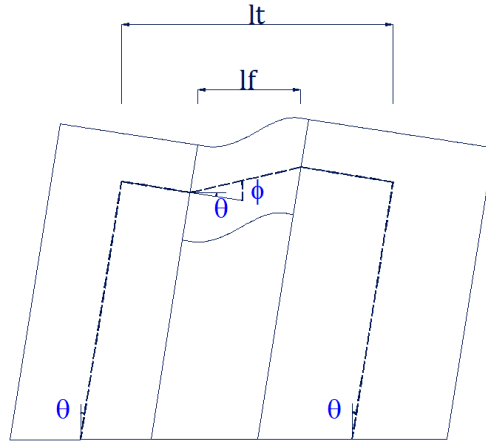
**Effetti del danneggiamento delle fasce**

L'effetto dovuto al degrado delle fasce è invece dovuto all'accumulo della deformazione plastica nella fascia misurato con la deformazione angolare  $\phi$ , che può essere messa in relazione con la deformazione angolare

dei maschi  $\theta$ ; nell'ipotesi che le porzioni dei pannelli lateralmente alla fascia mostrino un comportamento rigido e che la deformazione si concentri tutta nella fascia:

$$\phi = \theta \cdot l_t / l_f$$

in cui  $l_t$  e  $l_f$  sono rispettivamente luce fra gli assi dei maschi e la luce della trave di muratura.



*Deformata elastoplastica di un portale murario*

Nel corso dell'analisi pushover è possibile quindi controllare la deformazione della fascia, comparando il drift raggiunto al passo con i valori limiti di collasso assunti per l'elemento, in funzione delle impostazioni eseguite nelle Opzioni di Analisi. Il collasso è raggiunto la prima volta che la fascia raggiunge la duttilità limite impostata. Gli effetti del degrado della fascia sono applicati come danneggiamento degli elementi maschi ad essa collegati in due modalità distinte e cumulabili:

- in termini di degrado del vincolo rotazionale in testa ai maschi con conseguente calo di resistenza,
- in termini di riduzione della duttilità di collasso dei maschi.

In entrambi i casi gli effetti sono regolabili con i due parametri a discrezione del progettista, variabili con continuità da 0 a 1:

- fattore riduttivo del degrado rotazionale:  $0 = \text{effetto nullo}, 1 = \text{effetto predefinito},$
- fattore riduttivo del degrado duttilità:  $0 = \text{effetto nullo}, 1 = \text{effetto predefinito}.$

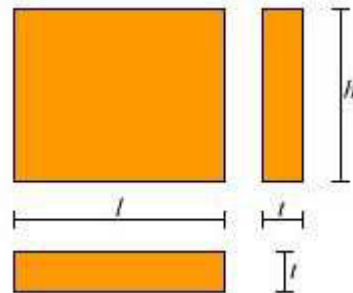
In termini di modalità l'effetto del degrado della fascia può essere applicato:

- in modo pressoché concentrato in prossimità del collasso,
- in modo distribuito a partire da una soglia predefinita di duttilità.

**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

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



**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
- $\varphi$  è l'angolo di resistenza a taglio della muratura (valore consigliato  $\tan\varphi=0.4$ )
- $\sigma_n$  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:
 
$$f_{vm} = \frac{1.5 f_{vm0}}{k_b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_n}{1.5 \cdot f_{vm0}}}$$
- $f_{vm0}$  è la resistenza tangenziale media di calcolo per carico verticale nullo  
 $f_{vm0} = f_{vko}/(0.7 \cdot \gamma_c)$
- $\gamma_c$  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
- $\sigma_n$  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
- $\gamma_c$  è un fattore riduttivo per le resistenze (fattore di confidenza),
- $\sigma_n$  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 Opdm 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:

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

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

in cui:

$d_{kD}$  e  $d_{kU}$  sono le duttilità limite (di danno e ultima) assegnati per il tipo di muratura,  
 $\gamma_d$  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 Norme in vigore, si considerano i seguenti stati limite, ridefiniti nel rispetto delle condizioni introdotte dalla C.M. 2019:

**Slo stato limite di operatività,**

si suppone che lo stato limite sia raggiunto quando si verifica la condizione:

- raggiungimento di uno spostamento relativo d'interpiano pari a 2/3 del valore limite Sld; (p. C7.8.1.5.4 e p.C8.7.1.4);

**Sld stato limite di danno,**

si suppone che lo stato limite sia raggiunto quando si verifica una delle due seguenti condizioni:

- raggiungimento della massima forza;
- raggiungimento di uno spostamento relativo d'interpiano pari al valore limite Sld; (p. C7.8.1.5.4);

**Slv stato limite di salvaguardia vita,**

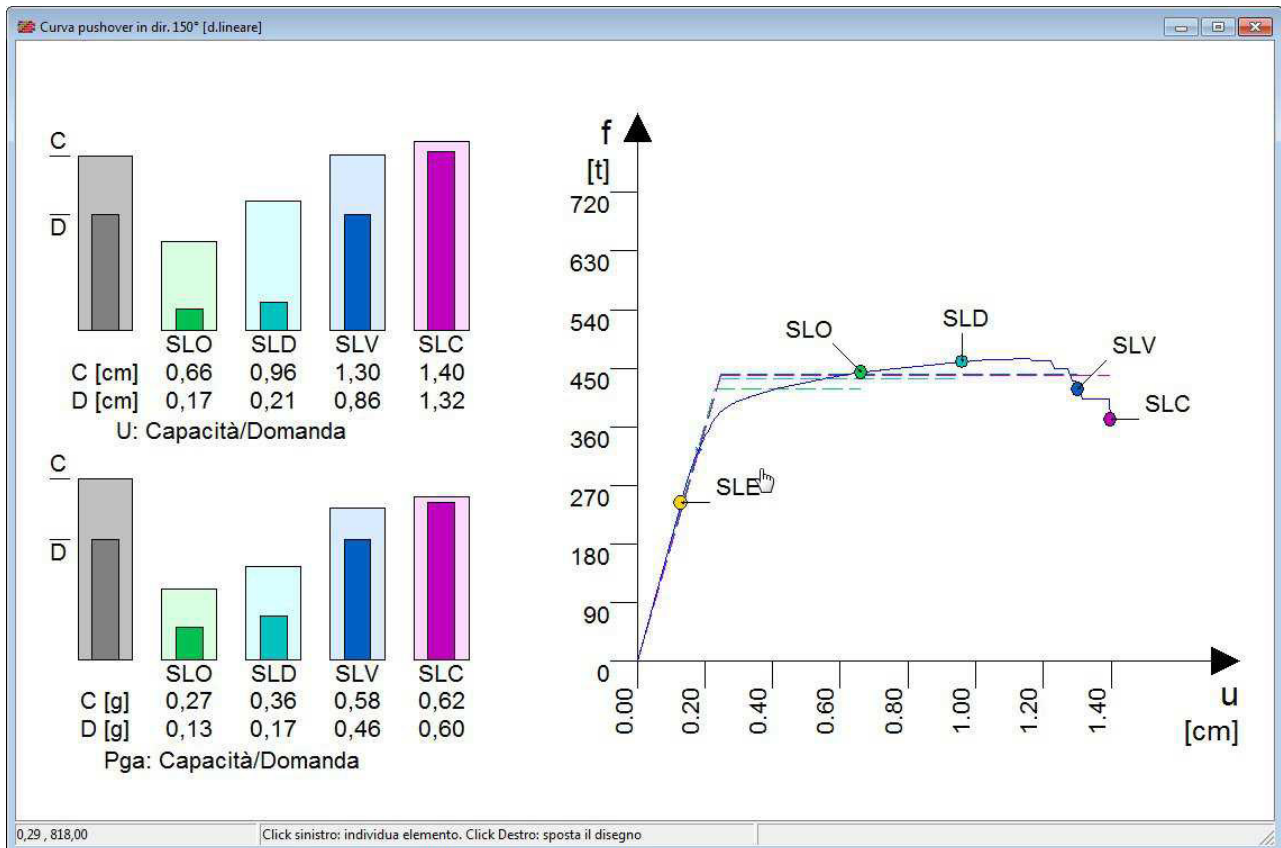
si suppone che lo stato limite di salvaguardia vita sia raggiunto quando si verifica la condizione che lo spostamento è pari a 3/4 dello spostamento allo SLC (p. C7.8.1.5.4);

**Slc stato limite di collasso,**

si suppone che lo stato limite sia raggiunto quando si verifica una delle due seguenti condizioni:

- riduzione della forza resistente ad una aliquota (max 80%) del valore massimo;
- collasso di tutti i maschi murari di un livello in una parete significativa per la sicurezza. (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.

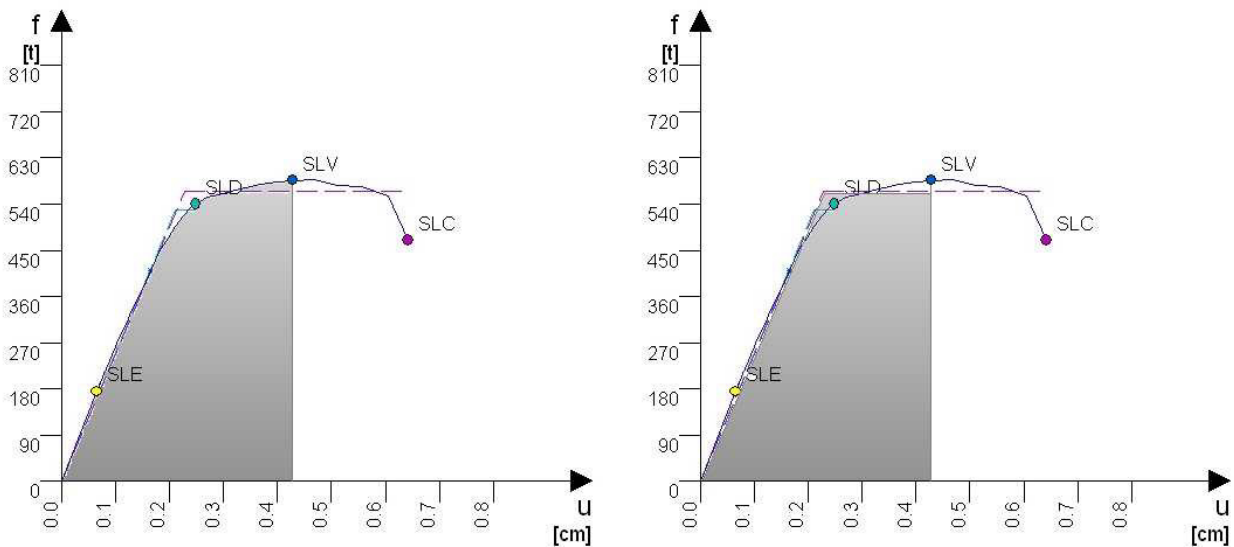


L'analisi pushover porta alla costruzione della curva di capacità, che esprime la relazione fra forza applicata e relativo spostamento orizzontale. Nell'analisi secondo Ntc08, sono evidenziati i punti di raggiungimento degli stati limite di operatività (SLO), di danno (SLD), salvaguardia vita (SLV) e 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 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.

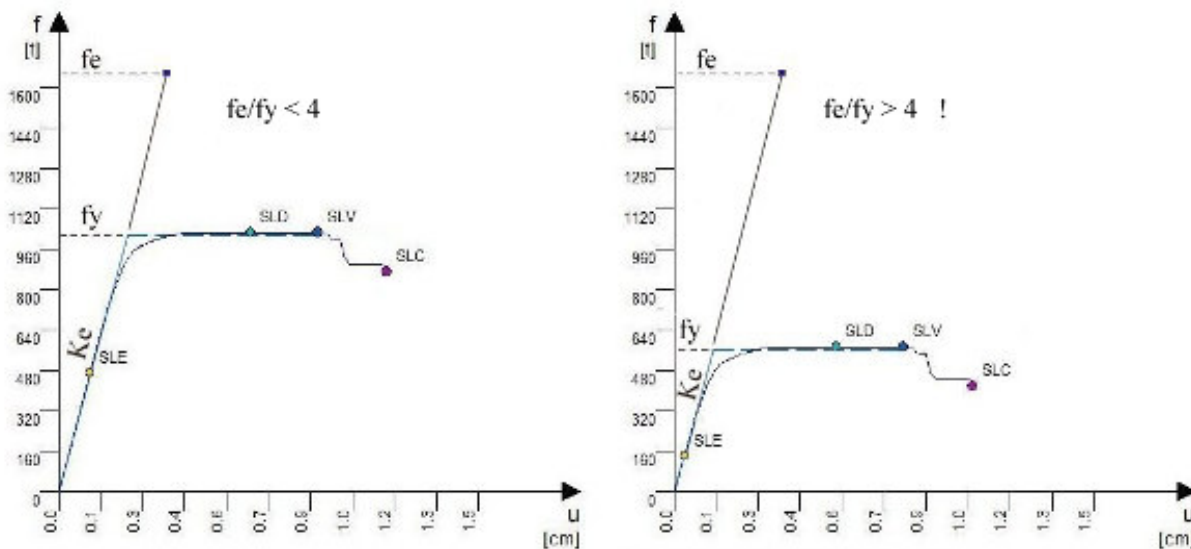
**Verifica pushover secondo Ntc18**

La verifica secondo Ntc18 consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo della costruzione e la domanda di spostamento (Ntc18 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 (Ntc18 7.3.4.2, 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 fe/fy**

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 4:

$$q_e = f_e / f_y \leq 4$$



Significato meccanico della verifica  $f_e/f_y$

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  $f_e/4$ . 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.

**Il quadro generale delle verifiche**

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

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

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.

### 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 predispose 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
- Verifica dell'eccentricità trasversale e longitudinale
- Verifica a taglio per azioni statiche
- Verifica pressoflessione trasversale e longitudinale
- Verifica a ribaltamento per azioni statiche e sismiche
- Verifica dei tiranti a trazione a punzonamento
- Verifica delle tensioni in fondazione
- Verifica a scorrimento sul piano di fondazione
- Verifica dei cedimenti e delle distorsioni in fondazione

### 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 ammorsamento negli incroci, tendono a mostrare un comportamento scatolare con forte rigidezza torsionale, in analogia ad una sezione pluriconnessa. Interviene inoltre l'effetto dei solai, che in virtù dell'elevata rigidezza nel loro piano esaltano ulteriormente il comportamento d'insieme.

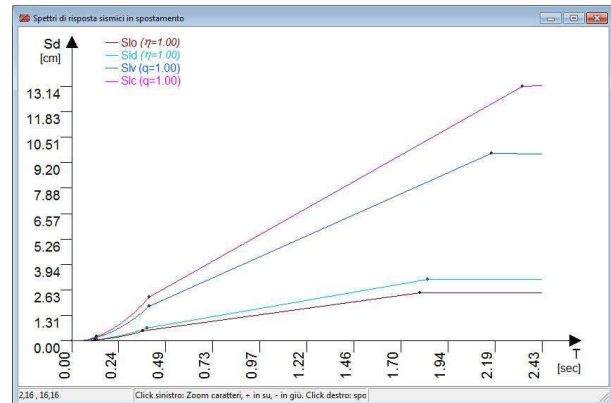
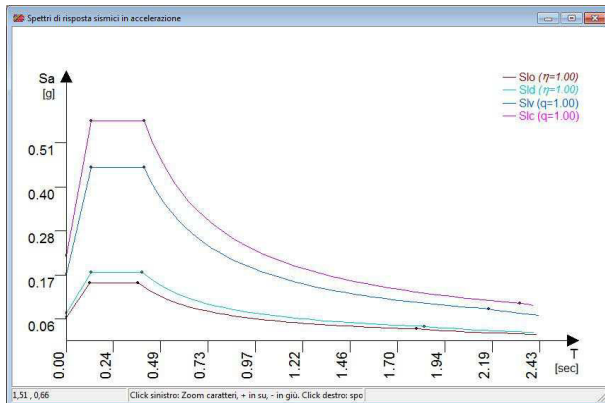
In queste verifiche, lo stato di crisi non è direttamente collegato alla crisi locale del singolo setto, ma piuttosto al raggiungimento di condizioni limite predefinite, valutate su una scala più ampia. Tali condizioni sono regolamentate dalla normativa con la definizione degli stati limite di interesse (SLD, SLV, SLC per Ntc18, 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

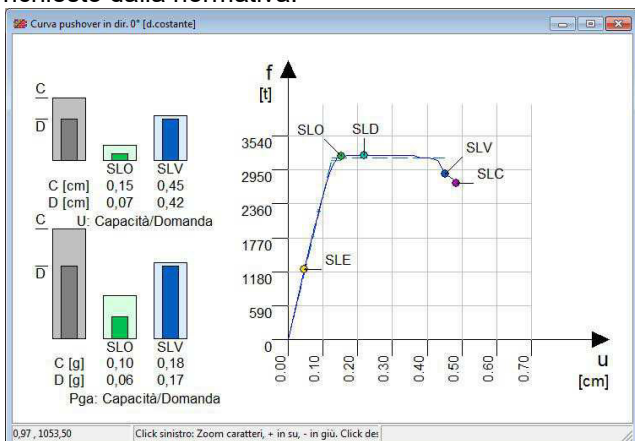
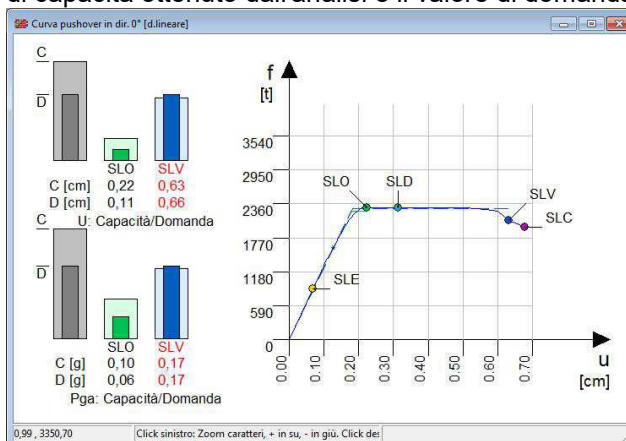
Sono visibili gli spettri di risposta previsti dal sistema normativo selezionato, in termini di accelerazione o di spostamento, sui quali ad analisi conclusa, sono riportati i punti di lavoro delle analisi effettuate.



Vista degli spettri di risposta in accelerazione e spostamento per sistema normativo Ntc18.

### 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.



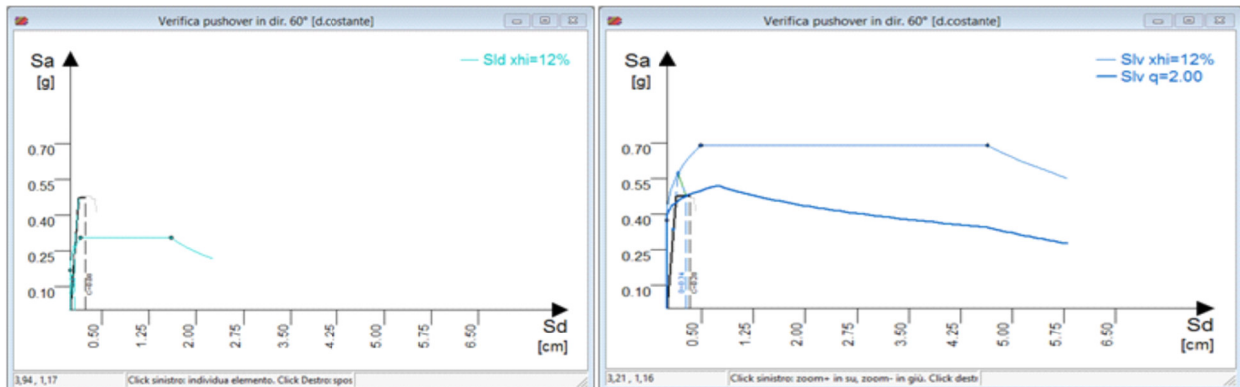
Vista di due curve di capacità relative ad una stessa struttura: entrambe riferite all'orientazione sismica a 0° (dir.X), ma a differenti distribuzioni delle forze sull'altezza. Sulle curva sono evidenziati i punti di degli stati limite e gli schemi bilineari equivalenti. Visibili sulla sinistra gli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

### Verifica pushover nel piano ADSR

La valutazione della domanda di spostamento può essere perseguita con una procedura grafica, che fa scaturire la domanda di spostamento dall'intersezione fra la curva di capacità dell'oscillatore equivalente ad un grado di libertà (chiamata anche spettro di capacità) e lo spettro di risposta inelastico (chiamato anche spettro di domanda), quando queste siano plottate nel piano ADSR (Acceleration Displacement Response Spectrum).

Nel piano l'intersezione fra lo spettro di capacità e lo spettro di domanda è detto punto di funzionamento ed esprime la prestazione sismica richiesta al sistema inelastico, che da una parte deve appartenere alla curva di capacità per essere fisicamente rappresentativo delle risorse strutturali, dall'altra appartenere allo spettro di risposta inelastico per poter rispondere al sisma regolamentare.

La verifica consiste nel tracciare nel piano ADSR lo spettro di capacità e lo spettro inelastico per il valore di smorzamento determinato per la scansione in esame, trovare la loro intersezione e determinare così la domanda di spostamento.



Verifica pushover nel piano ADSR per una data scansione (60°, distribuzione costante) per Sld e Slv

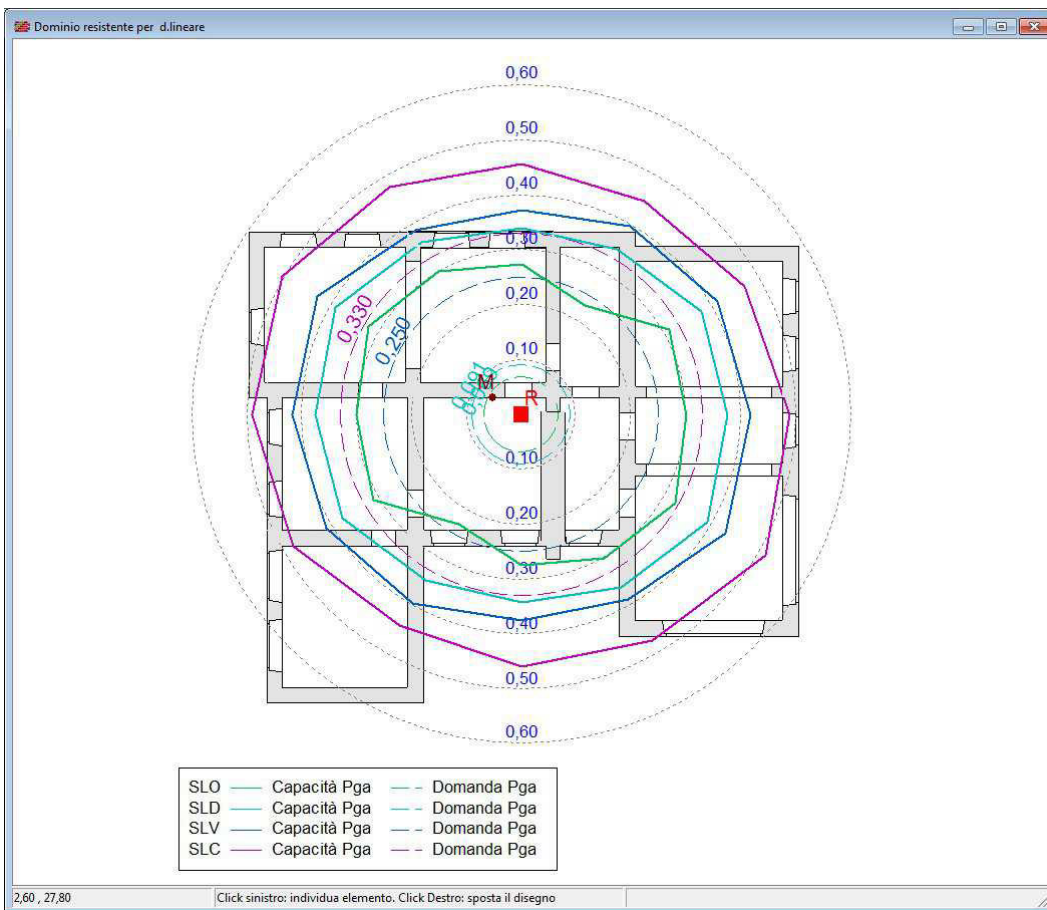
### I domini di resistenza sismica

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.

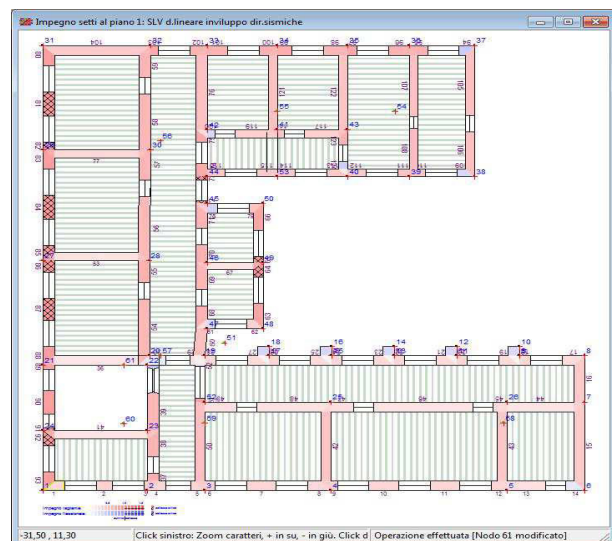
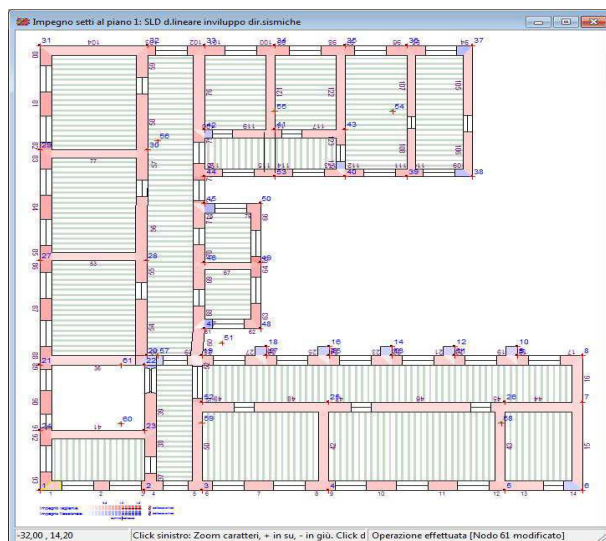
I domini di resistenza riportati in grafico dipendono dal sistema normativo sismico selezionato: nel caso di analisi sismica secondo il Dm96 sono riportati il dominio elastico, di fessurazione ed ultimo. Nel caso di analisi sismica secondo Dm18 sono riportati invece i domini di danno, salvaguardia vita e collasso, valutati per una doppia distribuzione di forze sismiche sull'altezza dell'edificio.



Vista dei domini di resistenza ottenuti con analisi pushover secondo Ntc18.

### 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.

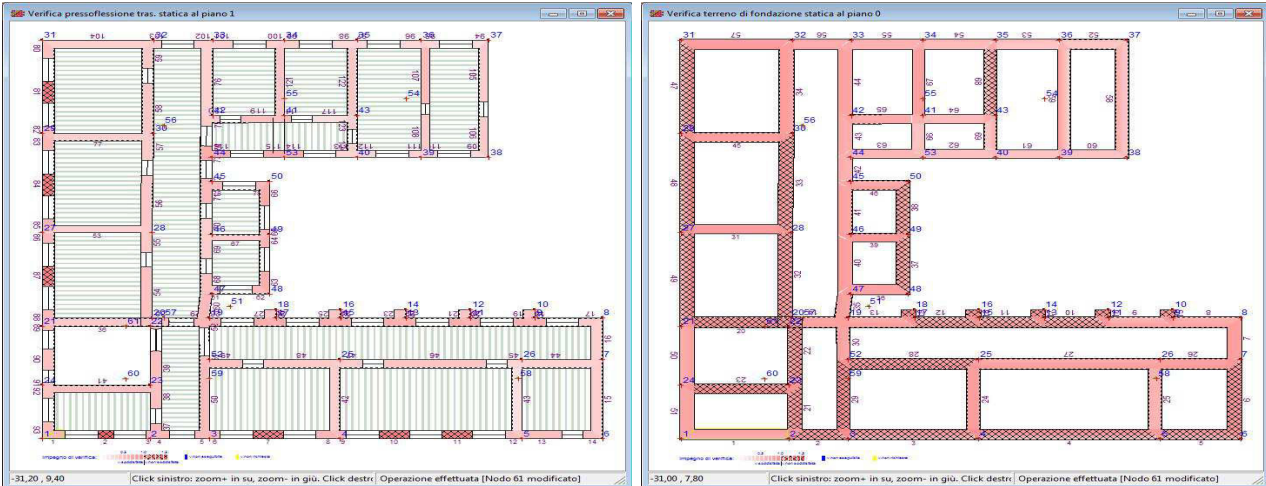


Mappe di impegno sismico per SLD e SLC ottenute con analisi pushover secondo Ntc08. I maschi critici, che condizionano l'esito della verifica per lo stato limite indicato, sono evidenziati con doppia retinatura. Cliccando col mouse si ottengono i valori numerici di duttilità.

### 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 a 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.



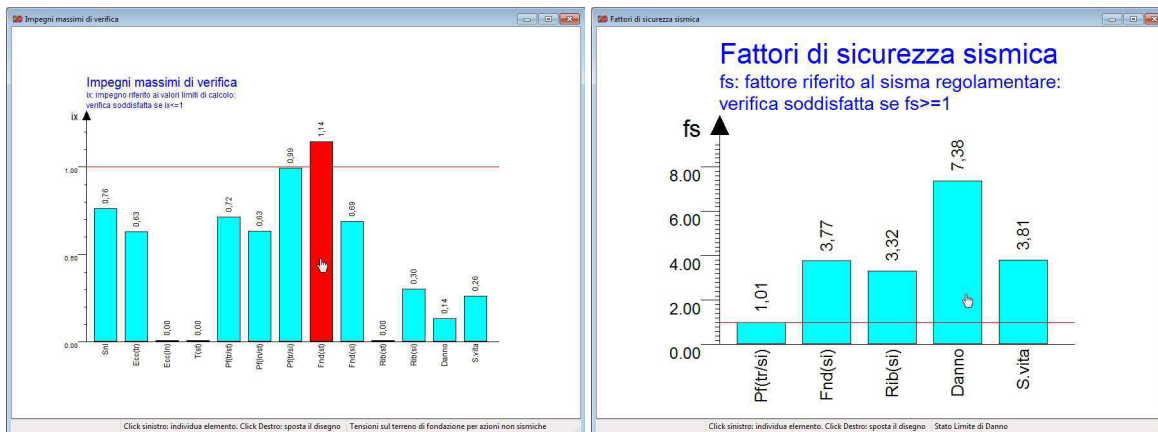
Mappe di impegno per le verifiche a pressoflessione trasversale statica e delle tensioni sul terreno di fondazione.

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

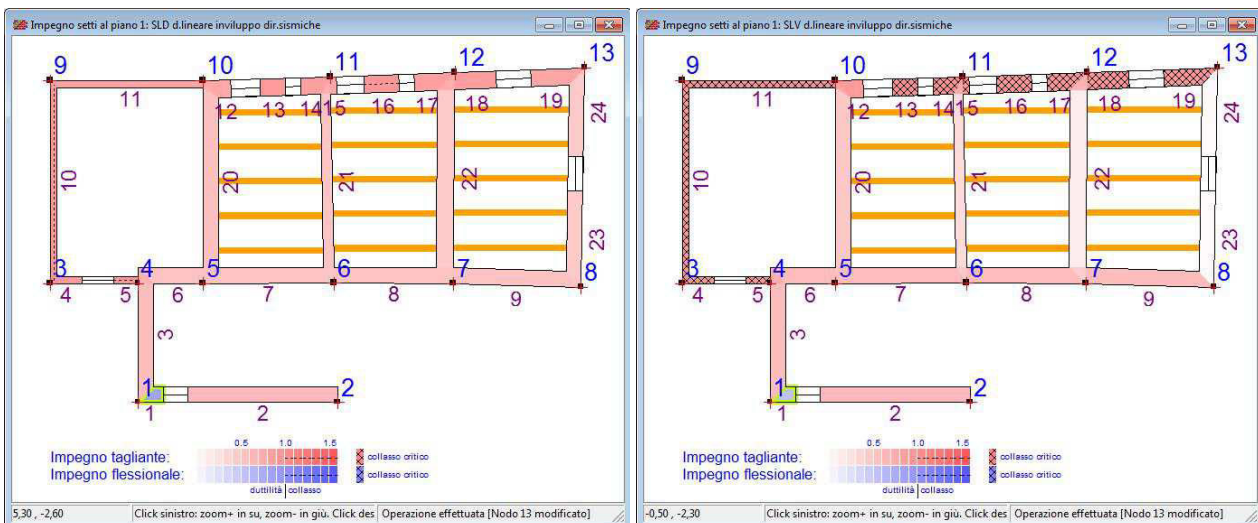
prematuramente ad uno stato limite, condizionando il risultato finale. Elementi che non soddisfano le verifiche locali possono invece essere localizzati nelle mappe di impegno verifiche. Una volta individuate i punti di debolezza, si può predisporre un piano di rinforzi e rieseguire l'analisi.

## 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. 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. Informazioni di maggiore dettaglio si ottengono dall'esame dei domini di resistenza sismici e dalle mappe di impegno, sia per le verifiche locali, sia per le verifiche sismiche pushover.

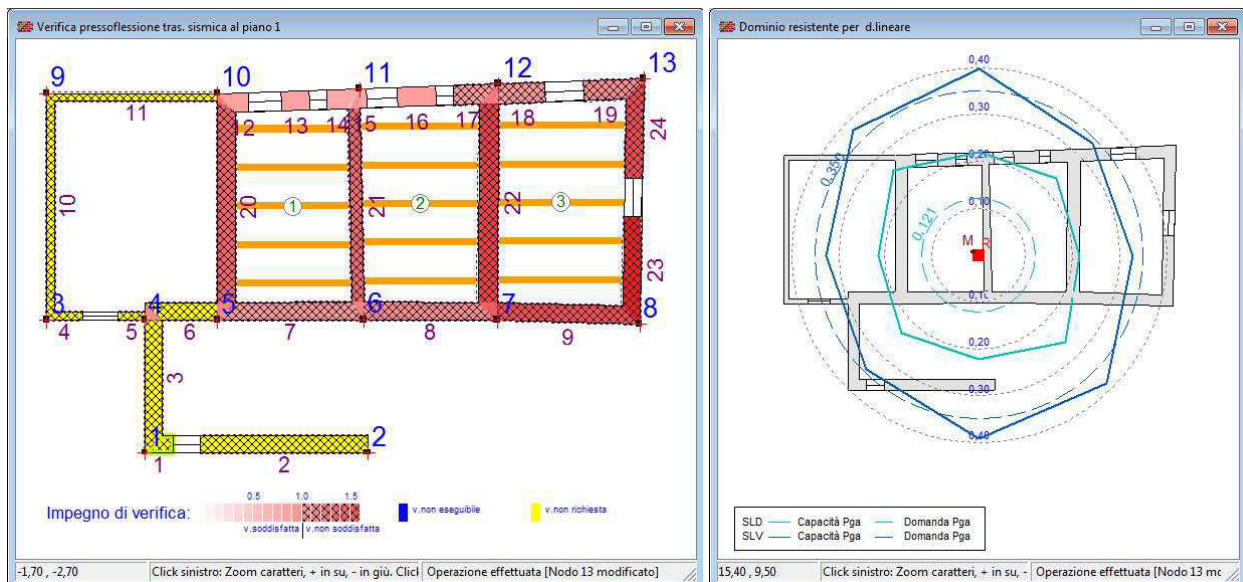
### L'individuazione degli elementi più impegnati

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.



*Il controllo delle mappe di impegno sismico per gli stati limite Sld e Slv, che evidenziano i i setti più critici.*

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.



Il controllo della mappa di impegno per la verifica a pressoflessione trasversale sismica e i domini di resistenza.

### 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), la ristilatura armata e l'intonaco armato con reti in fibra 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.

## 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 classe di rischio richiesta nelle pratiche di agevolazione fiscale note come Sismabonus, per interventi di miglioramento o di adeguamento sismico.

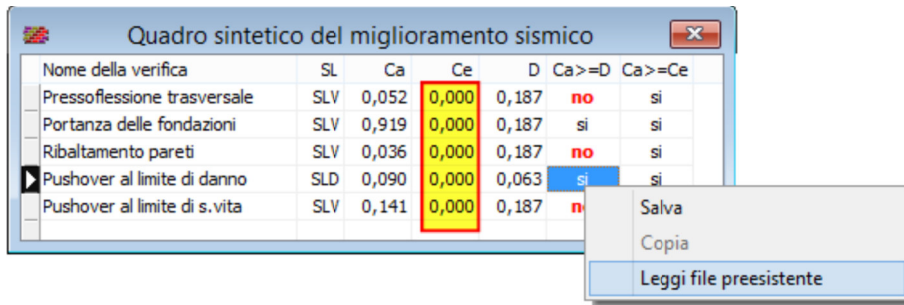
### Il miglioramento sismico

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.

### Ottenimento facilitato delle capacità sismiche allo stato di fatto in interventi di miglioramento

La dimostrazione del miglioramento sismico richiede la modellazione della struttura allo stato di fatto (senza interventi di rinforzo) e allo stato futuro (con interventi di rinforzo). Tipicamente l'utente prepara la modellazione dello stato di fatto, esegue l'analisi e, una volta ottenuti i fattori di sicurezza, chiude la prima sessione di lavoro. Esegue quindi una copia del file e procede con una seconda sessione di lavoro, progettando un piano di rinforzi tale da consentire il raggiungimento del grado di miglioramento prefissato. In questa fase è utile avere a disposizione, per confronto, le capacità in Pga della struttura nello stato di fatto. Questi valori si possono imputare manualmente nel *Quadro sintetico del miglioramento sismico* (colonna Ce), ma con la nuova versione è anche possibile la lettura da file, che fa risparmiare tempo ed evita possibili errori.



Il controllo del miglioramento sismico confronta la capacità attuale con la domanda di normativa e con la capacità esistente. I valori di capacità di edifici esistenti possono essere digitati direttamente oppure caricati da lettura file.

### Calcolo della classe di rischio secondo il Dm n.58/2017 (Sismabonus)

Il Decreto Ministeriale n.58/2017 fissa le linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni, nonché le modalità per l'attestazione da parte dei professionisti abilitati, dell'efficacia degli interventi effettuati, anche ai fini dell'ottenimento dei benefici fiscali, noti col termine di "Sismabonus".

Nell'Allegato A al decreto citato sono indicati i criteri per la determinazione della classe di rischio di un edificio, che può essere condotta secondo due metodi alternativi.

Il primo è il cosiddetto **metodo convenzionale**, applicabile a qualsiasi tipologia di costruzione, basato sull'applicazione dei normali metodi di analisi previsti dalle Ntc08, che permette di valutare la classe di rischio della costruzione, sia nello stato di fatto sia nello stato conseguente all'eventuale intervento, consentendo il miglioramento di una o più classi di rischio.

Il secondo è un **metodo semplificato**, applicabile solo alle costruzioni in muratura, che consente di valutare la classe di rischio sulla base di una classificazione macrosismica dell'edificio e può essere utilizzato sia per una valutazione preliminare di massima, sia per l'accesso ai benefici fiscali, limitatamente però alla messa in opera di interventi di tipo locale (riguardanti cioè singole parti o elementi strutturali, in genere localizzati in porzioni limitate della costruzione), consentendo al massimo il miglioramento di una sola classe di rischio.

Per la generalità di applicazione e per la maggiore affidabilità dei dati di riferimento, nel programma è stato implementato il metodo convenzionale, che sfrutta in pieno i risultati ottenuti dall'analisi sismica, sia per il comportamento d'insieme della costruzione, mediante l'analisi pushover, sia per i meccanismi di crisi locale.

I dettagli implementativi sono stati sviluppati in accordo con le linee guida pubblicate nell'Allegato A al Decreto, nel quale sono definite otto classi di rischio, da A+ a G, ordinate a rischio crescente. Per la determinazione della Classe di rischio si fa riferimento a due parametri:

- la Perdita Annua Media attesa (PAM) associato alle perdite economiche prevedibili per i danni strutturali e non strutturali e riferite al Costo di Ricostruzione (CR), corrispondente alla quota annua del costo di riparazione dei danni prodotti dai probabili eventi sismici nel corso della vita di costruzione;
- l'indice di sicurezza (IS-V) della struttura, rappresentato dal rapporto capacità/domanda in Pga (Peak Ground Acceleration) per lo stato limite di salvaguardia vita Slv.

Il parametro PAM si ricava costruendo la curva delle perdite economiche dirette in funzione della frequenza media annua di superamento e calcolando l'area da essa sottesa. Il parametro IS-V è invece direttamente disponibile nei risultati di calcolo e corrisponde al fattore di sicurezza minimo registrato per lo stato limite Slv, nella verifica pushover e nelle altre verifiche locali (pressoflessione trasversale, ribaltamento pareti, portanza fondazione).

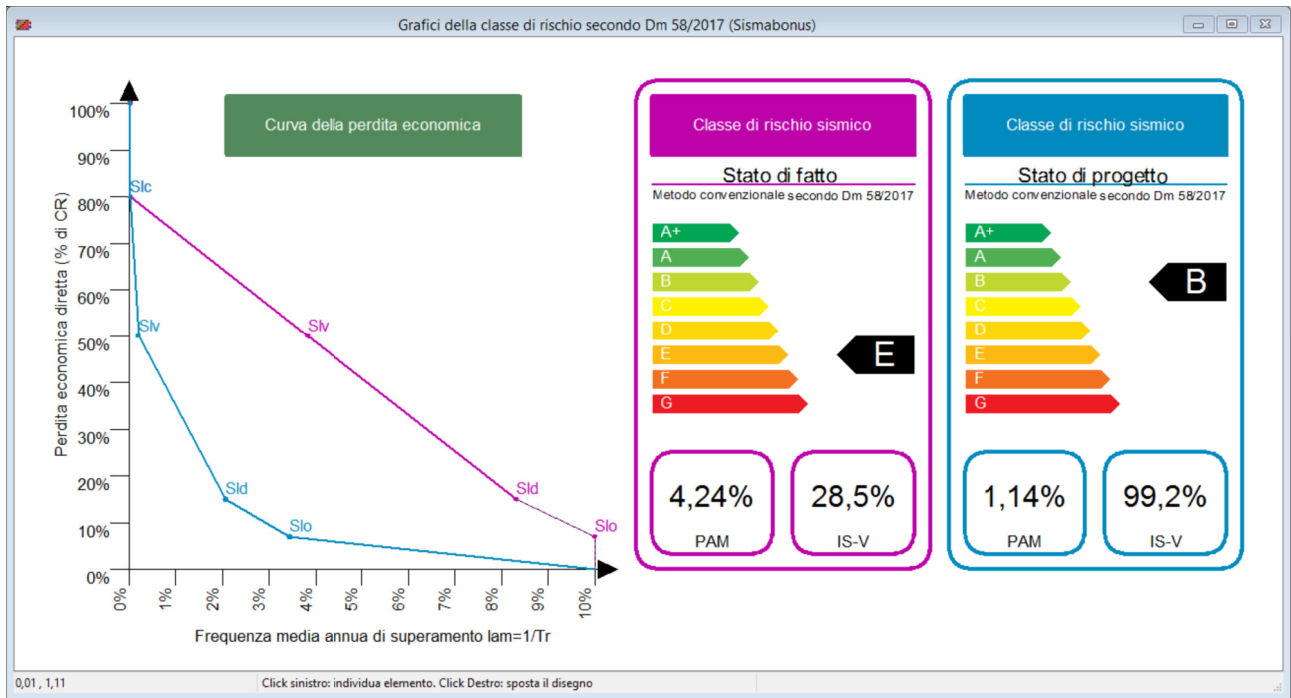
In funzione dei parametri PAM e IS-V si ottengono per correlazione rispettivamente la Classe Pam e la Classe IS\_V, la più gravosa delle quali rappresenterà la Classe di Rischio.

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
100% < IS-V	A <sup>+</sup> <sub>IS-V</sub>
100% ≤ IS-V < 80%	A <sub>IS-V</sub>
80% ≤ IS-V < 60%	B <sub>IS-V</sub>
60% ≤ IS-V < 45%	C <sub>IS-V</sub>
45% ≤ IS-V < 30%	D <sub>IS-V</sub>
30% ≤ IS-V < 15%	E <sub>IS-V</sub>
IS-V ≤ 15%	F <sub>IS-V</sub>

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
PAM ≤ 0,50%	A <sup>+</sup> <sub>PAM</sub>
0,50% < PAM ≤ 1,0%	A <sub>PAM</sub>
1,0% < PAM ≤ 1,5%	B <sub>PAM</sub>
1,5% < PAM ≤ 2,5%	C <sub>PAM</sub>
2,5% < PAM ≤ 3,5%	D <sub>PAM</sub>
3,5% < PAM ≤ 4,5%	E <sub>PAM</sub>
4,5% < PAM ≤ 7,5%	F <sub>PAM</sub>
7,5% ≤ PAM	G <sub>PAM</sub>

Nel programma il risultato dell'elaborazione è disponibile in forma grafica, con la costruzione della curva delle perdite dirette e delle etichette di attestazione della classe di rischio per la struttura soggetta ad analisi. Se nel foglio del miglioramento sismico fossero stati caricati i risultati di verifica della struttura allo stato di

fatto, il programma produrrà i grafici di entrambi gli stati (stato di fatto e stato di progetto), così da permettere il confronto visivo e l'immediata percezione del guadagno conseguito in termini di classi con gli interventi di rinforzo.



Grafici relativi alla classe di rischio per lo stato di fatto e di progetto. Come si può facilmente vedere dalle due etichette, la struttura allo stato di progetto (ovvero dopo l'applicazione degli interventi di rinforzo) raggiunge la classe B, guadagnando tre classi rispetto allo stato di fatto di classe E.

In termini numerici i risultati sono riportati in una griglia a video e in forma tabellare nella relazione di stampa.

Stato	PgaSlc	PgaSlv	PgaSld	PgaSlo	TrSlc	TrSlv	TrSld	TrSlo	Pam	Isv	Cpam	Cisv	Cris
Stato di fatto	26.1/18.4	4.1/14.3	1.7/6.0	1.3/4.6	2875/975	26/475	12/50	9/30	4,24	28,5	E	E	E
Stato di progetto	30.1/18.4	14.2/14.3	6.0/6.0	4.6/4.6	3000/975	459/475	48/50	29/30	1,14	99,2	B	A	B

Griglia dei valori di calcolo della classe di rischio per lo stato di fatto e di progetto. La tabella è anche riportata nel tabulato di stampa e contiene i dati principali che intervengono nel calcolo della classe di rischio.

### La vulnerabilità sismica secondo le verifiche di tipo LV1 della DPCM 9/2/2011

E' possibile, inoltre, eseguire l'analisi di vulnerabilità sismica secondo le indicazioni per le verifiche di livello LV1, riportate nelle "Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale", allegate alla Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 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:

$I_{s,SLV} = T_{SLV}/T_{R,SLV}$  indice di sicurezza, dato dal rapporto capacità/domanda in periodo di ritorno,

$f_{a,SLV} = a_{SLV}/a_{g,SLV}$  fattore di sicurezza, dato dal rapporto capacità/domanda in accelerazione al suolo.

I risultati delle verifiche LV1 sono riportati nella seguente griglia e nel tabulato di stampa.

liv	dir	Rottura	Fasce	mu	beta	k	As	sv	tau	e*	Fr	Ser	Prr	Agr	IsSlv	FaSlv
0	X						63,04	1,37	0,46	0,84						
	Y						56,31	1,37	0,46	0,84						
1	X	taglio	resistenti	0,80	1,25	1,00	47,16	1,77	0,28	0,84	192334	0,574	512	0,20	0,72	0,88
	Y	taglio	resistenti	0,80	1,25	1,00	45,26	1,77	0,28	0,84	185620	0,554	469	0,20	0,66	0,84
2	X	taglio	resistenti	0,80	1,25	0,90	38,21	1,38	0,27	0,84	153585	0,458	312	0,16	0,44	0,70
	Y	taglio	resistenti	0,80	1,25	0,90	32,88	1,38	0,28	0,84	136814	0,408	242	0,15	0,34	0,63
3	X	taglio	resistenti	0,80	1,25	0,70	28,01	0,83	0,26	0,84	118966	0,355	181	0,13	0,25	0,55
	Y	taglio	resistenti	0,80	1,25	0,70	26,39	0,83	0,28	0,84	116113	0,346	172	0,13	0,24	0,54
4	X	taglio	resistenti	0,80	1,25	0,40	32,25	0,25	0,26	0,84	174430	0,520	412	0,18	0,58	0,80
	Y	taglio	resistenti	0,80	1,25	0,40	18,56	0,25	0,26	0,84	100400	0,299	127	0,11	0,18	0,46

## Calcolo del fattore torsionale di piano R/Ls

Viene calcolato il fattore torsionale di piano, che quando è al di sotto di una determinata soglia è indicativo di strutture deformabili torsionalmente. Il valore di per se non interviene nell'analisi, ma è in genere richiesto nelle schede sintetiche da allegare alle richieste di autorizzazione sismica, nelle sezioni dedicate alla determinazione euristica del fattore di struttura. Viene riportato in stampa nella tabella *Rapporti di regolarità strutturale per azioni orizzontali*.

5.1 Rapporti di regolarità strutturale per azioni orizzontali													
Liv	M	Kx	Ky	Tux	Tuy	R/Ls	M/Kx	M/Ky	M/Tux	M/Tuy	Vkmax %	Vtmax %	esito
1	3803,83	5155,9	6109,7	1639,82	2041,46	1,21	0,738	0,623	2,320	1,863	47,783	0,000	!
2	1858,36	4321,4	5716,4	801,14	997,36	1,30	0,430	0,325	2,320	1,863	76,901	0,000	!
3	554,62	5583,4	5378,4	239,09	297,66	1,32	0,099	0,103	2,320	1,863	94,719	0,000	!
4	90,78	17303,5	14225,1	39,13	48,72	1,40	0,005	0,006	2,320	1,863			

## Verifica dei cedimenti e delle distorsioni angolari in fondazione

La normativa dispone che per gli stati limite di esercizio vengano valutati i cedimenti e le distorsioni angolari in fondazione (Ntc08, p. 6.4.2.2) dovuti all'assestamento del terreno per effetto dei carichi trasmessi dalle fondazioni. I valori delle deformazioni così valutate devono risultare compatibili con la fruibilità dell'opera e con la sicurezza strutturale.

Il controllo presuppone da un lato la definizione dei valori ammessi per il cedimento e la distorsione angolare, per i quali si può fare riferimento a tabelle euristiche di letteratura, come riportato nel manuale. Dall'altro lato, si procede con il calcolo dei cedimenti nei nodi indicati dal progettista, utilizzando il metodo proposto da Burland e Burbridge, basato sui risultati di una indagine statistica di oltre 200 casi reali e correlato ai risultati ottenuti da prove penetrometriche dinamiche SPT (Standard Penetration Test). Per la sua semplicità ed economicità la prova SPT è una tecnica di sito molto utilizzata nella pratica professionale, che consente la stima dei principali parametri meccanici del terreno e di altre quantità di interesse, mediante un ricco assortimento di correlazioni sperimentali proposte da vari autori.

All'utente è richiesta la definizione dei nodi in cui valutare il cedimento e la distorsione, specificando per ognuno di essi alcuni parametri geotecnici, quali la quota di posa rispetto al piano campagna, lo spessore dello strato compressibile, il numero medio di colpi ottenuti dalla prova SPT nello strato d'influenza immediatamente sottostante la fondazione. Sulla scorta di questi dati minimali, il programma valuta lo spessore dello strato d'influenza (utile al progettista per ricavare il numero medio di colpi SPT), i fattori correttivi (dovuti ai rapporti di forma della fondazione, allo spessore dello strato compressibile, agli effetti viscosi), la tensione verticale litostatica al piano di posa, il carico trasmesso dalla fondazione ed infine il cedimento massimo calcolato.

Una volta noti i cedimenti, il programma procede col calcolo della distorsione massima, per ogni nodo soggetto a verifica. Il procedimento si svolge riconoscendo sequenze di tre nodi allineati, su ognuna delle quali si valuta:

- la rotazione rigida, data dalla pendenza del diagramma dei cedimenti fra i due nodi più esterni,
- la distorsione angolare in un nodo, valutata come la tangente dell'angolo relativo  $\beta$  formato dal diagramma dei cedimenti nel nodo e la retta della rotazione rigida.

Si tenga presente che nel nodo centrale di un allineamento, si può calcolare una distorsione oer il ramo di diagramma a sinistra e una distorsione per quello di destra del nodo, ovvero  $\tan\beta'$  e  $\tan\beta''$ , (vedi figura), fra le due viene registrata quella maggiore. Un nodo inoltre può essere compreso in altri allineamenti e quindi sono valutati per esso altri valori distorsivi. Considerato questo, il valore finale si ottiene come valore massimo di tutte le distorsioni valutate per il nodo, essendo questa la strategia più gravosa per la verifica.

La distorsione angolare è un parametro di interesse in quanto direttamente correlabile con problematiche strutturali o con livelli di danno non compatibili con i requisiti prestazionali richiesti al fabbricato.

Parete

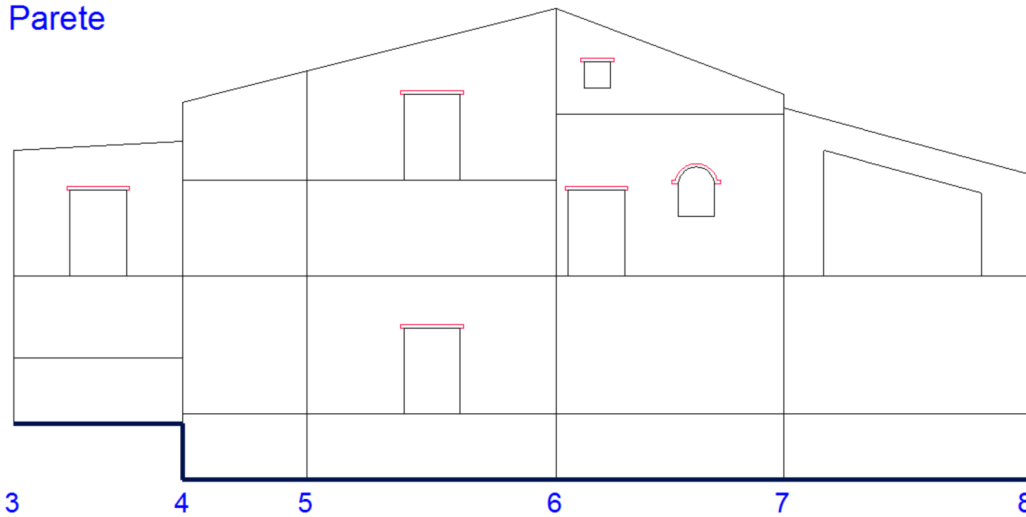
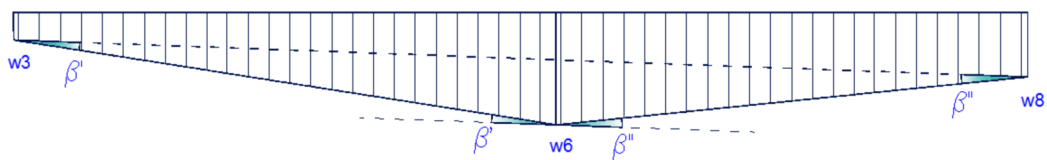


Diagramma dei cedimenti in fondazione



La distorsione angolare in un nodo è data dalla tangente dell'angolo relativo  $\beta$  formato dal diagramma dei cedimenti nel nodo e la retta che rappresenta la rotazione rigida. Per i nodi centrali si assume il valore massimo fra i due valori a sinistra e a destra del nodo.

nod	zf	hs	hi	Nspt	cor	fs	fh	ft	st	q	wf	df	iwf	idf
1	1,60	9,00	0,84	9,00	✓	1,44	1,00	1,76	0,34	1,02	19,7/50	0,0/33	0,39	0,00
11	1,60	9,00	0,81	20,50	✓	1,45	1,00	1,76	0,34	1,04	7,6/50	5,1/33	0,15	0,16
2	1,60	9,00	0,84	9,00	✓	1,45	1,00	1,76	0,34	0,89	16,5/50	0,0/33	0,33	0,00
9	1,60	9,00	0,84	20,50	✓	1,47	1,00	1,76	0,34	0,76	5,3/50	2,5/33	0,11	0,08
13	1,60	9,00	0,84	9,00	✓	1,47	1,00	1,76	0,34	0,00	0,0/50	0,0/33	0,00	0,00
3	1,60	9,00	0,84	20,50	✓	1,47	1,00	1,76	0,34	0,73	4,9/50	0,0/33	0,10	0,00
4	1,60	9,00	0,82	20,50	✓	1,47	1,00	1,76	0,34	0,93	6,7/50	4,9/33	0,13	0,15
6	1,60	9,00	0,68	9,00	✓	1,48	1,00	1,76	0,34	1,61	28,3/50	0,0/33	0,57	0,00
5	1,60	9,00	0,68	20,50	✓	1,49	1,00	1,76	0,34	1,82	12,6/50	3,7/33	0,25	0,11
10	1,60	9,00	0,79	9,00	✓	1,45	1,00	1,76	0,34	1,63	32,4/50	55,9/33	0,65	1,69
14	1,60	9,00	0,84	20,50	✓	1,44	1,00	1,76	0,34	0,00	0,0/50	0,0/33	0,00	0,00

Nella griglia si assegnano i dati in ingresso e si ottengono i cedimenti wf e le distorsioni df. Le verifiche non soddisfatte sono caratterizzate da fattori di impegno iwf e idf maggiori dell'unità e sono evidenziate in rosso per maggiore visibilità.

Verifica a scorrimento in fondazione

Il programma calcola l'azione di scorrimento sul piano di fondazione dovuta al sisma agente e la confronta con la corrispondente resistenza, quest'ultima dipendente dai parametri geotecnici assegnati dall'utente per i tipi di fondazione presenti, che adesso si arricchiscono dell'angolo di attrito  $\phi$  e dalla coesione c. Tipicamente, quando  $\phi \neq 0$ , i valori  $\phi$  e c sono intesi come parametri efficaci e la verifica è eseguita in termini di tensioni efficaci; quando  $\phi = 0$ , il valore c è inteso come resistenza non drenata e la verifica è eseguita in termini di tensioni totali. L'azione sismica è riferita allo stato limite di salvaguardia vita (Slv).

id	Nome	Muratura anima	Muratura ali	hf	bs	hs	bd	hd	hm	rv	qlim1	qlim2	fs1	fs2	kw	c	phi
1	Fondazione rettangolare	In c.a.	In c.a.	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	9,0	9,0	2,30	2,30	1,80	0,0	27,0
2	Fondazione a T rinforzata	Blc lapidei +M5	In c.a.	100,0	30,0	50,0	40,0	60,0	20,0	0,0	4,5	4,5	2,30	2,30	1,80	0,0	27,0

I valori della coesione o resistenza non drenata e dell'angolo di attrito si impostano nelle due ultime colonne del foglio Tipi di fondazione.

**Verifica a scorrimento sul piano di posa**

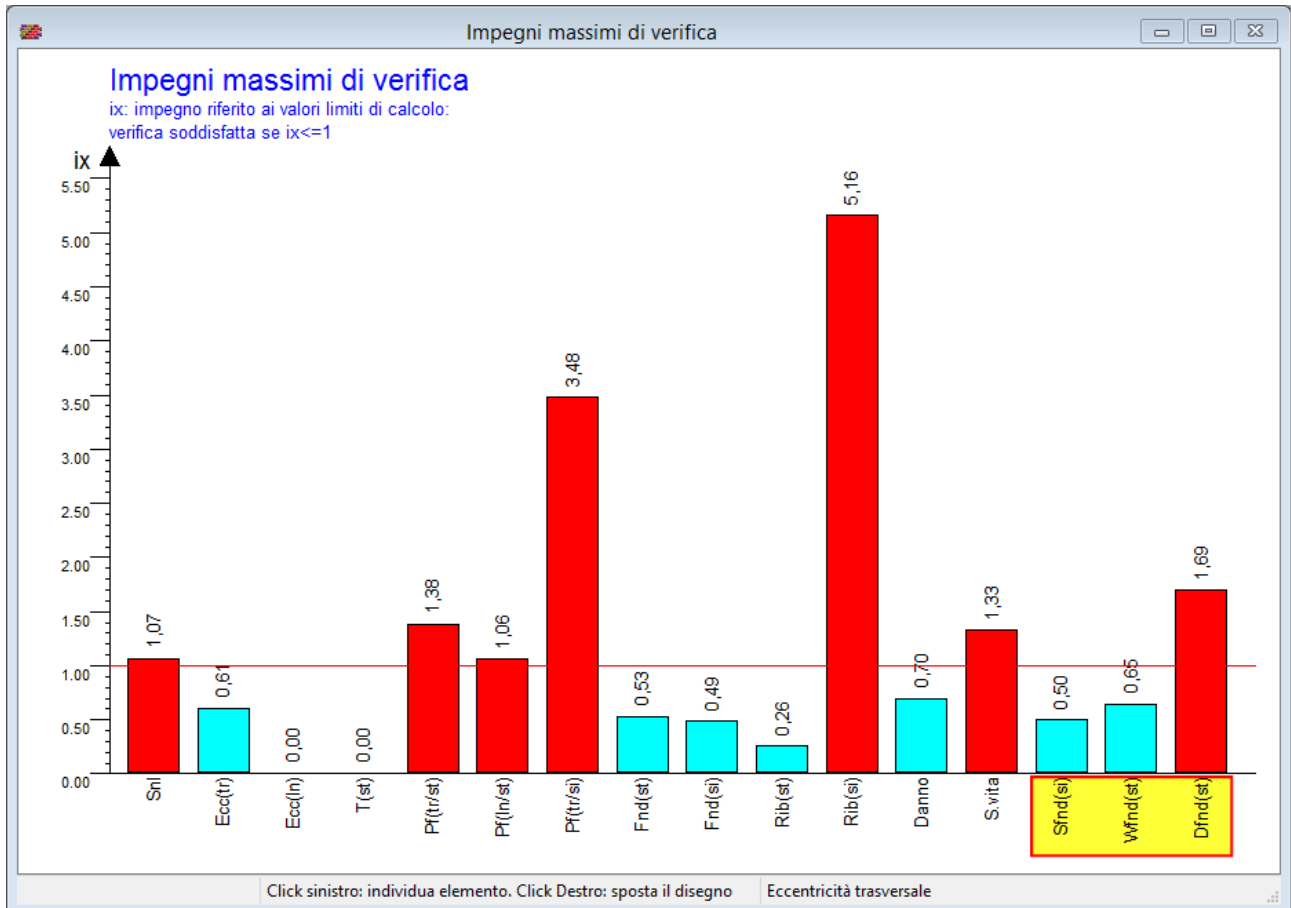
-angolo di attrito muratura-terreno medio [gradi]:	24,30
-adesione muratura-terreno media [kg/cmq]:	0,000
-area totale della fondazione controterra [mq]:	49,27
-accelerazione spettrale [g]:	0,23
-massa totale al livello di posa [t]:	651,65
-forza di scorrimento agente [t]:	147,39
-forza di scorrimento resistente [t]:	294,23
-fattore di sicurezza:	2,00

Tabella di stampa della verifica a scorrimento

**Opzioni di analisi Ntc 2008**

Analisi per azioni statiche	
Fattore di ripartizione degli scarichi nei nodi	1,00
Fattore riduttivo scarico variabile al piano	1,00
Fattore riduttivo scarico variabile ai piani superiori	0,85
Parzializzazione sezione nella verifica a taglio	<input type="checkbox"/>
Cedimento ammesso in fondazione [mm]	50
Distorsione ammessa in fondazione [1/10000]	33

Impostazione valori ammessi per i cedimenti



In figura sono evidenziati gli istogrammi degli impegni massimi per le verifiche aggiunte nella nuova versione.

### Verifica a gerarchia di resistenza dei setti in muratura armata

La normativa dispone che nei setti in muratura armata di nuova costruzione il collasso per pressoflessione preceda il collasso per taglio. Questo risponde al principio di evitare i meccanismi di collasso fragile, qual'è tipicamente il collasso a taglio, dotando il setto di una adeguata sovraresistenza tagliante. Il requisito si intende raggiunto se il setto risulta verificato con la sollecitazione di taglio che equilibra i momenti resistenti di estremità, amplificata ulteriormente con un opportuno fattore.

Nella nuova versione, viene eseguita tale verifica e i risultati sono riportati nel tabulato di stampa.

**2.5 Verifiche a gerarchia di resistenza dei setti in muratura armata al livello 2**

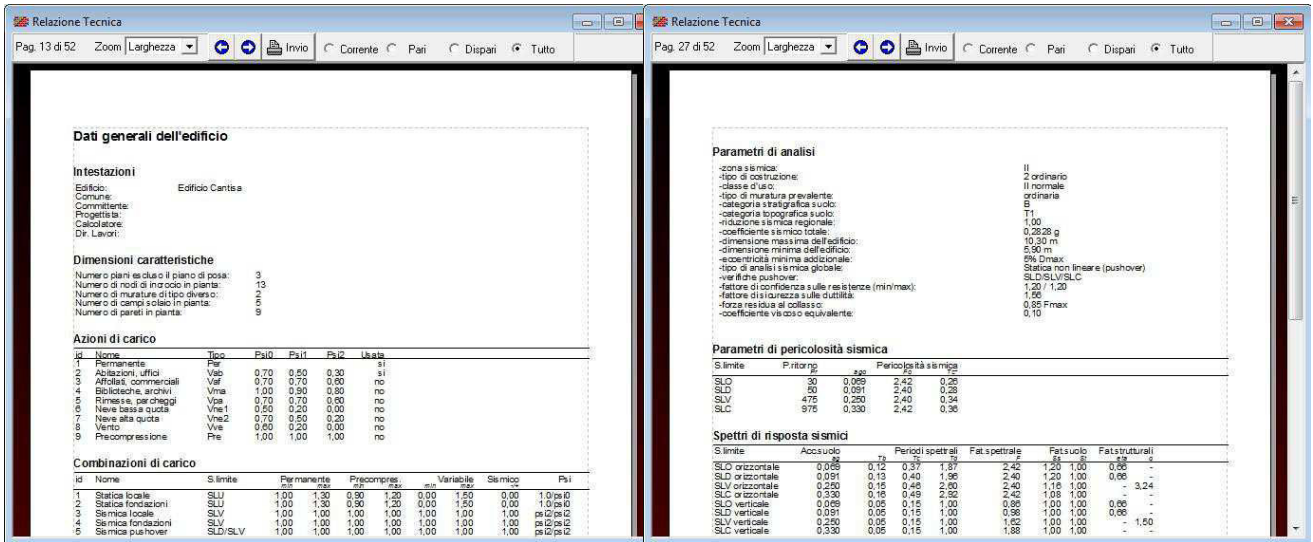
Set	Pa/Mu	l cm	s cm	h cm	Mr kg m	Te kg	grd	Tgr kg	Tr kg	fs
1	12/14	360	60	320	85672	53528	1,50	80293	107484	1,34
2	11/14	152	60	320	19763	12348	1,50	18522	45390	2,45
3	11/14	268	60	320	42350	26460	1,50	39690	80060	2,02
4	1/14	142	60	320	12794	7996	1,50	11994	42895	3,58
5	1/14	337	60	320	81102	50689	1,50	76033	102075	1,34
6	2/14	785	60	320	380723	237952	1,50	356927	237035	0,66
7	14/14	243	60	320	34981	21863	1,50	32795	72638	2,21
8	14/14	146	60	320	13678	8549	1,50	12824	44253	3,45
9	3/14	377	60	320	93008	58130	1,50	87195	115408	1,32
10	3/14	317	60	320	77484	48427	1,50	72641	97257	1,34

# 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.

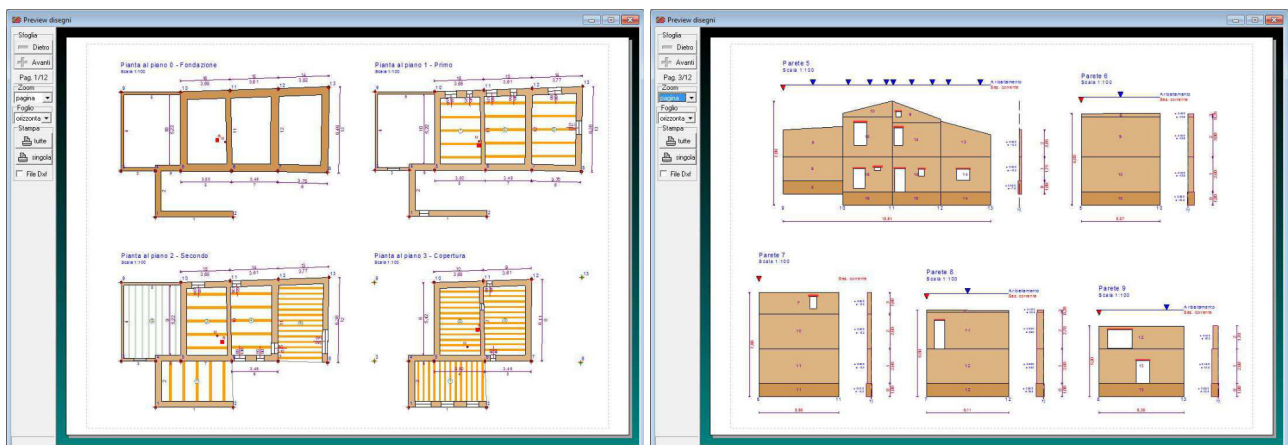


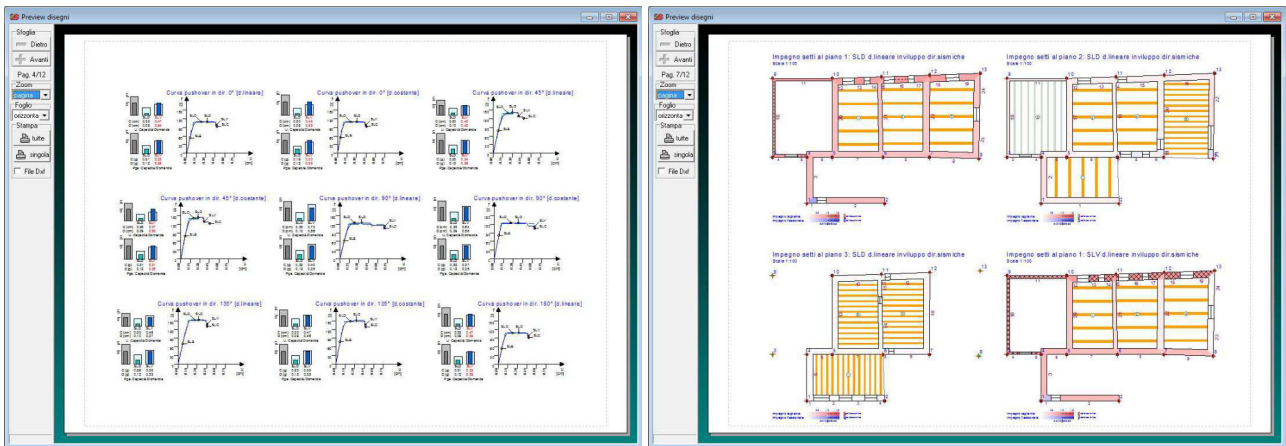
Alcune pagine di tabulato e il sommario finale nell'anteprima di stampa.

## 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.