

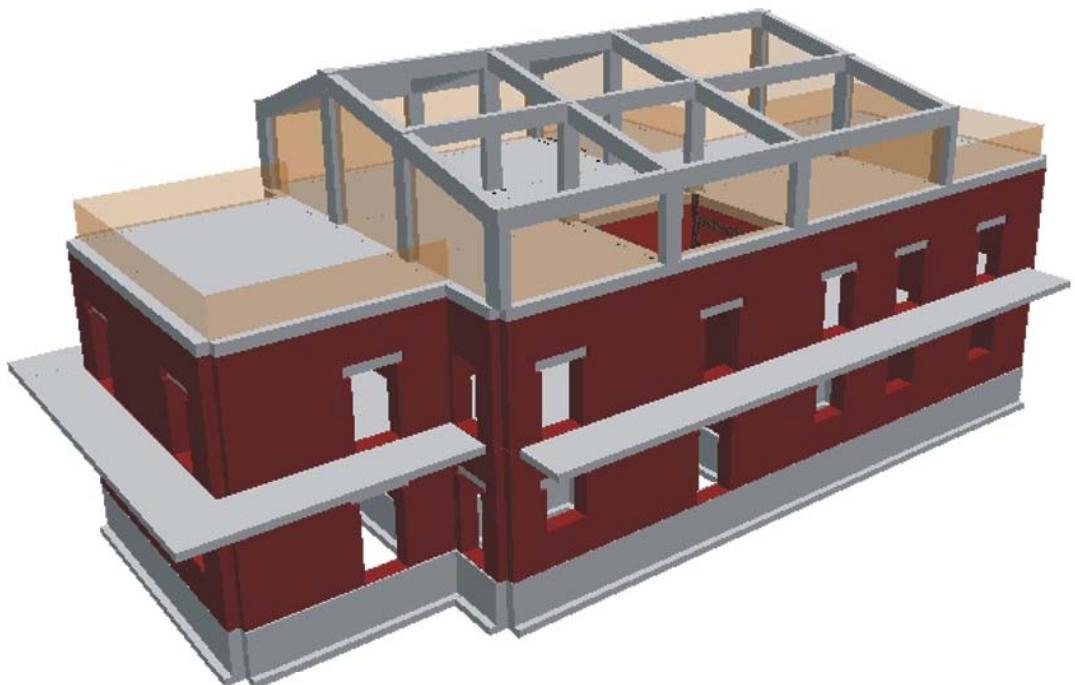
Sopraelevazioni con VEMNL

www.stacec.com

guida operativa



Software per edifici in muratura



SOPRAELEVAZIONI IN C.A. ED ACCIAIO SU EDIFICI IN MURATURA

La normativa italiana consente, attraverso il punto 7.8.4 del DM 14/01/2009, di realizzare sopraelevazioni (un solo piano) di diversa tecnologia su un edificio in muratura. Il calcolo della struttura può essere effettuato sia attraverso analisi lineari che non lineare, a patto che si rispettino le condizioni riportate nel suddetto punto di normativa. Inoltre, c'è da sottolineare che non sono accettabili condizioni di miglioramento, ma bisogna raggiungere la condizione di adeguamento.

Le condizioni richieste, in alcuni casi possono essere molto restrittive. Si premette che l'utilizzo di analisi lineari, in quanto non adatte per edifici in muratura, raramente portano ad un esito positivo della verifica, per cui possono essere a priori scartate dalle possibili analisi da utilizzare (vedi punto C7.8.1.5 della circolare 617/2009). Rimane, come tipologia di calcolo possibile, l'analisi statica non lineare, per la quale il punto 7.8.4 del DM 14/01/2009 richiede:

- 1) La parte superiore di diversa tecnologia sia efficacemente ancorata al cordolo di coronamento della parte muraria;
- 2) Nel caso di analisi statica non lineare, si utilizzino le distribuzioni di forze orizzontali previste al § 7.3.4.1, dove la prima forma modale elastica è stata calcolata con metodi sufficientemente accurati;
- 3) Tutti i collegamenti fra la parte di diversa tecnologia e la parte in muratura siano localmente verificati in base alle forze trasmesse calcolate nell'analisi, maggiorate del 30%.

Il problema più difficoltoso da risolvere è quello di rispettare il punto 7.3.4.1 del D.M. 2008, per il quale è richiesta una massa partecipante del 75% (per edifici in muratura 60%, punto 7.8.1.5.4 del DM 2008). Generalmente, la presenza di un piano in c.a. o acciaio abbatte la massa partecipante del primo modo in quanto trattasi di un piano molto più deformabile e molto più leggero di quelli in muratura sottostante. Per incrementare la massa partecipante del suddetto modo occorre seguire alcuni accorgimenti:

- a) Bisogna affidare la resistenza della muratura ai soli maschi murari, in modo da rendere la parte in muratura più deformabile (la schematizzazione a telai equivalenti penalizza l'analisi in quanto la presenza dei conci rigidi rende ancora meno deformabili i piani in muratura);
- b) Considerare la rigidezza fessurata per la muratura dei piani esistenti;
- c) Bisogna irrigidire la sopraelevazione in modo da ridurre gli spostamenti relativi (per esempio, nel caso di sopraelevazioni in acciaio è opportuno considerare la presenza di controventi). Le strutture in c.a. o acciaio sono molto più deformabili di quelle in muratura, fattore che può abbassare la massa partecipante del primo modo. Riuscendo a rendere gli spostamenti relativi più uniformi tra elementi in muratura ed elementi in c.a. o acciaio può contribuire ad alzare la suddetta massa.
- d) Ridurre i pesi del piano di sopraelevazione;
- e) Limitare quanto più possibile interventi di consolidamento nella muratura che ne aumentano la rigidezza (intonaco armato, pareti in c.a., ecc);

Esempio guidato per sopraelevazione in muratura

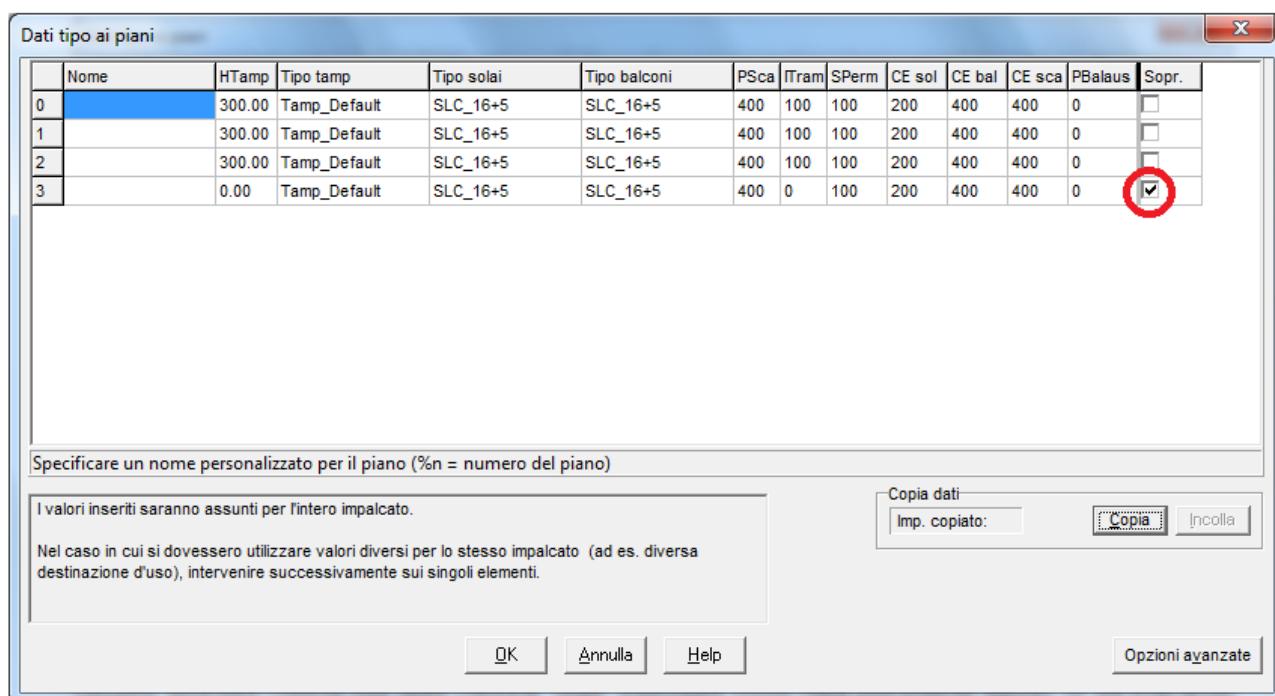
Nel caso in cui si realizza una sopraelevazione in muratura, non occorrono particolari accorgimenti. La tecnica è simile a quella vista per i piani esistenti, con la sola differenza che occorre considerare il materiale di nuova costruzione secondo le prescrizioni previste dal punto 11.10 del D.M. 2008 e non quelle previste nel punto C8A.2 della circolare 617/2009.

Esempio guidato per sopraelevazione in cemento armato

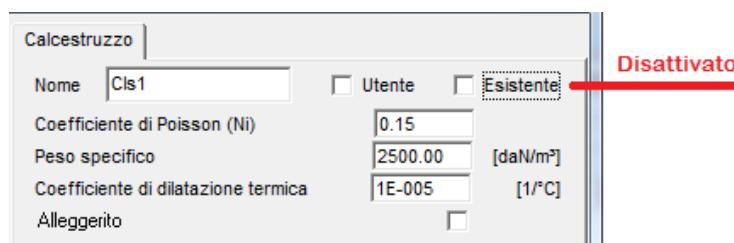
Dalla versione 14.0.0 di **VEM_{NL}** è possibile realizzare sopraelevazioni completamente in cemento armato. Vengono di seguito riportati i passi da seguire per poter realizzare il piano di sopraelevazione.

Passo 1

Il piano di sopraelevazione deve essere attivato da apposito comando presente nella videata relativa ai “ Carichi tipo ai piani” di seguito riportata:



Occorre spuntare l'ultima riga della colonna "Sopr" (cerchiata rossa nella precedente figura). Si sta indicando al software che il piano tre è di nuova costruzione (sopraelevazione). Attivando tale comando, tutti gli elementi che vanno a fare parte di tale piano devono essere di nuova costruzione, per cui bisogna inserire elementi il cui materiale è di nuova costruzione (il materiale di cui sono composti gli elementi, sia acciaio che calcestruzzo, impostato dalla videata “ Tipologie materiali” deve essere “nuovo” – vedi figura sotto). Automaticamente il software non accetta elementi definiti con materiale esistente.



Passo 2

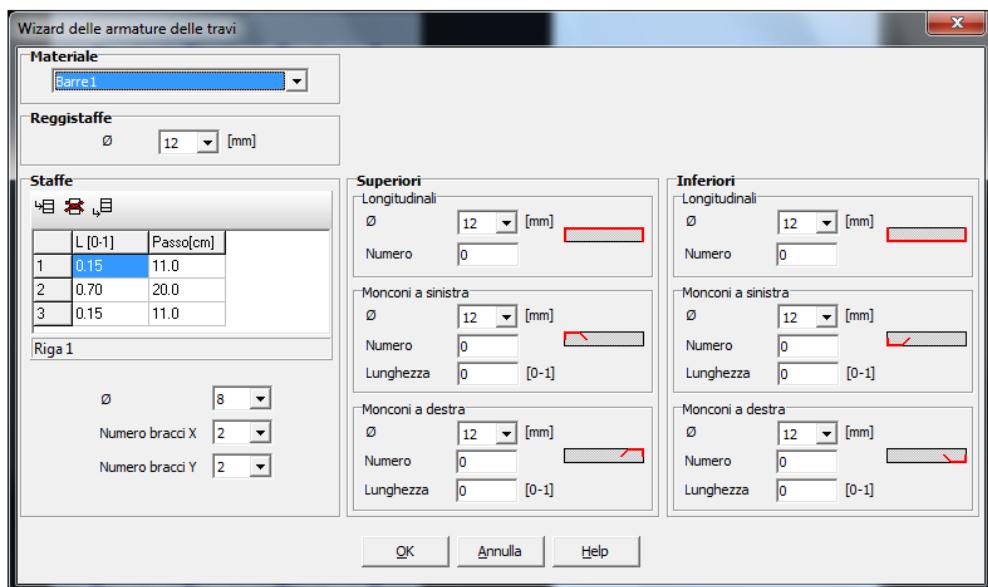
L'input degli elementi è simile a quello noto per gli elementi esistenti. E' possibile inserire solo elementi monodimensionali (travi e pilastri). Non è possibile inserire (sempre relativo al piano di sopraelevazione) elementi bidimensionali sia in muratura che in c.a..

Come accennato sopra, l'unica analisi possibile è la statica non lineare (ricordiamo che analisi lineari sono molto restrittive e non portano quasi mai ad un esito positivo della verifica della struttura). Poder effettuare analisi non lineare implica la conoscenza della resistenza degli elementi, per cui è indispensabile armare da input gli elementi. A tale scopo sono previsti una serie di comandi per agevolare l'inserimento delle armature all'interno degli elementi, sia per quanto riguarda i longitudinali, sia per quanto riguarda le staffe (in alcuni casi l'inserimento manuale può creare qualche difficoltà e non sempre si arriva immediatamente a giusta soluzione). Generalmente sono richiesti alcuni tentativi.

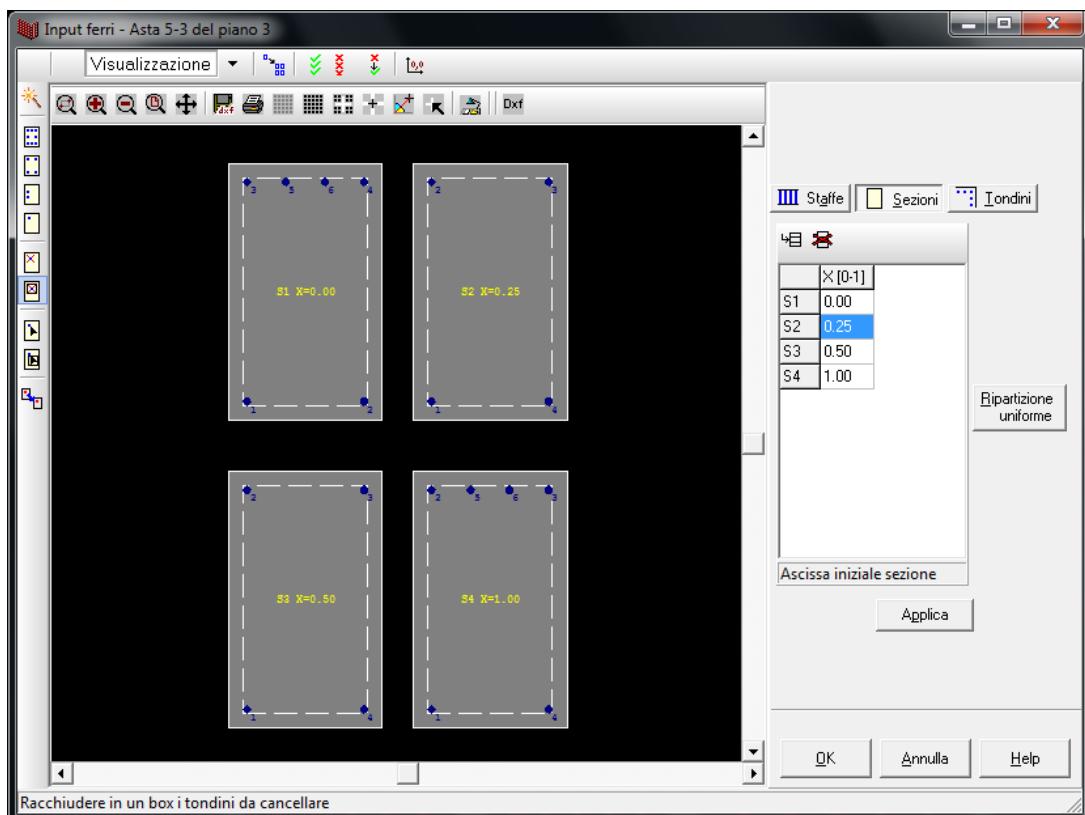
Dal comando “ Armatura” è possibile armare gli elementi (travi e pilastri). Per agevolare l'inserimento dei ferri, cliccando successivamente sul comando contrassegnato dall'icona +, tutti gli elementi vengono armati automaticamente secondo i minimi di normativa (solo prescrizioni di tipo geometrico. Le prescrizioni, funzione delle sollecitazioni non possono essere prese in considerazione in questa fase, si farà successivamente in fase di verifica) sia per quanto riguarda i ferri longitudinali, sia per quanto riguarda le

staffe (naturalmente, cambiando in un secondo momento, per esempio il diametro dei longitudinali, o le dimensioni della sezione, può capitare che i minimi di normativa non sono più rispettate e viene segnalato all'utente in fase di verifica). Inoltre, quest'ultimo comando, va a cancellare tutte le eventuali operazioni manuali fatte precedentemente.

Per l'inserimento dei ferri nelle travi, è possibile utilizzare un wizard attivabile dal comando contrassegnato dalla seguente icona . Tale comando apre la seguente videata che ci consente di definire le armature per tutta la lunghezza della trave:



Inoltre, è possibile intervenire manualmente sui singoli pilastri o sulle singole travi attraverso la seguente videata (Per il significato di tutti i comandi delle videate riportate è possibile consultare il manuale d'uso del software).

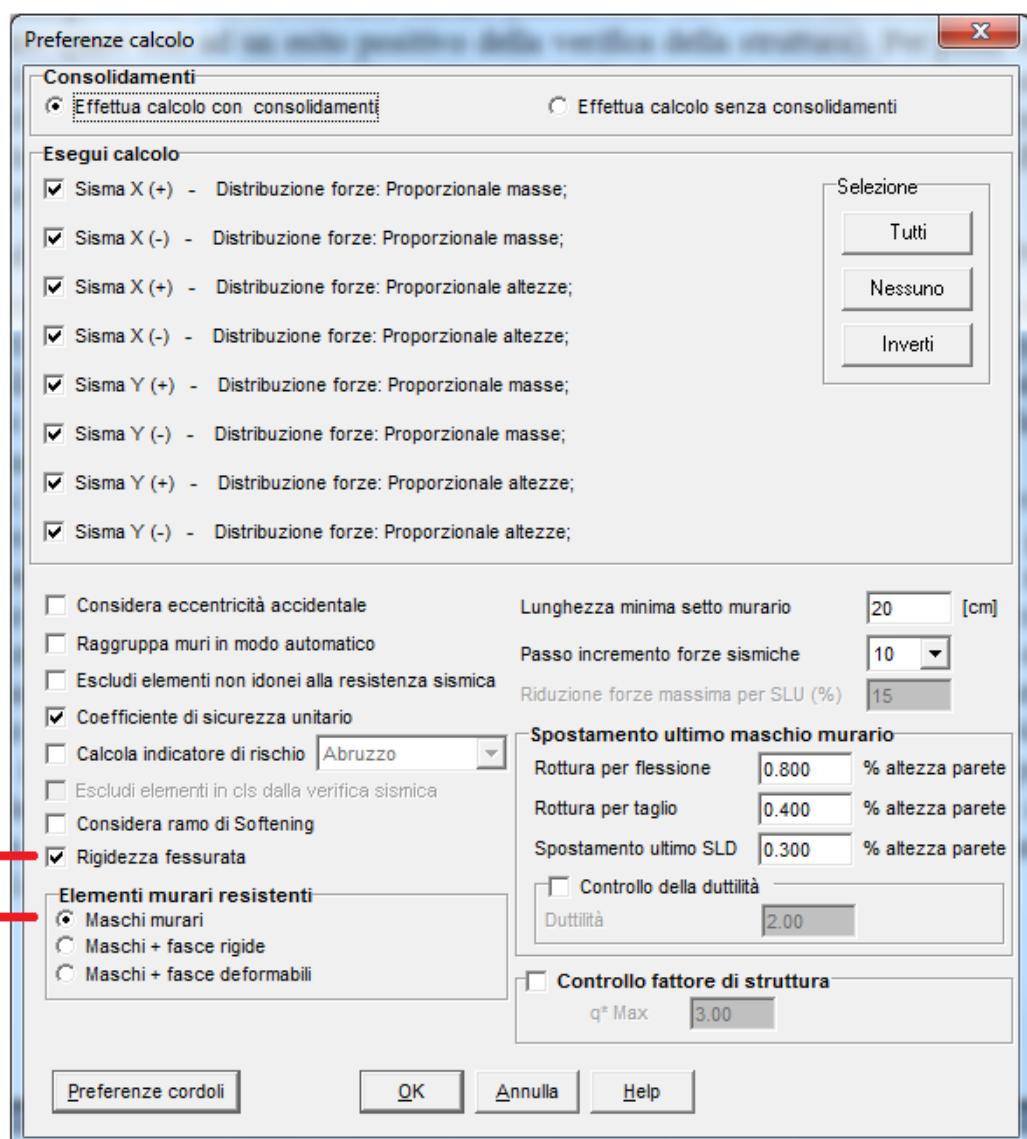


Passo 3

Completato l'input della struttura è possibile procedere con una prima fase di calcolo con analisi statica non lineare. Analizzando la struttura si possono verificare le seguenti situazioni:

- 1) La massa partecipante del primo modo è inferiore al 60%;
- 2) Collasso al piano di sopraelevazione (meccanismo di piano);
- 3) L'esito della verifica è negativo;

Un vincolo imposto dalla normativa (punto 7.8.4 e 7.8.1.5.4 del D.M. 2008), per l'analisi non lineare, è che la massa partecipante del primo modo di vibrare deve essere pari almeno al 60%. Nei casi in cui la suddetta massa è inferiore al valore limite sopra riportato (come spesso accade per questo tipo di edifici per le diverse rigidezze che si riscontrano tra piani esistenti e nuovo), occorre procedere con alcuni accorgimenti in modo da aumentarne il valore (vedi punti a), b), c), d), e) sopra riportati). I punti a) e b) si attivano dal software dai comandi riportati nella successiva finestra (Calcolo):



Effettuando l'analisi, può capitare che il meccanismo di collasso si verifica al piano di sopraelevazione. Questa eventualità può penalizzare notevolmente la resistenza globale dell'intera struttura, per cui è sempre opportuno progettare il piano di sopraelevazione in modo che il meccanismo di collasso si verifica in uno dei piani di muratura esistente. Per aumentare la resistenza globale del piano di nuova costruzione si può procedere incrementando l'armatura o le dimensione degli elementi.

Nei casi in cui l'esito della verifica è negativo (ricordiamo ancora che occorre raggiungere la condizione di adeguamento, non è sufficiente migliorare le condizioni globali della struttura, ma bisogna soddisfare tutte le condizioni di verifica), occorre procedere con il consolidamento degli elementi in muratura.

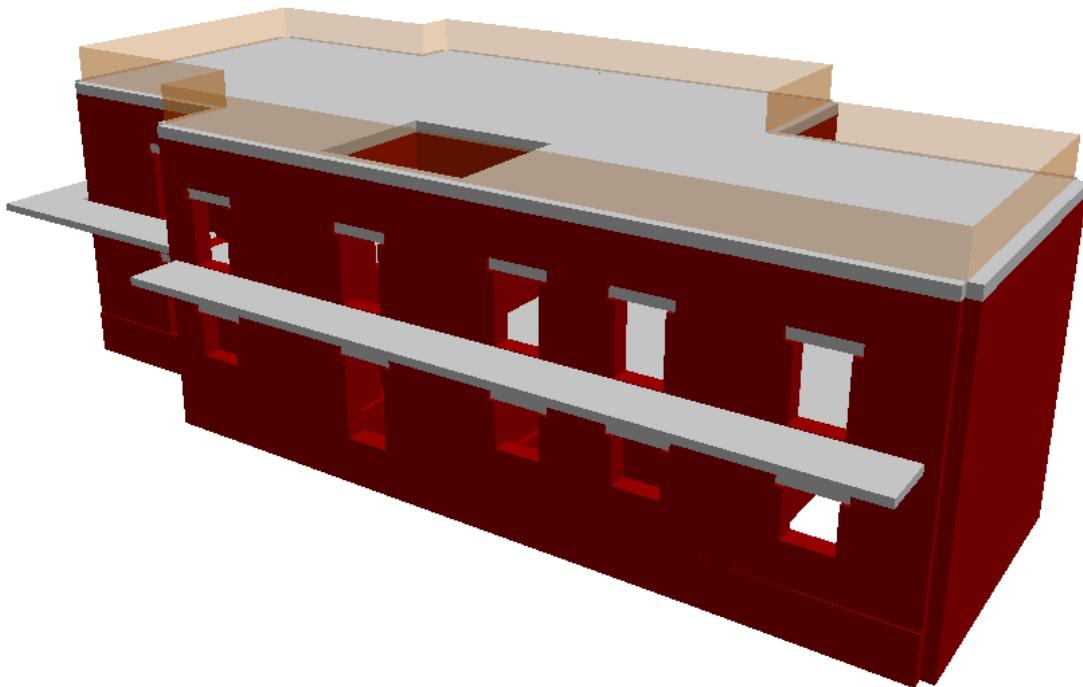
Passo 4

Risolta l'analisi globale, si procede con le verifiche locali degli elementi. In questa fase si può ancora verificare che l'armatura negli elementi è insufficiente (anche per i minimi di normativa). Se si verifica questa eventualità occorre procedere incrementando l'armatura da input e ripetere l'intero iter di calcolo visto sopra fino a quando non si raggiunge il completo soddisfacimento delle richieste di normativa

Tutti i file di esempio sviluppanti in questo opuscolo sono riportati nel CD di installazione di software.

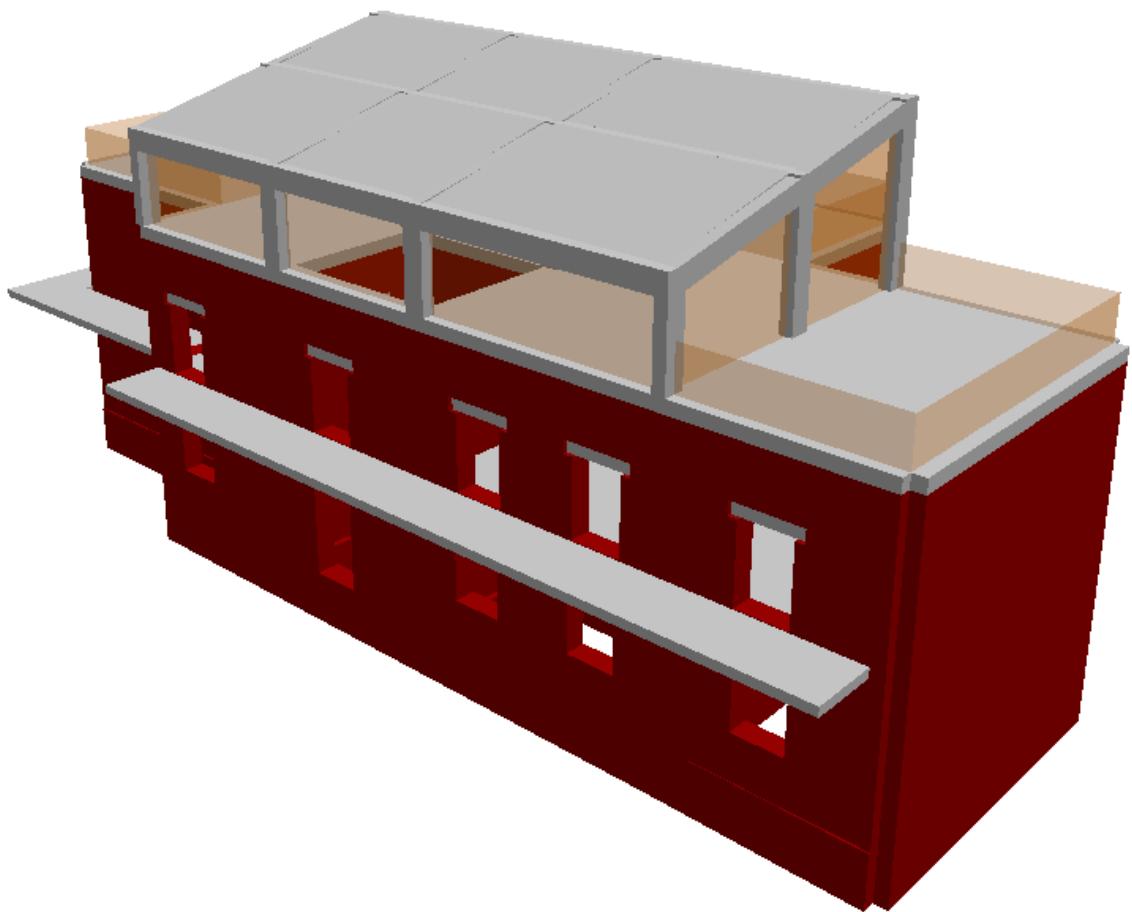
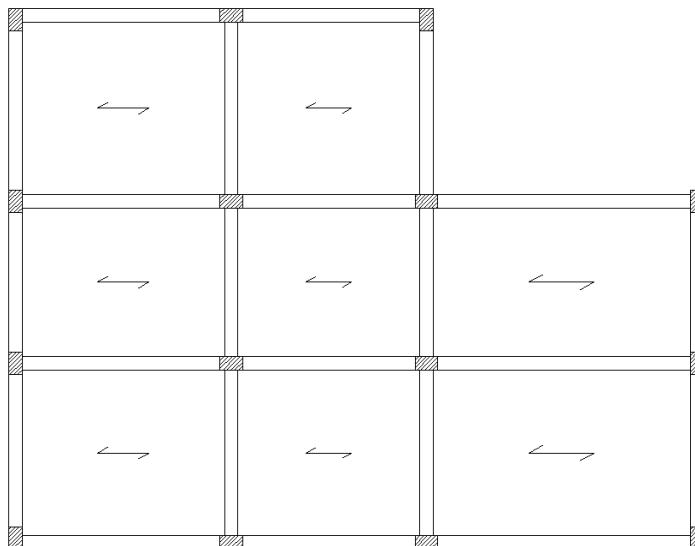
Esempio 1

Si vuole realizzare una sopraelevazione in c.a. della struttura a 2 piani F.T. riportata nella figura successiva. Tutti i dati relativi alla struttura sono riportati nell'esempio presente nel CD di installazione.



La sopraelevazione deve essere ancorata al cordolo di coronamento presente sull'ultimo piano in muratura. Il cordolo deve avere le caratteristiche tali da resistere agli sforzi trasmessi dal pilastro della struttura di sopraelevazione incrementati del 30% (punto 7.8.4 del D.M. 2008). Spesso, i cordoli esistenti non sono stati realizzati tenendo conto delle suddette caratteristiche di resistenza, per cui ne è richiesta una nuova realizzazione. Nel nostro esempio, i cordoli sono di nuova realizzazione (se non messa da Input, l'armatura viene progettata automaticamente dal software) e sono sottoposti a tutte le verifiche previste per le travi di elevazione (nel software c'è anche la possibilità di considerare i cordoli esistenti. In questo caso, occorre inserire manualmente l'armatura esistente e tutte le verifiche vengono fatte in funzione di tale armatura). I nuovi cordoli hanno tutti larghezza pari allo spessore del muro ed altezza di 30 cm.

Come primo tentativo di progetto, per tutti i pilastri e tutte le travi del nuovo piano si assume una sezione 30x50 con la disposizione riportata nel seguente architettonico e nella seguente visione tridimensionale:



Prima di iniziare la fase di calcolo, il software chiede, per gli elementi appartenenti al piano di sopraelevazione, la disposizione dell'armatura. A tale scopo è possibile armare tutti gli elementi secondo i minimi di normativa (vedi sopra).

Fase di calcolo: 1

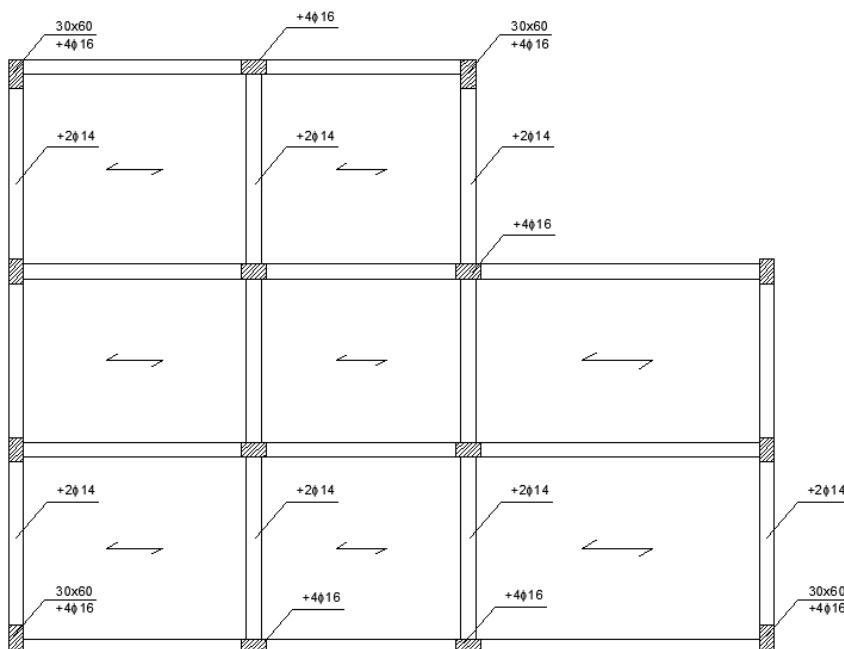
A questo punto è possibile effettuare il calcolo della struttura (analisi statica non lineare). Nella tabella successiva vengono riassunti i risultati più significativi dell'analisi per le otto combinazioni effettuate:

	Combinazione di carico	SLV	Massa partecipante	Meccanismo di piano
1	X(+) – Masse	1.11	64.40	1
2	X(–) – Masse	1.21	64.61	1
3	X(+) – Altezze	0.76	64.40	2
4	X(–) – Altezze	0.78	64.61	2
5	Y(+) – Masse	1.18	58.64	1
6	Y(–) – Masse	1.19	58.55	1
7	Y(+) – Altezze	0.51	58.64	3
8	Y(–) – Altezze	0.51	58.55	3

Dalla precedente tabella si evince che per alcune combinazioni di carico (3, 4, 7, 8) non è soddisfatta la verifica SLV (punto 2 riportato nel precedente Passo 3). Per alcune combinazioni di carico (5, 6, 7, 8) la massa partecipante è inferiore al 60% (punto 1 riportato nel precedente Passo 3). Per alcune combinazioni di carico (7, 8) il meccanismo di piano avviene nel piano di nuova costruzione (punto 2 riportato nel precedente Passo 3).

Fase di calcolo: 2

Come primo intervento, occorre aumentare la massa partecipante del primo modo nei casi in cui è inferiore al 60% ed evitare che il piano debole sia quello di nuova costruzione. A tale scopo si aumentano le dimensioni di alcuni pilastri e si incrementa l'armatura di alcune travi e pilastri (nell'architettonico successivo vengono evidenziati gli elementi modificati). Nei casi in cui si ha l'esigenza di incrementare l'armatura è sempre opportuno mantenere il diametro uguale a quello già utilizzato: un diametro per i longitudinali inferiore di quello utilizzato richiede dei minimi di normativa diversi per la disposizione delle staffe. Inoltre, anche l'aumento della dimensione della sezione di travi e pilastri, implica automaticamente che l'armatura, sia longitudinale che trasversale, precedentemente disposta secondo i minimi di normativa non è più rispettata (fatte queste modifiche, ci si aspetta in fase di verifica, che negli elementi modificati, i minimi di normativa, non sono più soddisfatti).



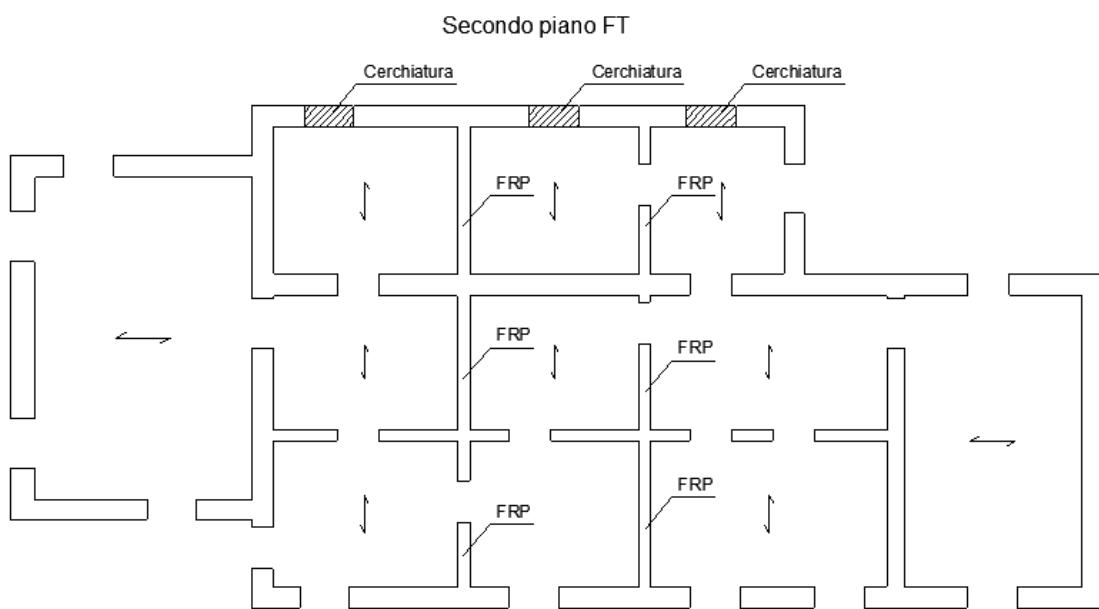
Rielaborando la struttura con le nuove modifiche si ottengono i risultati riportati nella tabella successiva:

	Combinazione di carico	SLV	Massa partecipante	Meccanismo di piano
1	X(+) – Masse	1.11	64.66	1
2	X(–) – Masse	1.21	64.89	1
3	X(+) – Altezze	0.77	64.66	2
4	X(–) – Altezze	0.78	64.89	2
5	Y(+) – Masse	1.20	60.84	1
6	Y(–) – Masse	1.20	60.71	1
7	Y(+) – Altezze	1.01	60.84	2
8	Y(–) – Altezze	0.86	60.71	2

In questa fase, per tutte le combinazioni di carico la massa partecipante del primo modo è superiore al 60% e non ci sono combinazioni di carico per le quali il meccanismo di piano avviene in sopraelevazione. Rimangono tre combinazioni di carico (3, 4 e 8) per le quali l'esito della verifica non è soddisfatto.

Fase di calcolo: 3

Per incrementare la resistenza della struttura occorre procedere consolidando la muratura nei piani inferiori. Per tutte le tre combinazioni di carico carenti, la crisi della struttura avviene al secondo piano F.T. (vedi tabella precedente). Si procede consolidando con cerchiature e con fibre di carbonio resistenti a taglio e flessione disposti negli elementi come riportato nel seguente architettonico:



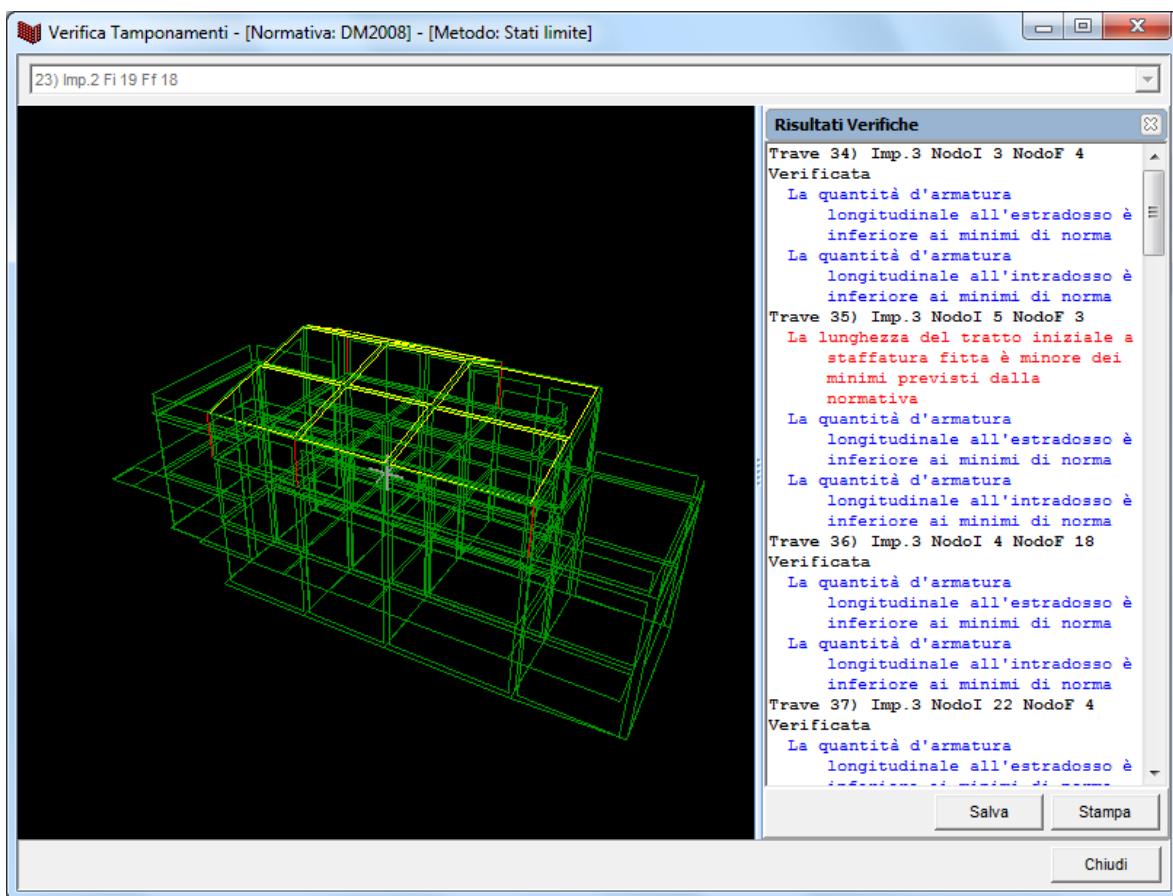
Rielaborando la struttura si ottengono i risultati riportati nella tabella successiva.

	Combinazione di carico	SLV	Massa partecipante	Meccanismo di piano
1	X(+) – Masse	1.10	65.81	1
2	X(–) – Masse	1.22	65.36	1
3	X(+) – Altezze	1.19	65.81	1
4	X(–) – Altezze	1.26	65.36	1
5	Y(+) – Masse	1.20	61.18	1
6	Y(–) – Masse	1.40	61.05	1
7	Y(+) – Altezze	1.20	61.18	1
8	Y(–) – Altezze	1.20	61.05	1

A questo punto del calcolo, sono soddisfatte tutte le richieste previste per l'analisi statica non lineare. Si procederà con tutte le verifiche locali degli elementi.

Fase di calcolo: 4

Effettuando le verifiche locali degli elementi ( icona per attivare le verifiche), il software evidenzia se ci sono elementi carenti di armatura (vedi immagine successiva).



Dalla precedente videata è possibile stampare i risultati per poi modificare agevolmente, in fase di input, i vari elementi. Tra le segnalazioni riportate, ci sono alcune travi carenti di armatura longitudinale dovuto ai minimi di normativa per le sollecitazioni applicate. In alcuni pilastri viene segnalato che la lunghezza dei tratti a staffatura fitta è insufficiente. La motivazione di quest'ultima carenza è dovuta al fatto che sono stati modificate le dimensioni dei pilastri, per cui è richiesta una lunghezza maggiore.

Fase di calcolo: 5

Aumentando i quantitativi di ferri (un po' per tentativi) negli elementi carenti segnalati dal software, si arriva a soddisfare tutte le prescrizioni e quindi alla conclusione del calcolo con esito positivo.

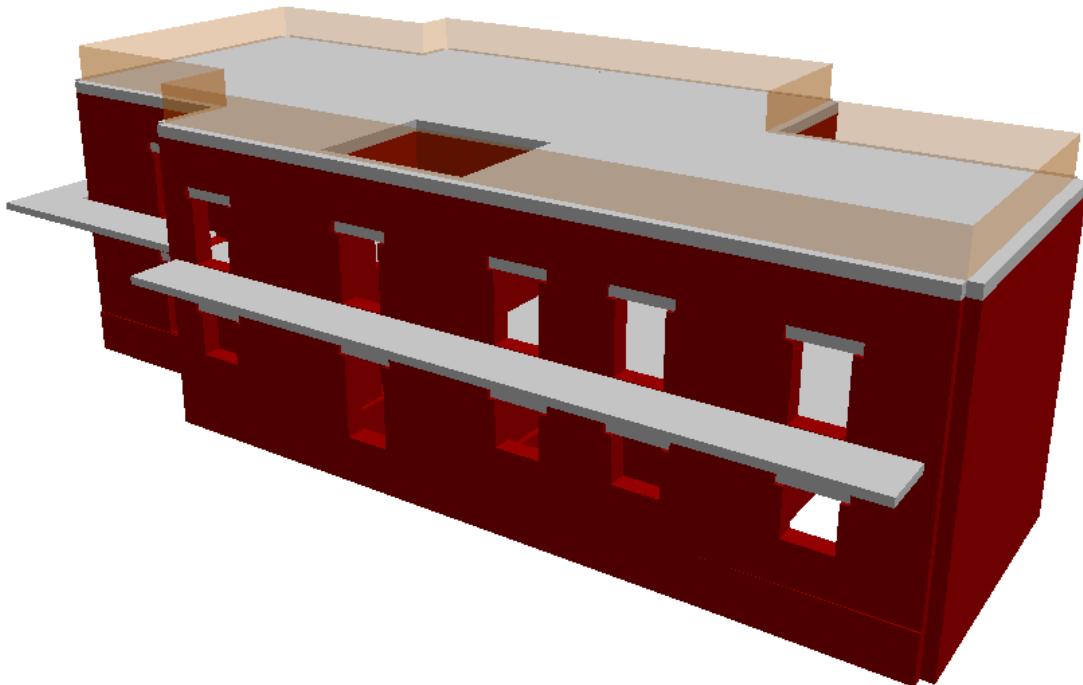
Gli elementi armati da input, vengono regolarmente graficizzati.

Esempio guidato per sopraelevazione in acciaio

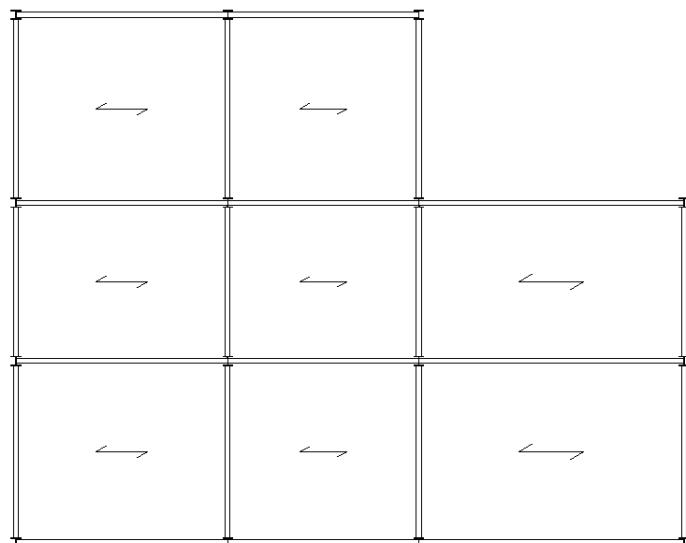
Dalla versione 14.0.0 di **VEM_{NL}** è possibile realizzare sopraelevazioni completamente in acciaio. Vengono di seguito riportati i passi da seguire per poter realizzare il piano di sopraelevazione.

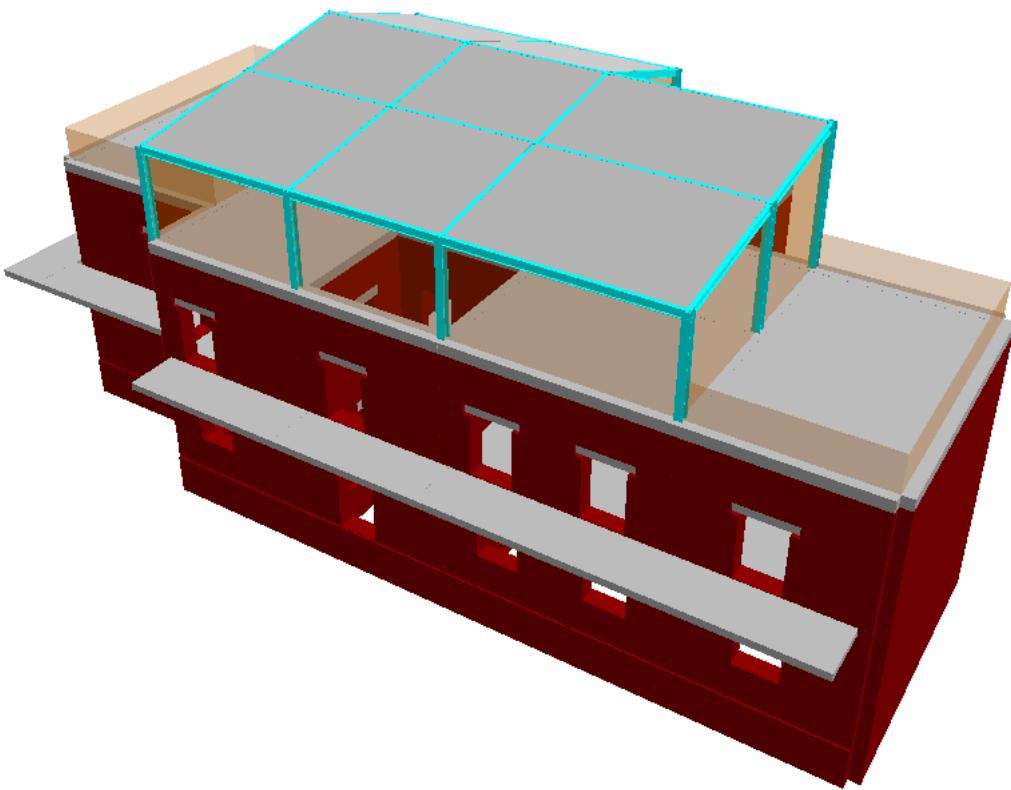
Esempio 2

Si vuole realizzare una sopraelevazione in acciaio della struttura a 2 piani F.T. riportata nella figura successiva. Tutti i dati relativi alla struttura sono riportati nell'esempio presente nel CD di installazione.



La sopraelevazione deve essere ancorata al cordolo di coronamento presente sull'ultimo piano in muratura. Per i cordoli valgono le stesse considerazioni viste nell'esempio precedente. Come primo tentativo di progettazione, si assumono per i pilastri profili HEA 220 e per le travi profili IPE 220 (vedi elaborati successivi):





Fase di calcolo: 1

A differenza delle sopraelevazione in c.a., in questo caso non è richiesto l'onere dell'inserimento manuale delle armature. Di contro, si riscontrano spesso valori della massa partecipante del primo modo inferiore rispetto a quelli ottenuti per edifici in c.a. (gli elementi in acciaio sono molto più deformabili degli elementi in c.a.).

Analizzando la struttura si ottengono i risultati riportati nella tabella successiva:

	Combinazione di carico	SLV	Massa partecipante	Meccanismo di piano
1	X(+) – Masse	2.63	21.99	1
2	X(–) – Masse	3.80	21.80	1
3	X(+) – Altezze	1.58	21.99	2
4	X(–) – Altezze	1.83	21.80	2
5	Y(+) – Masse	1.68	32.25	1
6	Y(–) – Masse	1.67	31.71	1
7	Y(+) – Altezze	0.31	32.25	3
8	Y(–) – Altezze	0.34	31.71	3

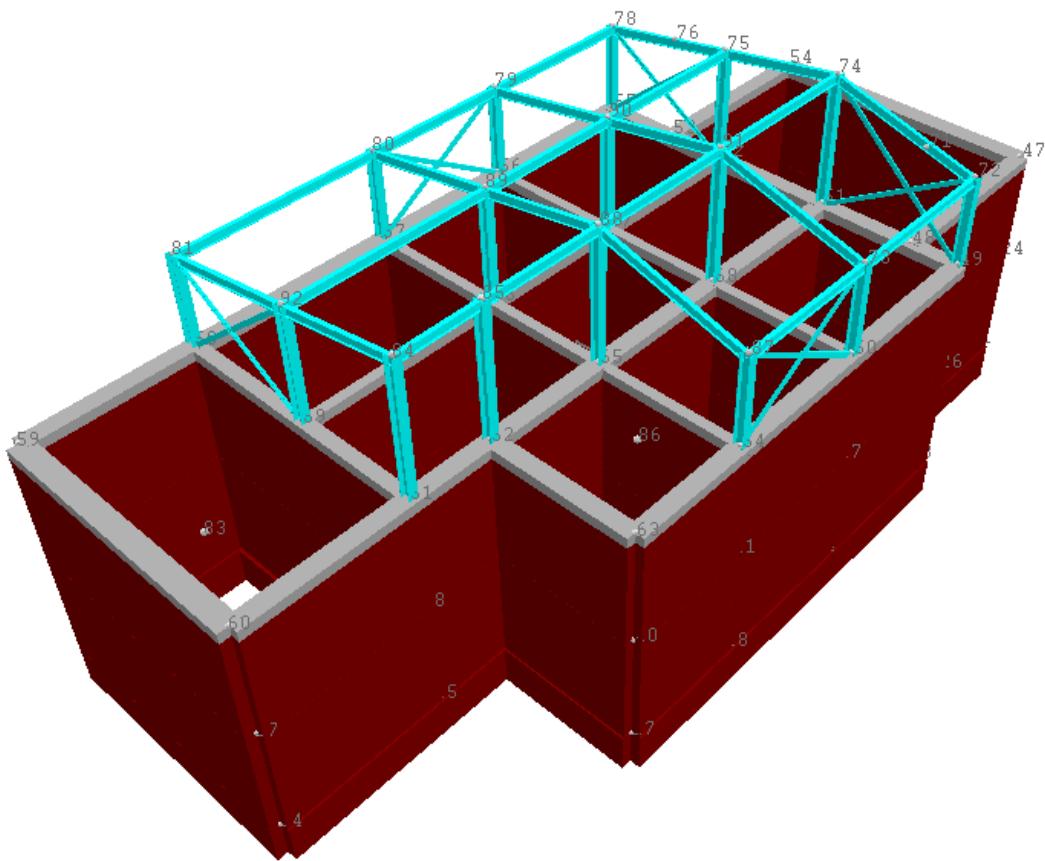
Dalla precedente tabella si evince che per alcune combinazioni di carico (7, 8) non è soddisfatta la verifica SLV. Per tutte le combinazioni di carico, la massa partecipante è inferiore al 60%. Per alcune combinazioni di carico (7, 8) il meccanismo di piano avviene nel piano di nuova costruzione.

Fase di calcolo: 2

Come primo intervento, occorre aumentare la massa partecipante del primo modo nei casi in cui è inferiore al 60% ed evitare che il piano debole sia quello di nuova costruzione. In questo caso, per aumentare la massa partecipante del primo modo, occorre intervenire, prevedendo controventature che ne

Sopraelevazioni in c.a. ed acciaio su edifici in muratura

diminuiscono gli spostamenti relativi (da collocare naturalmente dove non sono previste aperture). I controventi possono essere inseriti dall'input 3D del software ().



Intervenendo con controventi UPN 140 con la disposizione riportata nella precedente figura, ed utilizzando profili HEA 280 per le colonne ed IPE 270 per le travi si perviene ai risultati riportati nella tabella successiva:

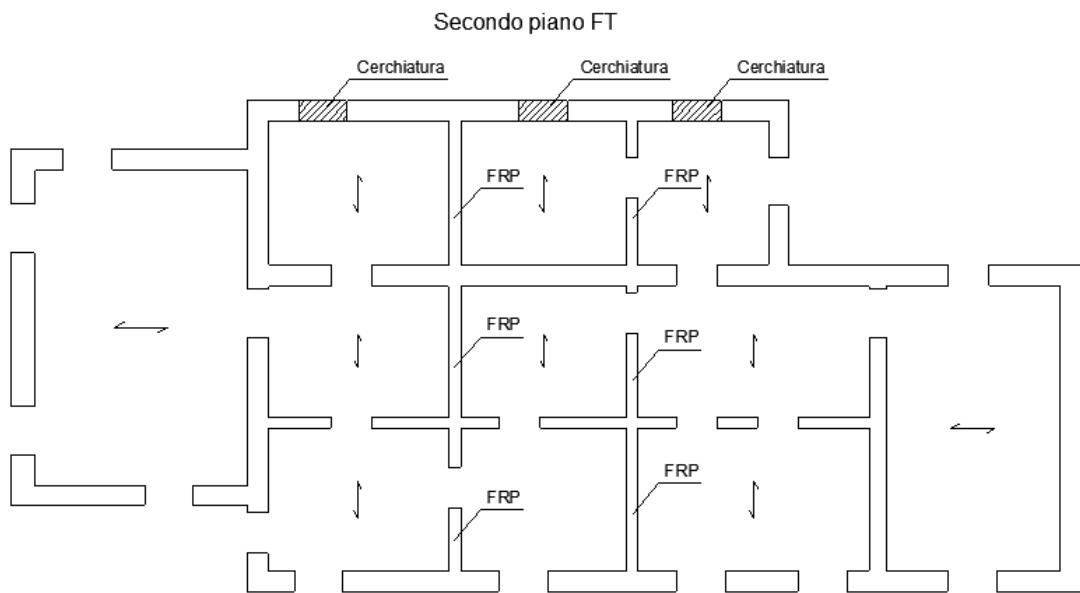
	Combinazione di carico	SLV	Massa partecipante	Meccanismo di piano
1	X(+) - Masse	1.06	60.21	1
2	X(-) - Masse	1.52	60.88	1
3	X(+) - Altezze	0.80	60.39	2
4	X(-) - Altezze	0.81	60.88	2
5	Y(+) - Masse	1.23	61.69	1
6	Y(-) - Masse	1.23	60.69	1
7	Y(+) - Altezze	0.91	61.69	2
8	Y(-) - Altezze	1.68	60.61	2

In questa fase, per tutte le combinazioni di carico la massa partecipante del primo modo è superiore al 60%. Non ci sono combinazioni di carico per le quali il meccanismo di piano avviene in sopraelevazione. Rimangono tre combinazioni di carico (3, 4 e 7) per le quali l'esito della verifica non è soddisfatto.

Fase di calcolo: 3

Per incrementare la resistenza della struttura occorre procedere consolidando la muratura nei piani inferiori. Per tutte le tre combinazioni di carico carenti, la crisi della struttura avviene al secondo piano F.T.

(vedi tabella precedente). Consolidiamo i piani in muratura in modo analogamente a come visto per la sopraelevazione in c.a. (vedi architettonico successivo)



Rielaborando la struttura si ottengono i risultati riportati nella tabella successiva.

	Combinazione di carico	SLV	Massa partecipante	Meccanismo di piano
1	X(+) – Masse	1.06	61.12	1
2	X(–) – Masse	1.54	61.28	1
3	X(+) – Altezze	1.15	61.32	1
4	X(–) – Altezze	1.03	61.28	1
5	Y(+) – Masse	1.23	62.08	1
6	Y(–) – Masse	1.73	61.06	1
7	Y(+) – Altezze	1.22	62.08	1
8	Y(–) – Altezze	1.22	60.98	1

A questo punto del calcolo, sono soddisfatte tutte le richieste dell'analisi statica non lineare. Occorre procedere con tutte le verifiche locali degli elementi.

Fase di calcolo: 4

Effettuando le verifiche locali degli elementi (icona per attivare le verifiche), il software evidenzia se ci sono elementi che non rispettano le prescrizioni delle verifiche locali degli elementi. Dal calcolo non emergono segnalazioni, per cui si può ritenere completato il calcolo relativo alle membrature della struttura.

Fase di calcolo: 5

Rimangono ancora da progettare i collegamenti degli elementi in acciaio. Per quanto riguarda i collegamenti degli elementi in acciaio con i cordoli in c.a. sottostanti occorre incrementare le sollecitazioni del 30%. Automaticamente dal software è possibile progettare le unioni attraverso il comando contrassegnato dall'icona .

