

manuale  
d'uso

**VEMNL**  
femwall

Software per edifici in muratura

[www.stacec.com](http://www.stacec.com)



 **STACEC**

## COPYRIGHT

Tutto il materiale contenuto nella confezione (CD contenente i file dei software, chiave di protezione, altri supporti di consultazione) è protetto dalle leggi e dai trattati sul copyright, nonché dalle leggi e trattati sulle proprietà intellettuali.

È vietata la cessione o la sublicenziazione del software a terzi.

È altresì vietata la riproduzione del presente manuale in qualsiasi forma e con qualsiasi mezzo senza la preventiva autorizzazione scritta del produttore.

Informazioni e permessi sui prodotti o parti di essi possono essere richiesti a:



Stacec s.r.l.  
Software e servizi per l'ingegneria  
Corso Umberto I, 358  
89034 – Bovalino (RC)

Tel. 0964/67211  
Fax. 0964/61708



Data revisione. 03/2018.  
VEM<sub>NL</sub> 22.0.0

## **Sommario**

Sommario .....	3
Introduzione .....	7
Note di installazione .....	9
Capitolo 1 - L'interfaccia principale e dati di input.....	11
1.1     – Introduzione .....	11
1.2     – Interfaccia Principale.....	11
1.2.1    – Menu File .....	11
1.2.1.1 – Nuovo .....	11
1.2.1.2 – Apri .....	12
1.2.1.3 – Riapri .....	12
1.2.1.4 – Salva .....	12
1.2.1.5 – Salva con nome.....	12
1.2.1.6 – Invia.....	12
1.2.2    – Menu Struttura .....	13
1.2.2.1   – Intestazione.....	13
1.2.2.2   – Dati Generali .....	14
1.2.2.3   – Combinazione di carico .....	20
1.2.2.4   – Tipologie materiali .....	24
1.2.2.5   – Tipologie solai .....	35
1.2.2.6   – Tipologie piastre .....	36
1.2.2.7   – Editor consolidamento .....	39
1.2.2.8   – Altezze piani .....	39
1.2.2.9   – “Carichi tipo” ai piani.....	40
1.2.2.9 – Input Grafico.....	42
1.2.2.10 – Input 3D .....	42
1.2.2.11 – Visione 3D .....	42
1.2.2.12 – Editor profilati .....	42
1.2.2.13 – Editor tipologie solai .....	44
1.2.2.14 – Editor tipologie tamponamenti.....	54
1.2.3    – Menu Elaborazione .....	55
1.2.3.1 – Calcolo dei meccanismi locali .....	55
1.2.3.2 – Calcolo .....	57
1.2.3.3 – Verifiche .....	63
1.2.4    – Menu Output .....	77
1.2.4.1 – Risultati di calcolo dei Meccanismi Locali .....	77
1.2.4.2 – Risultati di calcolo per Analisi Statica Non Lineare .....	79
1.2.4.3 – Risultati di calcolo per Analisi Statica Lineare e Dinamica Lineare .....	82
1.2.4.4 – Risultati verifiche .....	84
1.2.4.6 – Computi dei materiali .....	114
1.2.4.7 – Graficizzazione.....	115
1.2.4.8 – Carpenterie .....	126
1.2.5    – Menu Help .....	128
1.3     – La visualizzazione 3D. ....	129
1.4     – L'Input Grafico.....	133
1.4.1    – Comandi generali dell’”Input Grafico” .....	133
1.4.2    – Funzionamento dell’input.....	134
1.4.2.1 – Fili Fissi .....	135
1.4.2.2 – Tipologie sezioni.....	143
1.4.2.3 – Pilastri.....	145
1.4.2.4 – Travi/Cordoli .....	146
1.4.2.5 – Tipologie colonne stratigrafiche .....	149
1.4.2.6 – Colonne stratigrafiche .....	158
1.4.2.7 – Tipologia muratura armata .....	159

1.4.2.8 – Pareti .....	159
1.4.2.9 – Definizione Telai.....	163
1.4.2.10 – Modellazione 3D.....	164
1.4.2.11 – Visione 3D .....	164
1.4.2.12 – Tipologie Plinti .....	164
1.4.2.13 – Plinti.....	167
1.4.2.14 – Platee .....	168
1.4.2.15 – Volte .....	170
1.4.2.16 – Carichi .....	174
1.4.2.17 – Input Ferri Elementi c.a. ....	179
1.4.2.18 – Vincoli interni .....	179
1.4.2.19 – Introduzione di fori, archi, architravi, fessure e carichi concentrati su pareti ...	180
1.4.2.20 – Editor consolidamenti.....	188
1.4.2.21 – Consolidamenti.....	214
1.4.2.22 – Modifica quote lineare .....	215
1.4.2.23 – Copia Elementi.....	215
1.4.2.24 – Copia Piano .....	216
1.4.2.25 – Cancella Elementi .....	217
1.4.2.26 – Sposta struttura .....	217
1.4.2.27 – Ruota struttura.....	218
1.4.2.28 – Evidenzia elementi .....	218
1.4.2.29 – Misura Distanza.....	218
1.5 – L'Input dei ferri. ....	219
1.5.1 – Comandi generali dell'"Input dei ferri".....	219
1.5.2 – Funzionamento dell'input.....	220
1.6 – La Modellazione 3D. ....	225
1.6.1 – Comandi della "Modellazione 3D" .....	226
1.6.1.1 – Nodi .....	226
1.6.1.2 – Punto di controllo.....	228
1.6.1.3 – Aste .....	228
1.6.1.4 – Mensole .....	229
1.6.1.5 – Master/Slave .....	230
1.6.1.6 – Carichi concentrati.....	230
1.6.1.7 – Vincoli interni .....	232
1.6.1.8 – Carichi ripartiti .....	233
1.6.1.9 – Ferri .....	234
1.6.1.11 – Misura Distanza.....	235
1.7 – Consolidamenti. ....	235
<b>Capitolo 2 - Il motore di calcolo .....</b>	<b>257</b>
2.1 – Introduzione. ....	257
2.2 – Oggetti ed elementi.....	257
2.3 – Sistema di coordinate. ....	258
2.4 – Nodi e gradi di libertà. ....	260
2.5 – Relazioni Master-Slave. ....	261
2.6 – Proprietà dei materiali. ....	261
2.7 – Elementi BEAM e TRUSS.....	263
2.8 – Elemento FOND.....	264
2.9 – Elemento SHELL. ....	265
2.10 – Condizioni di carico .....	268
2.11 – Tipi di analisi .....	269
2.11.1 – Analisi Statica Lineare.....	269
2.11.2 – Analisi Dinamica Lineare.....	269
2.11.3 – Analisi Statica non Lineare (Analisi Pushover) .....	271
2.11.3.1 – Comportamento meccanico delle pareti in muratura .....	273
2.11.3.2 – Comportamento meccanico di pilastri e pareti in c.a. ....	276
2.11.3.3 – Curva di capacità.....	278
2.11.3.4 – Verifiche sismica globale.....	281
2.11.4 – Muratura Armata .....	282

Capitolo 3 - Le verifiche strutturali.....	284
3.1      – Introduzione .....	284
3.2      – Elementi in Muratura.....	284
3.2.1   – Pressoflessione nel piano.....	284
3.2.2   – Taglio .....	285
3.2.3   – Pressoflessione fuori piano. ....	285
3.3      – Elementi in c.a.....	287
3.3.1   – Travi e Pilastri .....	287
3.3.1.1 – Presso/Tenso-Flessione deviata (Stati limite).....	288
3.3.1.2 – Taglio (Stati limite).....	290
3.3.1.3 – Torsione (Stati limite) .....	291
3.3.1.4 – Stato Tensionale .....	292
3.3.1.5 – Fessurazione .....	292
3.3.2   – Pali di fondazione .....	294
3.3.2.1 – Teoria di Bowles.....	294
3.3.2.2 – Teoria di Kerisel-Caquot .....	295
3.3.2.3 – Teoria di Terzaghi .....	295
3.3.2.4 – Teoria di Lancellotta.....	296
3.4      – Elementi in Acciaio.....	297
3.4.1   – Verifiche di resistenza .....	297
3.4.2   – Verifiche di stabilità globale. ....	297
3.4.3   – Verifiche allo svergolamento .....	298
3.5      – Elementi in Legno .....	299
3.5.1   – Verifica a Tensoflessione .....	299
3.5.2   – Verifica a Pressoflessione .....	299
3.5.3   – Verifica a Taglio .....	300
3.5.4   – Verifica a Torsione.....	300
3.5.5   – Verifica di Stabilità .....	300
3.5.6   – Verifica a Svergolamento .....	302
3.6      – Elementi in Muratura armata.....	302
3.6.1   – Verifica a presso-flessione nel piano e fuori piano.....	302
3.6.2   – Verifica a taglio .....	302
3.6.3   – Verifica delle armature minime previste dalle normative.....	303
Capitolo 4 - Consolidamenti per edifici in muratura .....	304
4.1      – Introduzione .....	304
4.2      – Cuci-Scuci .....	304
4.3      – Intonaco armato .....	304
4.4      – Pareti c.a .....	306
4.5      – Iniezioni di malta .....	307
4.6      – Diatoni artificiali .....	308
4.7      – Telai metallici .....	309
4.8      – Cerchiature.....	312
4.9      – Tiranti metallici .....	313
4.10    – Rinforzi con FRP .....	315
4.10.1  – Resistenza alla delaminazione.....	315
4.10.2  – Cuciture di lesione con rete FRP .....	316
4.10.3  – Intonaco armato con rete FRP .....	317
4.10.4  – Cerchiature esterne .....	317
4.10.5  – Rinforzo a flessione e taglio nel piano e fuori piano con FRP .....	319
4.10.5.1 – Rinforzo a pressoflessione per maschi murari .....	319
4.10.5.2 – Rinforzo a taglio per maschi murari.....	321
4.10.5.3 – Rinforzo a flessione per fasce di piano .....	322
4.10.5.4 – Rinforzo a taglio per fasce di piano .....	323
Capitolo 5 - Meccanismi locali.....	324
5.1      – Introduzione .....	324
5.2      – Tecniche di calcolo .....	324
5.2.1   – Analisi cinematica lineare .....	324

5.2.2 – Analisi cinematica non lineare .....	325
5.2.2.1 – Determinazione della curva di capacità .....	325
5.2.2.2 – Determinazione della curva di capacità dell'oscillatore equivalente .....	326
5.2.2.3 – Resistenza e capacità di spostamento.....	327
5.2.2.4 – Verifiche di sicurezza .....	327
5.2.3 – Azioni sul meccanismo locale.....	329
 Capitolo 6 - Sopraelevazioni in c.a. ed acciaio su edifici in muratura .....	331
6.1 – Introduzione .....	331
6.2 – Sopraelevazione in c.a.....	332
6.3 – Sopraelevazione in acciaio .....	334

## **Introduzione**

**VEM<sub>NL</sub>** è lo strumento ottimale per il professionista che desidera avere il pieno controllo del calcolo di edifici in muratura in ogni sua fase.

**VEM<sub>NL</sub>** calcola edifici costituiti prevalentemente da setti murari, con la possibilità di inserire elementi di altro materiale (pilastri in c.a., travi in c.a., pareti in c.a., legno ed acciaio). È possibile modellare la struttura agli elementi finiti, sia facendo la schematizzazione dei setti murari a mesh che a telaio equivalente. Il calcolo viene eseguito relativamente alle condizioni di carico permanente, accidentale, stress termico e sismico. Le varie combinazioni di carico, da inviluppare nel rispetto dei tipi SLU, SLD e SLE sono, inoltre, facilmente personalizzabili tramite opportuni coefficienti di combinazione. Il programma provvede anche alla generazione automatica di una condizione di carico relativa al sisma verticale qualora si ricada nelle prescrizioni descritte D.M. 17/01/2018. Il sisma verticale può essere, quindi, aggiunto alle combinazioni agendo sui singoli coefficienti. È possibile effettuare l'analisi statica lineare e dinamica lineare considerando la discretizzazione della struttura sia a mesh che a telai equivalenti dei setti murari, e l'analisi statica non lineare con discretizzazione della struttura a telai equivalenti.

La visualizzazione dei risultati di calcolo si sviluppa in un apposito ambiente dove, per l'analisi statica lineare e dinamica lineare è possibile controllare i valori relativi agli spostamenti o alle sollecitazioni per mezzo di rappresentazioni tridimensionali della struttura e di diagrammi o colormap, mentre per l'analisi statica non lineare è possibile visualizzare i risultati della verifica sismica globale.

**VEM<sub>NL</sub>** oltre al calcolo e verifiche dei maschi murari (muratura ordinarie ed armata) effettua calcolo e verifiche di tutti gli elementi in cemento armato (pilastri, pareti, platee, cordoli di coronamento, travi di elevazione e di fondazione, architravi, plinti e pali di fondazione), legno ed acciaio (travi di elevazione ed architravi) di cui è costituita la struttura, fornendo inoltre tutti gli elaborati grafici necessari per la corretta realizzazione in cantiere.

Per quel che riguarda le verifiche agli stati limite ultimi, di danno e di esercizio, nonché diametri e lunghezze commerciali sono definibili facilmente dalle opzioni di graficizzazione. Tutto ciò calcolato e verificato viene riportato oltre che nella dettagliata relazione di calcolo (modulabile secondo le esigenze di stampa) anche nei dettagliati esecutivi con tutte le indicazioni costruttive utili alla realizzazione delle opere.

La risoluzione dell'analisi statica lineare della struttura avviene risolvendo un sistema di equazioni lineari. L'analisi dinamica lineare è basata sulla ricerca degli autovalori ed autovettori di un problema agli autovalori generalizzato dove la distribuzione della massa della struttura è di tipo consistente. L'analisi statica non lineare è basata sull'incremento delle azioni sismiche fino al raggiungimento del collasso della struttura.

Il presente manuale contiene le informazioni necessarie alla comprensione dei parametri utili nelle varie fasi del programma, e richiami di teoria utilizzata per la realizzazione degli algoritmi di calcolo di **VEM<sub>NL</sub>**.

### **Normativa Rispettata.**

- **Legge 05/11/1971 - N.1086:**  
"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica."
- **Legge 02/02/1974 - N.64:**  
"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche."
- **D.M. 14/02/1992:**

“Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.”

▪ **D.M. 09/01/1996:**

“Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.”

▪ **D.M. 16/01/1996:**

“Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.”

▪ **D.M. 16/01/1996:**

“Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.”

▪ **Circolare Ministero LL.PP. 04/07/1996:**

'Istruzioni per l'applicazione dei <<Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.>>'

▪ **Circolare Ministero LL.PP. 15/10/1996:**

“Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.”

▪ **Circolare Ministero LL.PP. 10/04/1997:**

“Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.”

▪ **Ordinanza del Presidente del Consiglio 3274 - 08/05/2003 e successive modifiche e integrazioni:**

“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.”

▪ **Ordinanza del Presidente del Consiglio 3431 - 03/05/2005:**

“Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio 3274 - 08/05/2003.”

▪ **Norme Tecniche C.N.R. 10011:**

“Costruzioni di acciaio - Istruzione per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.”

▪ **D.M. 14/09/2005 (NTC):**

“Norme tecniche sulle costruzioni.”

▪ **D.M. 14/01/2008 (NTC):**

“Norme tecniche per le costruzioni.”

▪ **Circ 617/2009 (“Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni”):**

“Norme tecniche per le costruzioni.”

▪ **CNR – DT 200/2004 (“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”):**

▪ **D.M. 17/01/2018 (NTC):**

“Norme tecniche per le costruzioni.”

## **Note di installazione**

Nel presente paragrafo sono contenute le informazioni nei riguardi dell'installazione di VEM<sub>NL</sub>.

La prima operazione da effettuare è l'inserimento della chiave Hardware fornita da Stacec, utile al riconoscimento delle informazioni di installazione e dell'utente. La chiave può essere di tipo parallelo o Usb. La chiave parallela non pregiudica il funzionamento di ulteriori hardware collegati alla porta parallela.

Dopo l'inserimento del CD, attendere l'avvio automatico del menu di installazione. Se ciò non dovesse avvenire automaticamente, eseguire (con il comando Esegui dal menu Avvio o Start) il file Stacec.exe presente sul CD.

Più precisamente cliccare su "Sfoglia", selezionare il file "Stacec.exe" presente nella cartella del CD di installazione e, dopo aver caricato il percorso nella casella di testo, cliccare su "OK".

A questo punto viene visualizzata la finestra di installazione dei prodotti Stacec da cui è possibile selezionare il software voluto.

Il CD di installazione contiene:

- **Software** FaTA-e, VEM<sub>NL</sub>, SWStrutture, StruSec, Fondazioni, RelGen, MaSt;
- **Manuali d'uso** ed esempi guidati (in formato RTF e PDF);
- **Archivi di esempio** VEM<sub>NL</sub>;
- **Utility** (DirectX - drivers chiave per Windows 2000/NT - RunTime Visual Basic – ecc.).

Selezionare la procedura desiderata, tenendo presente che saranno abilitati per il funzionamento solamente i programmi per cui si possiede la licenza d'uso.

Dopo l'installazione dei programmi, saranno create le relative icone sul desktop di Windows, dalle quali sarà possibile l'avvio dei software.

I prodotti Stacec sono corredati da una guida in linea che potrà essere consultata in qualsiasi fase premendo il tasto F1. Sul CD di installazione sono contenuti i manuali d'uso dei programmi, nella cartella Manuali. Sarà possibile, quindi, ottenere la stampa, cliccando direttamente dal menu di installazione.

### **IMPORTANTE!**

Prima di procedere con l'installazione del software, è consigliabile rimuovere eventuali versioni precedenti con la seguente procedura:

Avvio – Impostazioni - Pannello di controllo - Installazione Applicazioni

Selezionare, quindi, dalla lista, il programma da rimuovere e cliccare su:

Aggiungi/Rimuovi

N.B. - Gli archivi relativi ai software stacec eventualmente presenti, rimarranno inalterati.



# Capitolo 1

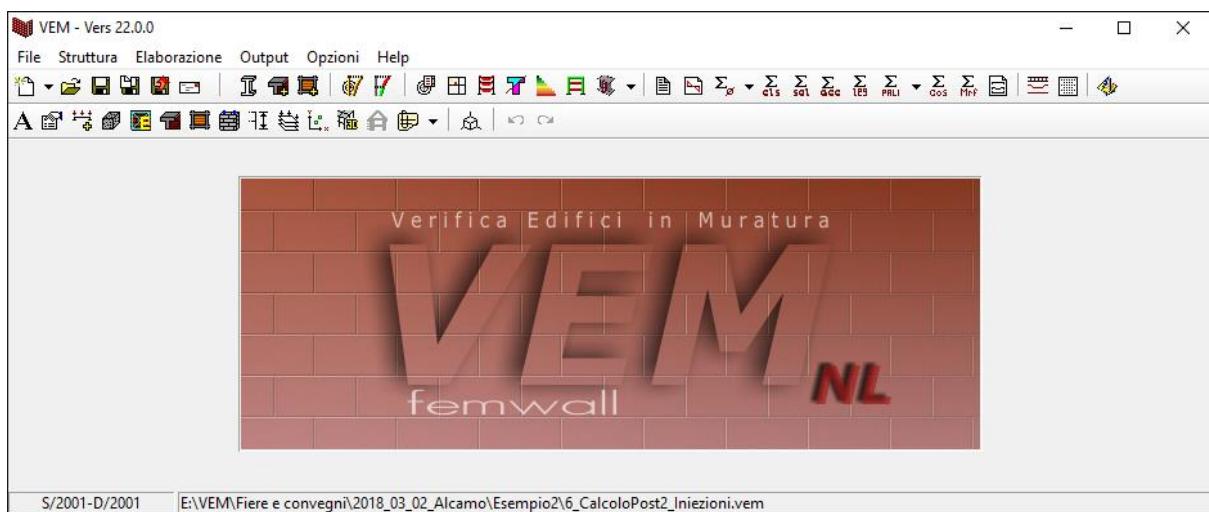
## L'interfaccia principale e dati di input

### 1.1 – Introduzione

In questo capitolo tratteremo tutti i comandi (di input e creazione output) presenti in VEM<sub>NL</sub>. La descrizione avviene secondo l'ordine descritto nella barra dei menu.

### 1.2 – Interfaccia Principale

All'avvio, VEM<sub>NL</sub> si presenta secondo una finestra ridotta in cui sono presenti i menu contenenti i comandi e le toolbar grafiche riferite agli stessi comandi:



All'avvio viene automaticamente aperto l'ultimo archivio salvato in VEM<sub>NL</sub>. Questa operazione è seguita da una barra di avanzamento e, in funzione della dimensione del file da aprire, può richiedere alcuni secondi. Nei sottoparagrafi che seguiranno andremo ad “esplorare” i comandi di VEM<sub>NL</sub>.

#### 1.2.1 – Menu File.

È il menu di gestione dei file creati e utilizzati in VEM<sub>NL</sub>. L'estensione propria utilizzata è identificata con il codice “.vem”.

Il menu File è composto dai seguenti comandi:

##### 1.2.1.1 – Nuovo

Il comando contrassegnato dall'icona  consente la creazione di un nuovo file .vem relativo alla struttura calcolata. Alla pressione vengono impostati automaticamente i valori delle variabili ai valori di default. Affinché l'input dei dati possa essere completo è obbligatorio impostare i dati contenuti nell'ambiente "Dati Generali".

#### 1.2.1.2 – Apri

Il comando contrassegnato dall'icona  consente l'apertura di un file precedentemente creato con VEM<sub>NL</sub>.

#### 1.2.1.3 – Riapri

Consente l'apertura di un file utilizzato recentemente. Selezionando questo comando comparirà una lista contenente gli ultimi nove file .vem utilizzati. In fondo all'elenco degli archivi è presente la voce relativa a tutti gli archivi aperti da VEM<sub>NL</sub>.

#### 1.2.1.4 – Salva

Il comando contrassegnato dall'icona  consente di salvare l'archivio aperto sovrascrivendo il file.

#### 1.2.1.5 – Salva con nome

Il comando contrassegnato dall'icona  consente di salvare l'archivio aperto con un altro nome creando un nuovo file. In questo caso è possibile scegliere le impostazioni di salvataggio relativamente alla presenza o meno dei seguenti elementi:

- **File risultati Calcolo;**
- **File risultati Verifiche;**
- **File Relazione;**
- **File Carpenterie;**

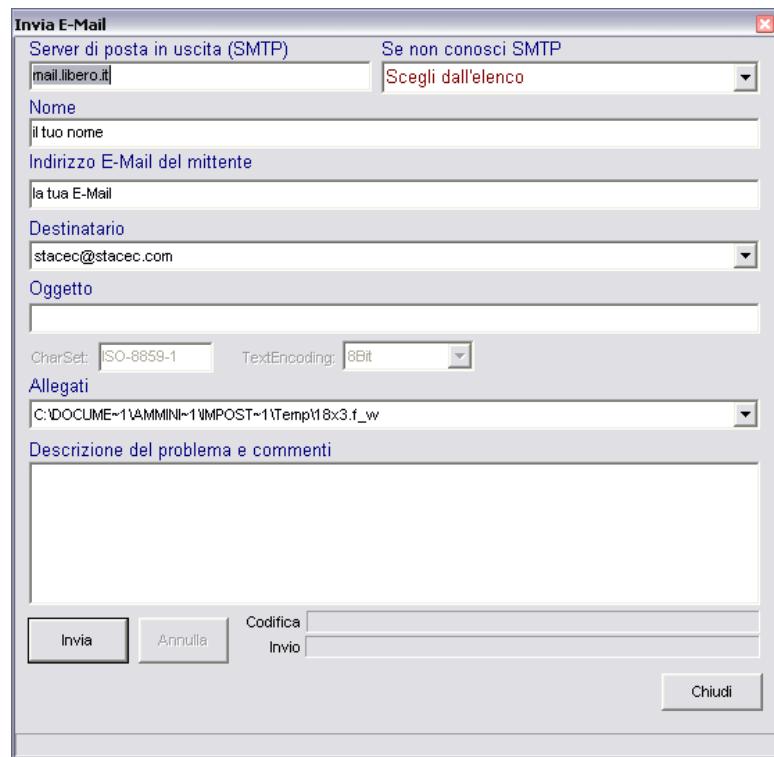
#### 1.2.1.6 – Invia

Il comando contrassegnato dall'icona  consente di inviare direttamente l'archivio all'assistenza **STACEC**. Alla pressione del corrispondente tasto viene visualizzata la seguente schermata:

Per spedire una e-mail contenente in allegato il file da spedire è possibile procedere nel seguente modo:

1. Inserire il nome server della propria posta in uscita nella casella 'Server di posta in uscita (SMTP)', se non lo si conosce selezionarlo dal menu a tendina 'Se non conosci SMTP'.
2. Inserire il proprio nome e cognome nella casella 'Nome', il proprio indirizzo di posta elettronica nella casella 'Indirizzo E-Mail del mittente', l'indirizzo del destinatario, da scegliere dal menu a tendina 'Destinatario' e inserire l'oggetto della e-mail nella casella 'Oggetto'.
3. L'archivio corrente sarà presente in modo automatico nella casella Allegati già zippato per poterlo spedire più velocemente.
4. Descrivere il problema che si è avuto con il software nella casella Descrizione del problema e commenti e cliccare quindi sul pulsante Invia.

A questo punto l'e-mail sarà inoltrata alla STACEC s.r.l. la quale sarà lieta, con il vostro aiuto di affrontare e risolvere il problema nel più breve tempo possibile.



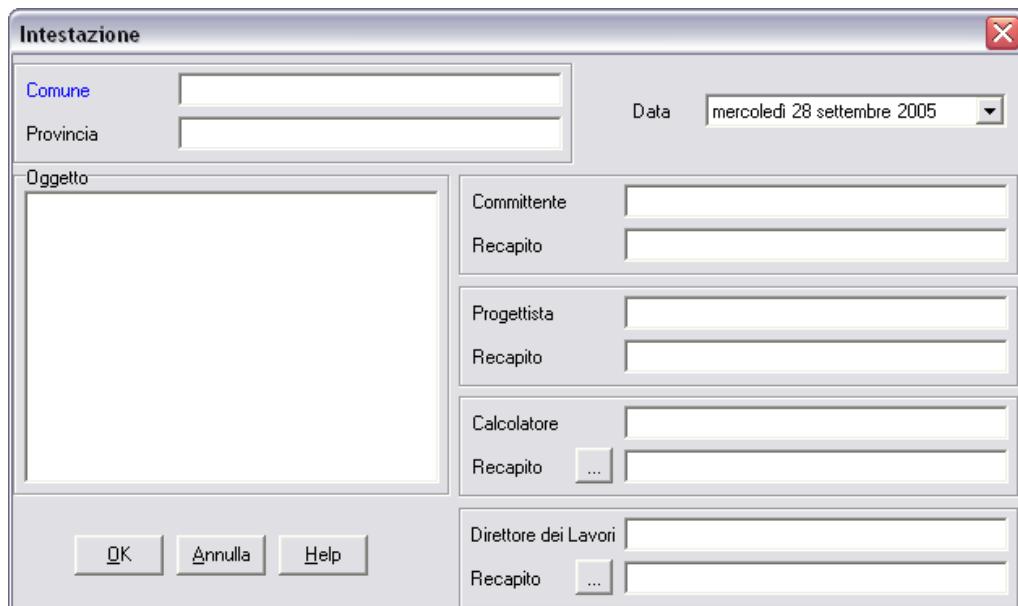
### 1.2.2 – Menu Struttura.

È il menu di gestione di tutti gli ambienti utili alla definizione dei dati utili a VEM<sub>NL</sub> per l'elaborazione della struttura.

Il menu Struttura è composto dai seguenti comandi:

#### 1.2.2.1 – Intestazione

Il comando contrassegnato dall'icona  consente di definire i dati informativi dell'opera e dei soggetti partecipanti relative all'intestazione della relazione di calcolo e dei disegni esecutivi. Alla pressione del corrispondente tasto viene visualizzata il seguente ambiente:



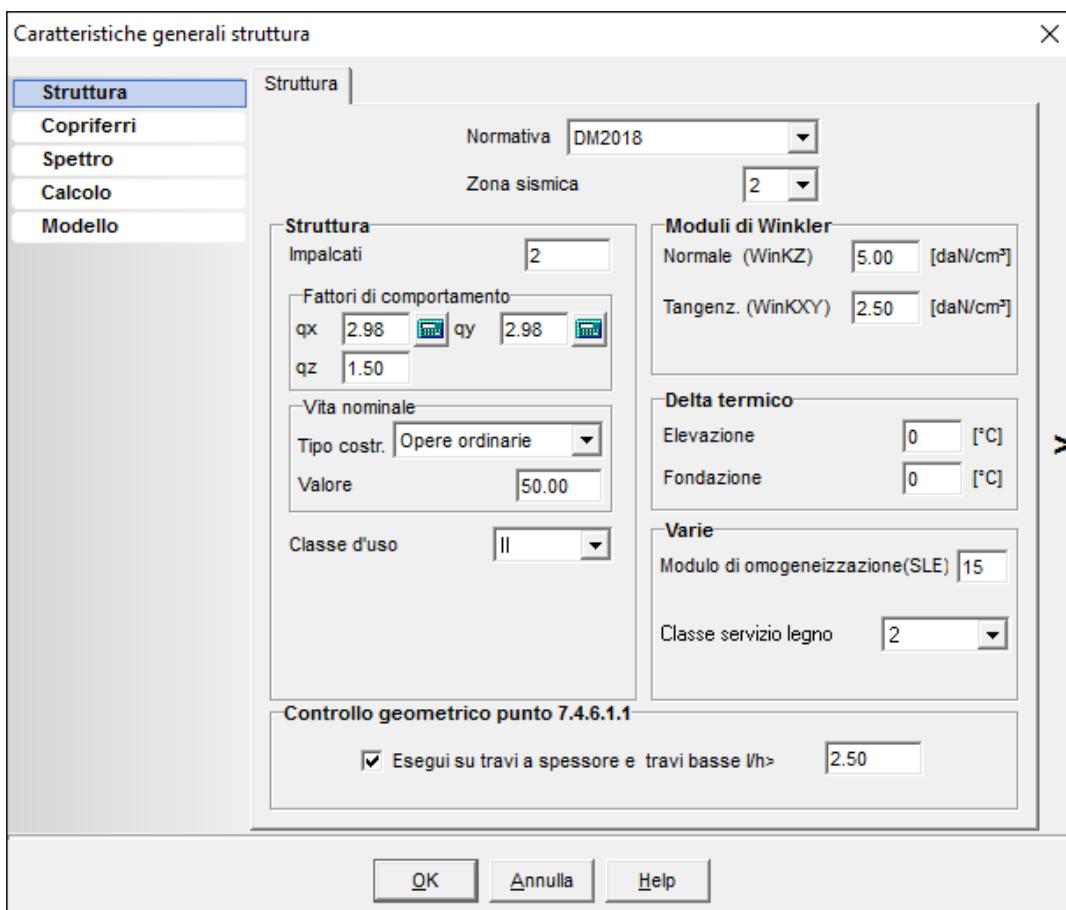
La descrizione dei campi risulta ovvia.

### 1.2.2.2 – Dati Generali

Il comando contrassegnato dall'icona consente di definire i parametri generali della struttura (Tipo Analisi, Numero Impalcati, Fattore di struttura, Terreno, Spettro, ecc.). La pressione del tasto “OK” comporta non solo l’uscita ma l’obbligo di ricalcolare la struttura con le relative verifiche. Per cui, se si vuole visionare solo i dati e non si vuole ricalcolare la struttura, uscire cliccando su “Annulla”.

#### 1.2.2.2.1 – Struttura

I dati da inserire in questa sezione sono commentati singolarmente sotto.



#### Normativa

Si seleziona la normativa con la quale calcolare la struttura. Allo stato attuale è possibile effettuare il calcolo secondo il D.M. 14/01/2008 ed il D.M. 17/01/2018. Se si desidera calcolare con altre normative (Circolare 21745 + DM 20/11/87; OPCM 3274; DM 2005 + OPCM 3274 non più applicabili) bisogna installare sul PC la versione 11 del software presente sul CD di installazione.

#### Zona sismica

Si seleziona il grado di sismicità della zona. Secondo il DM 14/01/2008 si hanno 4 zone sismiche ed una non sismica. La zona sismica non serve per il calcolo dell’intensità sismica che dipende dal sito della struttura ma solo per definire alcuni parametri necessari per l’esecuzione del calcolo.

## Struttura

I parametri relativi alla struttura sono:

- Numero impalcati;
- Fattori di comportamento (qx e qy);
- Fattori di struttura qz;
- Vita nominale;
- Tipo costruzione;
- Classe d'uso;

Il "Fattore di comportamento (qx e qy)" può essere inserito direttamente se si conosce già il valore, oppure può essere calcolato secondo le indicazioni contenute nelle varie normative. È richiesto solo nei casi in cui si effettua l'analisi lineare (non è richiesto per analisi non lineari). Il calcolo guidato può essere effettuato cliccando la seguente icona:



Il "Tipo costruzione" viene stabilito dal progettista, in funzione della destinazione d'uso della costruzione, tra i tipi: "Opere provvisorie", "Opere ordinarie", "Grandi opere". In funzione del Tipo di costruzione scelto, il software automaticamente inserisce il valore della vita nominale adeguato nella casella di testo "Valore". Il valore della vita nominale, in ogni caso, può anche essere stabilito dall'utente.

La Classe d'uso è definibile tra le quattro descritte dalla normativa: I, II, III, IV.

## Delta Termico

Il Delta Termico è considerato secondo una distribuzione costante su tutti gli elementi di valore pari a quello immesso, i dati inseribili sono relativi alla condizione di carico "DeltaT". È possibile assegnare i dati ricorrenti per le aste di elevazione e di fondazione in modo che vengano assegnati automaticamente all'inserimento degli elementi strutturali (travi, pilastri e platee). È possibile tuttavia modificare singolarmente il valore del salto termico ad ogni elemento strutturale. Nel caso in cui il valore di Dati Generali vengano modificati, verranno modificati anche gli elementi strutturali i cui valori non sono stati modificati singolarmente.

## Caratteristiche Terreno

I dati relativi al terreno sono:

- Modulo di Winkler normale in Kg/cm<sup>3</sup>;
- Modulo di Winkler tangenziale in Kg/cm<sup>3</sup>.

Il modulo normale simula una distribuzione di molle continua ortogonale alle facce della fondazione, mentre il modulo tangenziale agisce in direzione parallela alle facce stesse. Il valore del winkler è indicato in letteratura utilizzando dei valori medi tabellati oppure può essere calcolato mediante prove geotecniche relazionabili al valore del winkler. Si rimanda al capitolo "Il motore di calcolo" per l'approfondimento dei temi descritti.

## Modulo di omogeneizzazione

Per Modulo di omogeneizzazione si intende il rapporto tra il modulo elastico dell'acciaio ed il modulo elastico del calcestruzzo (generalmente si assume pari a 15 per tenere conto dei fenomeni viscose del calcestruzzo). Il suo utilizzo all'interno del programma è relativo alle sole verifiche di esercizio che richiedono la trattazione lineare del calcolo delle tensioni.

## Classe di servizio legno

Indica la classe di servizio del legno strutturale utilizzato.

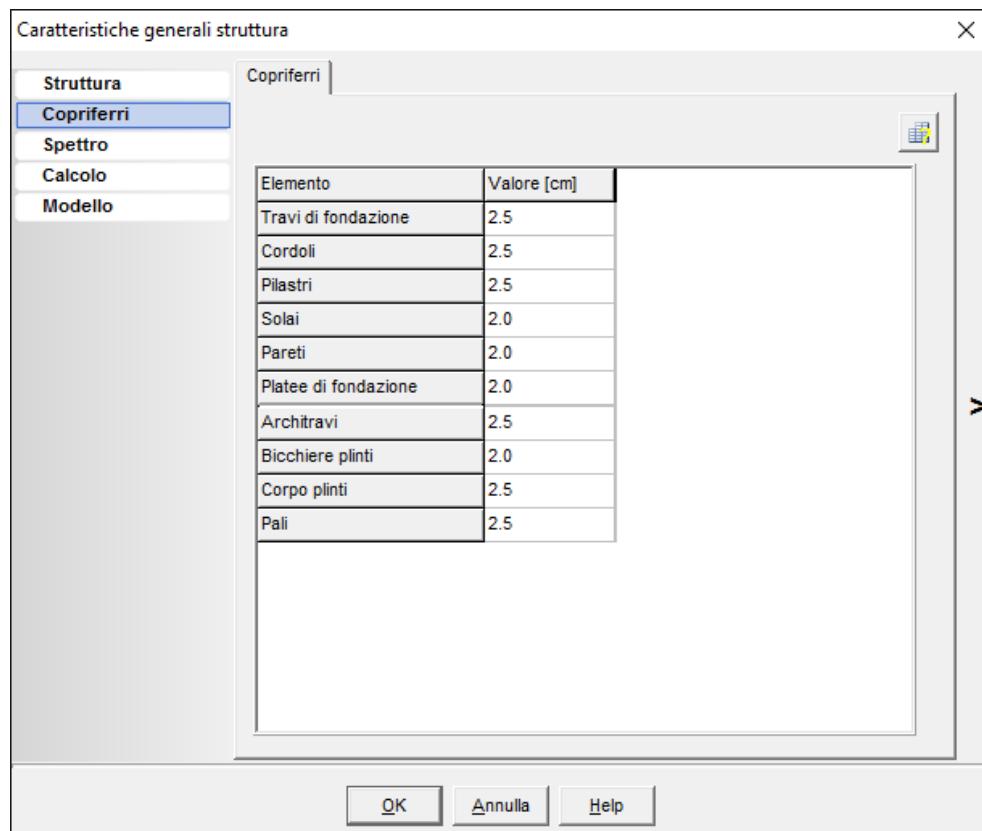
### Controllo geometrico punto 7.4.6.1.1

È possibile effettuare il controllo geometrico prescritto per le dimensioni delle travi basse e a spessore. La definizione di trave bassa è definita dall'utente agendo sul parametro numerico presente. Il default considera basse travi con la larghezza maggiore di 2.5 volte l'altezza della sezione.

#### 1.2.2.2.2 – Copriferri

Per continuità con le precedenti versioni è possibile definire in questa sezione dell'input i valori dei copriferri differenziati per tipo di elemento. Gli elementi considerati sono:

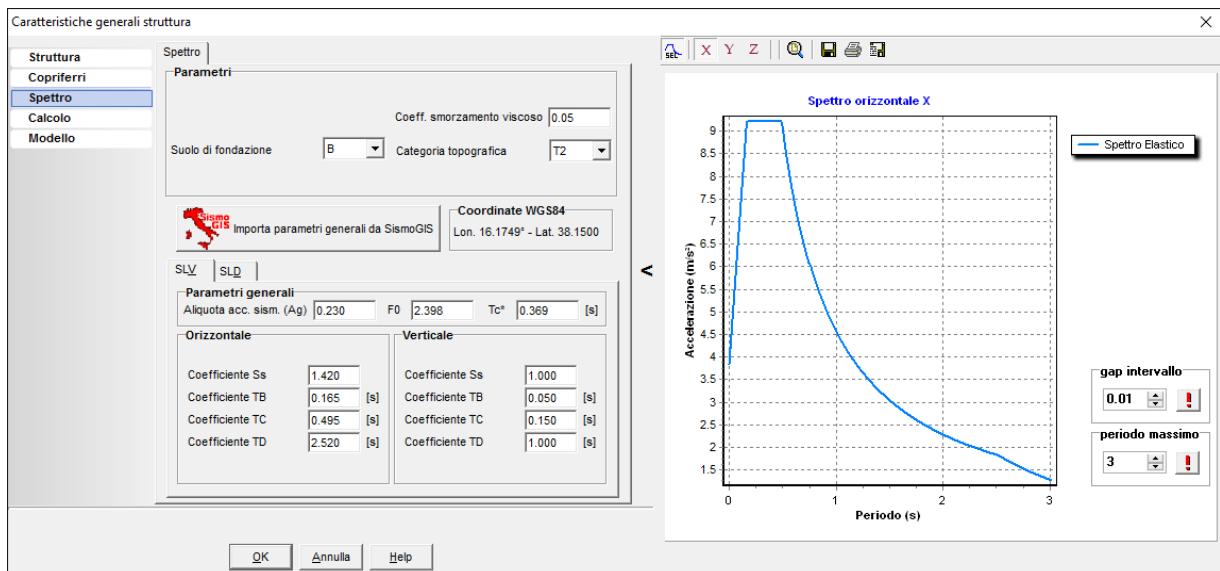
- Travi di fondazione
- Cordoli
- Pilastri
- Solai
- Pareti cls
- Platee di fondazione
- Architravi
- Bicchiere plinti
- Corpo plinti
- Pali



Il copriferro viene considerato come la distanza netta tra superficie esterna dell'elemento in c.a. e la superficie esterna della staffa.

### 1.2.2.2.3 – Spettro

La gestione dello spettro di risposta per i vari stati limite avviene utilizzando gli strumenti presenti nella pagina “Spettro”.



I parametri utili alla definizione degli spettri di progetto SLU e SLD sono:

- **Zona sismica (presente nella pagina "Struttura e calcolo");**
- **Suolo di fondazione;**
- **Tipo spettro;**
- **Categoria topografica;**
- **Coefficiente di smorzamento viscoso.**

In base ai parametri inseriti verranno automaticamente calcolati i parametri del sisma orizzontale e verticale:

- **Aliquota accelerazione sismica SLU;**
- **Aliquota accelerazione sismica SLD;**
- **Coefficiente S (per SLU e SLD);**
- **Coefficiente TB (per SLU e SLD);**
- **Coefficiente TC (per SLU e SLD);**
- **Coefficiente TD (per SLU e SLD).**

Le accelerazioni sismiche possono essere modificate anche inserendo dei valori intermedi tra le zone sismiche come descritto da alcune applicazioni regionali basate sulle carte di pericolosità sismica dell'INGV.

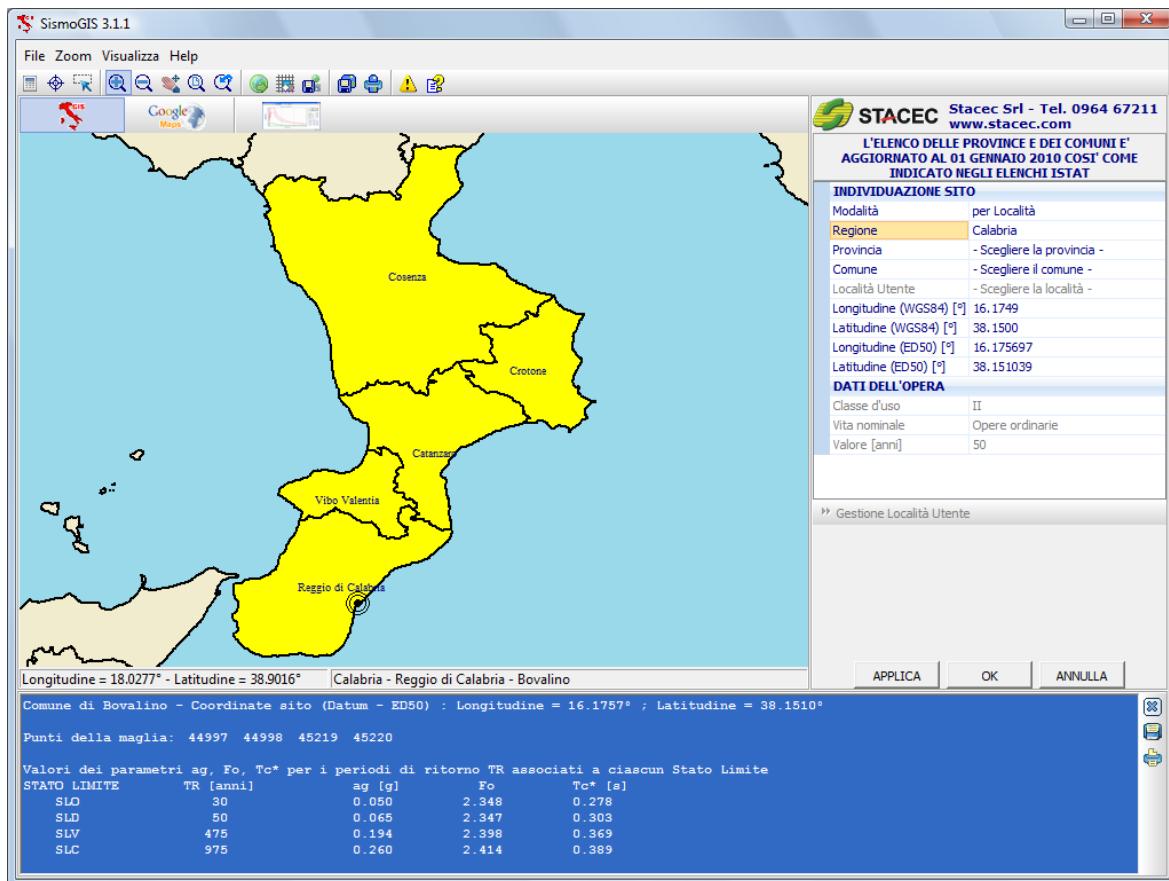
Il suolo di fondazione contempla oltre che ai tipi A, B, C, D, E, anche i tipi che richiedono studi speciali S1 e S2. In tal caso il valore dei parametri S, T<sub>B</sub>, T<sub>C</sub>, T<sub>D</sub>, devono essere specificati dall'utente per ogni stato limite.

Per il DM2018 sono da fornire i parametri riguardanti l'aliquota di accelerazione sismica (Ag), il coefficiente di amplificazione (Fo), il periodo di fine risonanza T<sub>C</sub>\*. In tal caso il valore dei parametri S, T<sub>B</sub>, T<sub>C</sub> e T<sub>D</sub>, saranno calcolati automaticamente da VEM<sub>NL</sub>.

Il software SismoGIS viene richiamato dal seguente pulsante:



Si rimanda all'help di SismoGIS per le funzionalità connesse a tale software.



## Visualizzazione spettri

Cliccando sul simbolo “>” sulla parte destra della schermata è possibile visualizzare gli spettri di calcolo usati nel calcolo corrente. Modificando i dati collegati è possibile visionare in tempo reale le modifiche direttamente sugli spettri di calcolo. In presenza di isolatori viene attivata anche la funzione ADRS, il cui grafico associato contiene nella ascisse il valore dello spettro in spostamento e in ordinata in accelerazione.

### 1.2.2.2.4 – Calcolo

#### Tipo Analisi Sismica

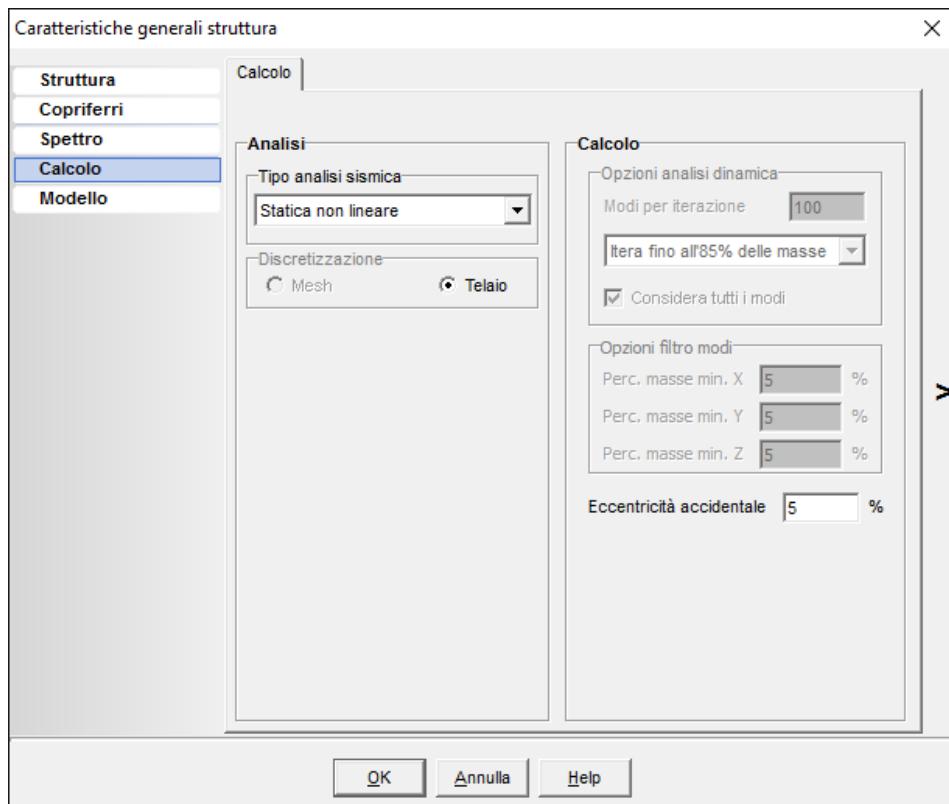
Tipo di calcolo da effettuare per l'analisi sismica nella componente orizzontale. La trattazione teorica verrà descritta nell'apposita sezione di questo manuale. È possibile effettuare le seguenti tipologie di analisi:

- Statica lineare
- Dinamica lineare
- Statica non lineare
- Costruzioni semplici

#### Discretizzazione

Nei casi in cui si effettua uno dei calcoli lineari, la struttura può essere discretizzata con elementi finiti bidimensionale (caso di dicretizzazione a mesh) o con elementi finiti monodimensionale (caso di

discretizzazione a telai equivalenti). Nel caso di analisi non lineare, è possibile schematizzare la struttura solo a telaio equivalente.



### Modi per Iterazione

Numero di modi calcolati per ogni iterazione nel calcolo degli autovalori (solo per analisi dinamica). Il valore è utile ad ottimizzare i tempi di calcolo. Il valore di default pari a 300 è un valore medio. È consigliabile aumentare il parametro se si è in presenza di numerosi gradi di libertà o si suppone di utilizzare molti modi per raggiungere l'85% delle masse (strutture con poca massa in relazione alle dimensioni strutturali). È possibile, inoltre, effettuare una sola iterazione per effettuare una progettazione di massima della struttura, in quanto nella maggioranza dei casi non viene raggiunto il valore di partecipazione delle masse indicato dalla normativa.

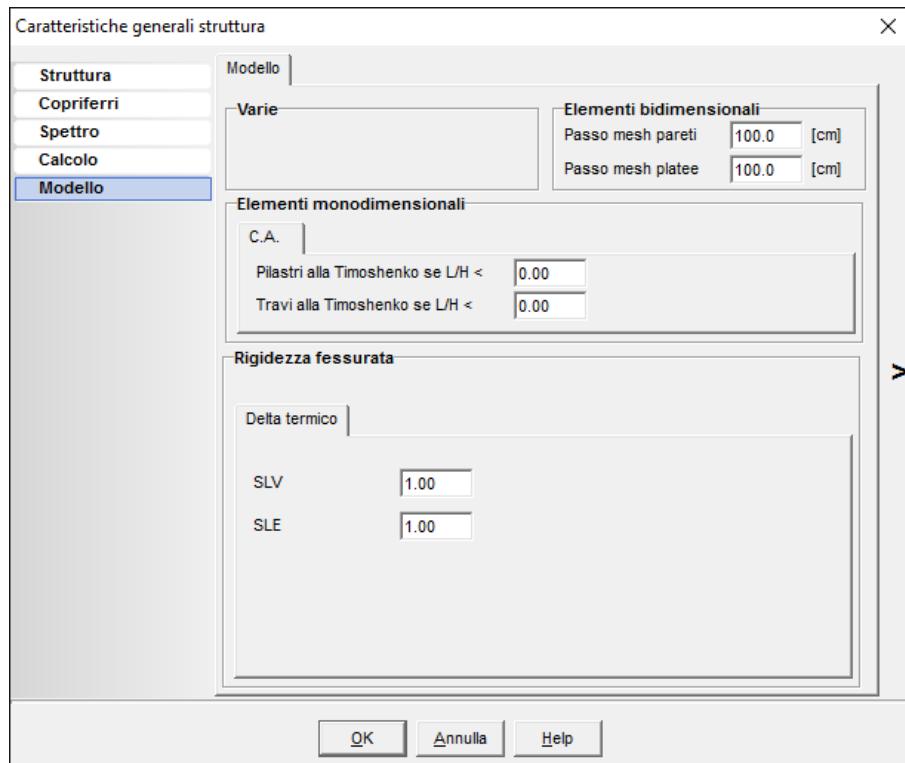
### Considera tutti i modi

Consente di considerare tutti i modi calcolati. Se disattivata è possibile definire la percentuale minima di partecipazione in modo da escludere i modi meno significativi rispetto alle percentuali inserite per le varie direzioni.

### Eccentricità accidentale

Valore in punti percentuali utilizzato per il calcolo dell'eccentricità accidentale da considerare nell'analisi sismica. Il valore dell'eccentricità è pari alla percentuale inserita dall'utente moltiplicata per la dimensione dell'ingombro della struttura nella direzione ortogonale al sisma considerato.

### 1.2.2.2.5 – Modello



#### Passo Mesh

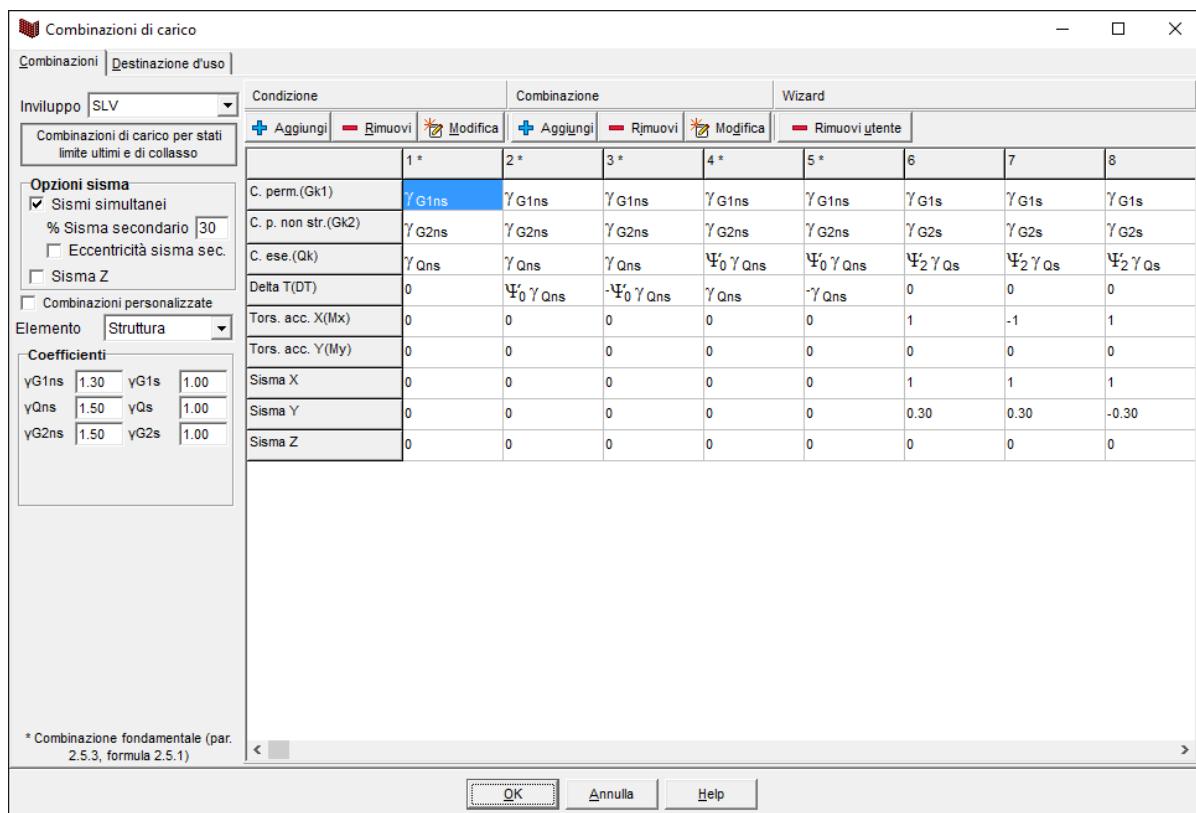
In questo campo è possibile definire il passo (in cm) da assegnare agli elementi della mesh. Si consiglia, per motivi di accuratezza del calcolo, di settare il passo della mesh in modo che i macroelementi abbiano almeno 4 elementi per lato. Per esempio, se si hanno pareti lunghe 4 m impostare il passo a 100 in modo che il lato lungo sia diviso in quattro parti. Comunque il valore ottimale della suddivisione varia da caso a caso.

#### Elementi monodimensionali

È possibile effettuare il calcolo della struttura considerando gli elementi monodimensionali secondo la teoria di Timoshenko. Viene applicata la suddetta teoria quando il rapporto tra la lunghezza dell'elemento ( $L$ ) e la massima altezza della sezione trasversale ( $H$ ) è contenuta nei limiti indicate nelle apposite caselle di testo.

### 1.2.2.3 – Combinazione di carico

Il comando contrassegnato dall'icona consente di visualizzare e definire le combinazioni di calcolo, i coefficienti e le condizioni considerate nelle verifiche strutturali.  
Cliccando sul tasto corrispondente viene visualizzata la seguente maschera:



In questo ambiente è possibile definire:

- **Tipo di combinazione;**
- **Coeffienti di combinazione;**
- **Azioni di calcolo;**
- **Combinazioni di calcolo.**

#### **Tipi di combinazione**

I tipi di combinazioni presenti in VEM<sub>NL</sub> sono quelli prescritti dalla normativa vigente.

Cliccando sul tipo di combinazione vengono visualizzate le combinazioni definite relativamente al tipo visualizzato.

#### **Come leggere la “Griglia delle combinazioni”**

Per comodità di inserimento e lettura dei dati, le combinazioni sono gestite attraverso una tabella editabile.

Le righe della “Griglia delle combinazioni” contengono le condizioni (o Azioni) presenti sulla struttura. Le Azioni possibili in VEM<sub>NL</sub> sono:

- **Carichi Permanent;**
- **Carichi Accidentali;**
- **Delta Termico;**
- **Torsione Accidentale X;**
- **Torsione Accidentale Y;**
- **Sisma X;**
- **Sisma Y;**
- **Sisma Z;**
- **Utente.**

Le colonne della “Griglia delle combinazioni” contengono le singole combinazioni che verranno poi inviluppate per effettuare le verifiche strutturali. L’inviluppo creato sarà composto dal fuso racchiuso tra i valori minimi e i massimi di ogni effetto (spostamenti, sollecitazioni, reazioni) considerati con il proprio segno.

### Coefficienti di combinazione

Le impostazioni di default della griglia sono relative ai coefficienti di combinazioni del D.M. 17/01/2018 (o D.M. 14/01/2008). È possibile intervenire direttamente su ogni singolo coefficiente cliccando sul check di selezione dell’opzione “personalizzati”. In tal modo i coefficienti di default inseriti nella griglia assumono il relativo valore editabile.

È possibile introdurre automaticamente il contributo del 30% relativo al sisma agente ortogonalmente alla direzione considerata, oppure considerare il sisma sussultorio nei calcolo di verifica, o per dare più “peso” al contributo di una particolare condizione.

Nel caso di utilizzo personalizzato i coefficienti relativi ai sismi devono essere introdotti con il segno opportuno. Il programma interpreta il segno come verso cui agisce il sisma rispetto al sistema di riferimento globale.

I “coefficienti normativa” hanno il significato definito dalla normativa corrente impostata:

$\gamma_1$  : Fattore di importanza;

$\Psi_{0i}$ : coefficienti di combinazione che fornisce il valore raro dell’azione variabile;

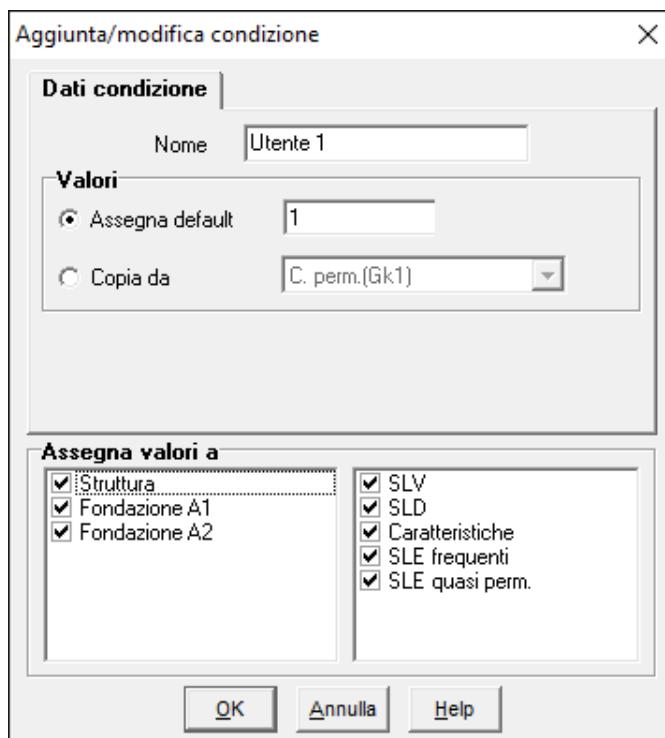
$\Psi_{2i}$ : coefficienti di combinazione che fornisce il valore quasi permanente dell’azione variabile;

$\Psi_{1i}$ : coefficiente atto a definire i valori delle azioni variabili assimilabili ai frattili di ordine 0.95 delle distribuzioni dei valori istantanei.

I valori dei coefficienti sono da ricercare nelle rispettive norme di riferimento.

### Introdurre una nuova condizione di carico

In VEM<sub>NL</sub> è possibile aggiungere venti diverse condizioni di carico interamente definite dall’utente. Tali condizioni (o Azioni, come chiamate nella maschera) sono particolarmente utili nel caso in cui si ha l’esigenza di introdurre forze concentrate.



Per aggiungere una condizione cliccare sul tasto “Aggiungi” posto sotto l’etichetta “Azione”. Al clic comparirà la maschera dove:

- **Introdurre il nome della condizione** in modo da renderlo efficacemente leggibile nella relazione, nell’input di “Modellazione 3D” e nell’ambiente di visualizzazione dei risultati;
- **Introdurre il valore dei coefficienti da assegnare** a tutta la riga delle combinazioni;
- **Introdurre i valori dei coefficienti** copiandoli da un’altra azione;
- **Avere la possibilità di assegnare** i coefficienti delle combinazioni ai singoli tipi di elementi o tipi di combinazioni.

Alla pressione del tasto “OK” verrà aggiunta una riga alla griglia delle combinazioni per poi definire il coefficiente associato alle singole combinazioni.

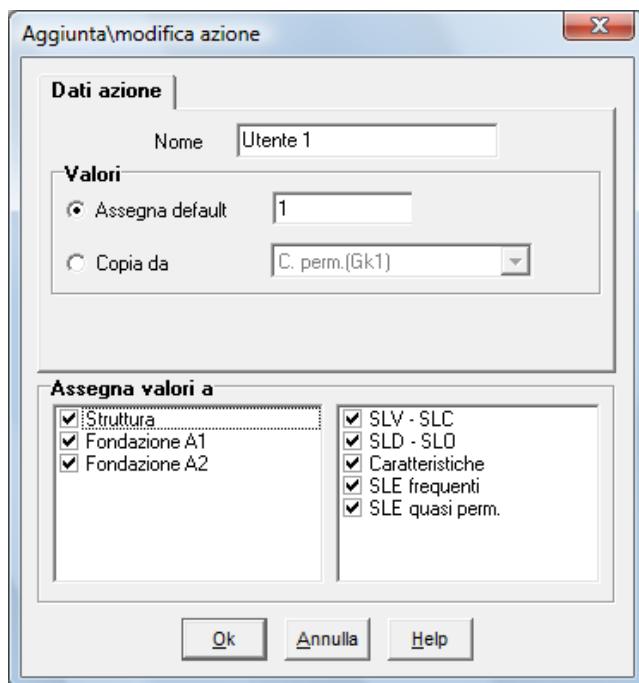
Ogni condizione può contenere forze concentrate che vengono applicate direttamente sulle pareti dall’apposito ambiente “Inserimento fori, architravi, quadro fessurativo e forze concentrate.”

Allo stesso modo è possibile effettuare la cancellazione di una condizione di carico. Per fare ciò cliccare sul pulsante “Rimuovi” posto sotto l’etichetta “Azione”, avendo precedentemente selezionato una casella della riga corrispondente all’azione da cancellare. In tal modo verranno cancellati tutti i carichi associati a quella condizione.

### Introdurre una nuova combinazione di carico

Il programma consente di utilizzare un numero totale di combinazioni, per ogni tipo, pari a cento. Per aggiungere una nuova combinazione cliccare sul tasto “Aggiungi” posto sotto l’etichetta “Combinazione”. Le combinazioni utente verranno identificate con la lettera “U” seguita da un numero progressivo. Dopo l’aggiunta di una nuova colonna devono essere definiti i coefficienti di combinazione relativi a quella riga.

Per facilitare l’introduzione è possibile assegnare lo stesso valore a tutta la colonna, o copiare i coefficienti da una colonna già presente.



Analogamente è possibile rimuovere una combinazione cliccando sul pulsante “Rimuovi” posto sotto l’etichetta “Combinazione”, avendo precedentemente selezionato una casella della colonna corrispondente alla combinazione da cancellare.

## Come rendere effettive le modifiche

Affinché le modifiche siano rese utilizzabili durante il calcolo, è opportuno cliccare sul tasto “OK” per uscire dall’ambiente e confermare le modifiche. La pressione del pulsante “Annulla” consente di lasciare la maschera senza modificare alcuna impostazione.

### 1.2.2.4 – Tipologie materiali

Il comando contrassegnato dall’icona  consente di definire i materiali relativi all’archivio utilizzato.

Questa operazione apre l’ambiente “Editor Materiali”. In questo ambiente è possibile definire le caratteristiche dei seguenti materiali:

- **Calcestruzzo;**
- **Acciaio per c.a.;**
- **Acciaio da carpenteria;**
- **Legno;**
- **Muratura.**
- **FRP**

#### Materiale tipo “Calcestruzzo”

Le caratteristiche del tipo “Calcestruzzo” vengono calcolate secondo le prescrizioni del D.M. 2018 usando le seguenti relazioni:

#### Stati limite

**Alleggerito:** consente di impostare il cls corrente come alleggerito;

$R_{ck}$  è la resistenza caratteristica cubica;

$\nu$  è il coefficiente di Poisson;

$\rho_s$  è il peso specifico;

$\alpha_t$  è il coefficiente di dilatazione termica;

**Fattore di confidenza:** parametro definito dalla circ. 617/2009 per strutture esistenti;

**Coefficienti di sicurezza  $\gamma_m$ :** definite per compressione e trazione;

$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}$  è la resistenza caratteristica cilindrica;

$$f_{cd\_slu} = \frac{\alpha_{CC} f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{è la resistenza di calcolo agli SLV;}$$

$f_{cd\_sld} = \alpha_{CC} \cdot f_{ck}$  è la resistenza di calcolo agli SLD;

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad \leq C50/60$$

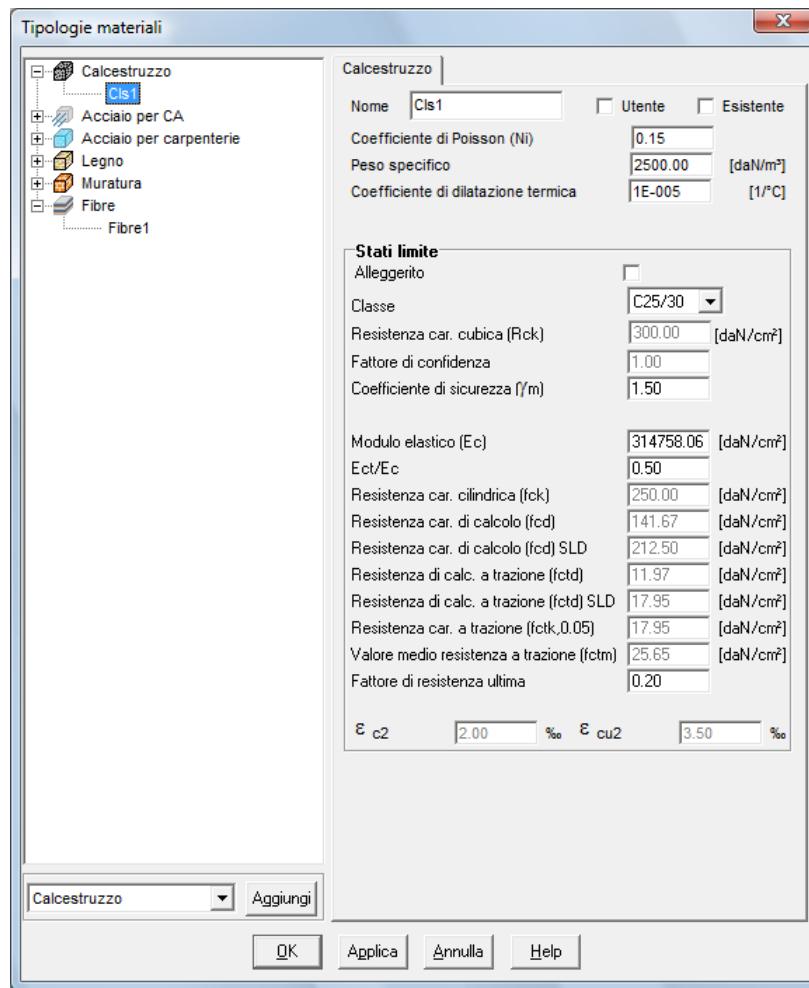
$$f_{ctm} = 2.12 \cdot \ln \left[ 1 + \left( f_{cm}/10 \right) \right] \quad > C50/60 \quad \text{è la resistenza caratteristica per taglio;}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} \quad \text{è la resistenza di calcolo per taglio;}$$

$$E_c = 22 \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \quad \text{è il modulo elastico del materiale;}$$

$$\frac{E_{ct}}{E_c} \quad \text{è il rapporto tra i moduli elastici a trazione e a compressione;}$$

Dove presente il fattore di confidenza (FC) agisce al denominatore delle resistenze di calcolo come un ulteriore coefficiente di sicurezza.



### Materiale tipo “Acciaio per c.a.”

Le caratteristiche del tipo “Acciaio per C.A.” vengono calcolate secondo le prescrizioni del DM 2018 usando le seguenti relazioni:

#### Stati limite

*Tipo di acciaio:* Nomenclatura da normativa dell'acciaio da c.a.

$f_{yk}$  è la resistenza caratteristica allo snervamento;

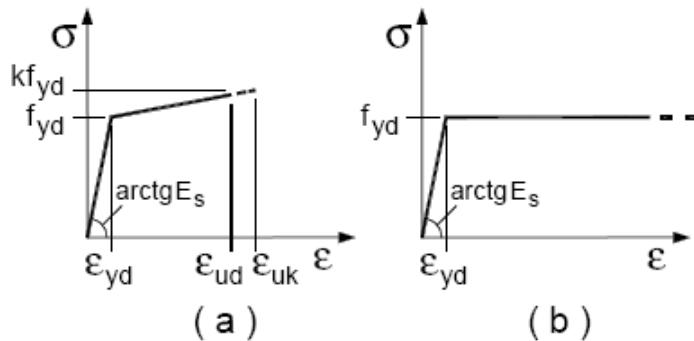
$f_{tk}$  è la resistenza caratteristica di taglio;

$$f_d(\text{SLU}) = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} \quad \text{è la resistenza di calcolo SLU;}$$

$$f_d(\text{SLE}) = \frac{f_{yk}}{1} \quad \text{è la resistenza di calcolo SLE;}$$

La scelta del modello di calcolo relativo al comportamento dell'acciaio in barre viene effettuata tra i seguenti:

- a) Bilineare finito con incrudimento
  - b) Bilineare perfettamente plastico indefinito



**Tipologie materiali**

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcestruzzo           <ul style="list-style-type: none"> <li>Cl1</li> </ul> </li> <li>- Acciaio per CA           <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Barre1</b></li> </ul> </li> <li>+ Acciaio per carpenterie</li> <li>+ Legno</li> <li>+ Muratura</li> <li>+ Fibre</li> </ul>	<p><b>Acciaio per CA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Nome</td> <td style="width: 60%;"><input type="text" value="Barre1"/></td> <td style="width: 20%; text-align: center;"><input type="checkbox"/> Utente</td> <td style="width: 20%; text-align: center;"><input type="checkbox"/> Esistente</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><input checked="" type="checkbox"/> Aderenza migliorata</td> <td colspan="2"><input type="checkbox"/> Incridente</td> </tr> <tr> <td>Modulo elastico (E)</td> <td colspan="3"><input type="text" value="2100000.00 [daN/cm²]"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Tipo acciaio</td> <td colspan="2"><input style="width: 100px; border: 1px solid black; border-radius: 5px; padding: 2px 5px; font-size: 0.9em;" type="text" value="B450C"/><span style="font-size: 0.8em;">▼</span></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="border-top: 1px solid black; padding-top: 5px;"> <b>Stati limite</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Fattore di confidenza</td> <td style="width: 60%;"><input type="text" value="1.00"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Coefficiente di sicurezza (<math>\gamma_m</math>)</td> <td style="width: 60%;"><input type="text" value="1.15"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding-top: 10px;">           Tensione car. di snervamento (fyk) <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Tensione car. di rottura (ftk) <input type="text" value="5400.00 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Resistenza di calcolo (fd) SLU <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Resistenza di calcolo (fd) SLE <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Resistenza di calcolo (fd) SLD <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding-top: 10px;"> <b>Modello di calcolo</b> </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <input checked="" type="radio"/> Bilineare perfettamente plastico indefinito         </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <input type="radio"/> Bilineare finito con incrindimento         </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding-top: 10px;"> <math>\varepsilon_{ud}</math> <input type="text" value="10.00 %"/> </td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	Nome	<input type="text" value="Barre1"/>	<input type="checkbox"/> Utente	<input type="checkbox"/> Esistente	<input checked="" type="checkbox"/> Aderenza migliorata		<input type="checkbox"/> Incridente		Modulo elastico (E)	<input type="text" value="2100000.00 [daN/cm²]"/>			Tipo acciaio		<input style="width: 100px; border: 1px solid black; border-radius: 5px; padding: 2px 5px; font-size: 0.9em;" type="text" value="B450C"/> <span style="font-size: 0.8em;">▼</span>		<b>Stati limite</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Fattore di confidenza</td> <td style="width: 60%;"><input type="text" value="1.00"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Coefficiente di sicurezza (<math>\gamma_m</math>)</td> <td style="width: 60%;"><input type="text" value="1.15"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding-top: 10px;">           Tensione car. di snervamento (fyk) <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Tensione car. di rottura (ftk) <input type="text" value="5400.00 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Resistenza di calcolo (fd) SLU <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Resistenza di calcolo (fd) SLE <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Resistenza di calcolo (fd) SLD <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding-top: 10px;"> <b>Modello di calcolo</b> </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <input checked="" type="radio"/> Bilineare perfettamente plastico indefinito         </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <input type="radio"/> Bilineare finito con incrindimento         </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding-top: 10px;"> <math>\varepsilon_{ud}</math> <input type="text" value="10.00 %"/> </td> </tr> </table>				Fattore di confidenza	<input type="text" value="1.00"/>	Coefficiente di sicurezza ( $\gamma_m$ )		<input type="text" value="1.15"/>	Tensione car. di snervamento (fyk) <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/>			Tensione car. di rottura (ftk) <input type="text" value="5400.00 [daN/cm²]"/>			Resistenza di calcolo (fd) SLU <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/>			Resistenza di calcolo (fd) SLE <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/>			Resistenza di calcolo (fd) SLD <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/>			<b>Modello di calcolo</b>			<input checked="" type="radio"/> Bilineare perfettamente plastico indefinito			<input type="radio"/> Bilineare finito con incrindimento			$\varepsilon_{ud}$ <input type="text" value="10.00 %"/>		
Nome	<input type="text" value="Barre1"/>	<input type="checkbox"/> Utente	<input type="checkbox"/> Esistente																																																		
<input checked="" type="checkbox"/> Aderenza migliorata		<input type="checkbox"/> Incridente																																																			
Modulo elastico (E)	<input type="text" value="2100000.00 [daN/cm²]"/>																																																				
Tipo acciaio		<input style="width: 100px; border: 1px solid black; border-radius: 5px; padding: 2px 5px; font-size: 0.9em;" type="text" value="B450C"/> <span style="font-size: 0.8em;">▼</span>																																																			
<b>Stati limite</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Fattore di confidenza</td> <td style="width: 60%;"><input type="text" value="1.00"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Coefficiente di sicurezza (<math>\gamma_m</math>)</td> <td style="width: 60%;"><input type="text" value="1.15"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding-top: 10px;">           Tensione car. di snervamento (fyk) <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Tensione car. di rottura (ftk) <input type="text" value="5400.00 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Resistenza di calcolo (fd) SLU <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Resistenza di calcolo (fd) SLE <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">           Resistenza di calcolo (fd) SLD <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding-top: 10px;"> <b>Modello di calcolo</b> </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <input checked="" type="radio"/> Bilineare perfettamente plastico indefinito         </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <input type="radio"/> Bilineare finito con incrindimento         </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding-top: 10px;"> <math>\varepsilon_{ud}</math> <input type="text" value="10.00 %"/> </td> </tr> </table>				Fattore di confidenza	<input type="text" value="1.00"/>	Coefficiente di sicurezza ( $\gamma_m$ )		<input type="text" value="1.15"/>	Tensione car. di snervamento (fyk) <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/>			Tensione car. di rottura (ftk) <input type="text" value="5400.00 [daN/cm²]"/>			Resistenza di calcolo (fd) SLU <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/>			Resistenza di calcolo (fd) SLE <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/>			Resistenza di calcolo (fd) SLD <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/>			<b>Modello di calcolo</b>			<input checked="" type="radio"/> Bilineare perfettamente plastico indefinito			<input type="radio"/> Bilineare finito con incrindimento			$\varepsilon_{ud}$ <input type="text" value="10.00 %"/>																				
Fattore di confidenza	<input type="text" value="1.00"/>																																																				
Coefficiente di sicurezza ( $\gamma_m$ )		<input type="text" value="1.15"/>																																																			
Tensione car. di snervamento (fyk) <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/>																																																					
Tensione car. di rottura (ftk) <input type="text" value="5400.00 [daN/cm²]"/>																																																					
Resistenza di calcolo (fd) SLU <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/>																																																					
Resistenza di calcolo (fd) SLE <input type="text" value="3913.04 [daN/cm²]"/>																																																					
Resistenza di calcolo (fd) SLD <input type="text" value="4500.00 [daN/cm²]"/>																																																					
<b>Modello di calcolo</b>																																																					
<input checked="" type="radio"/> Bilineare perfettamente plastico indefinito																																																					
<input type="radio"/> Bilineare finito con incrindimento																																																					
$\varepsilon_{ud}$ <input type="text" value="10.00 %"/>																																																					

#### **Materiale tipo “Acciaio da carpenterie”**

Le caratteristiche del tipo "Acciaio da carpenterie" vengono calcolate usando le seguenti definizioni:

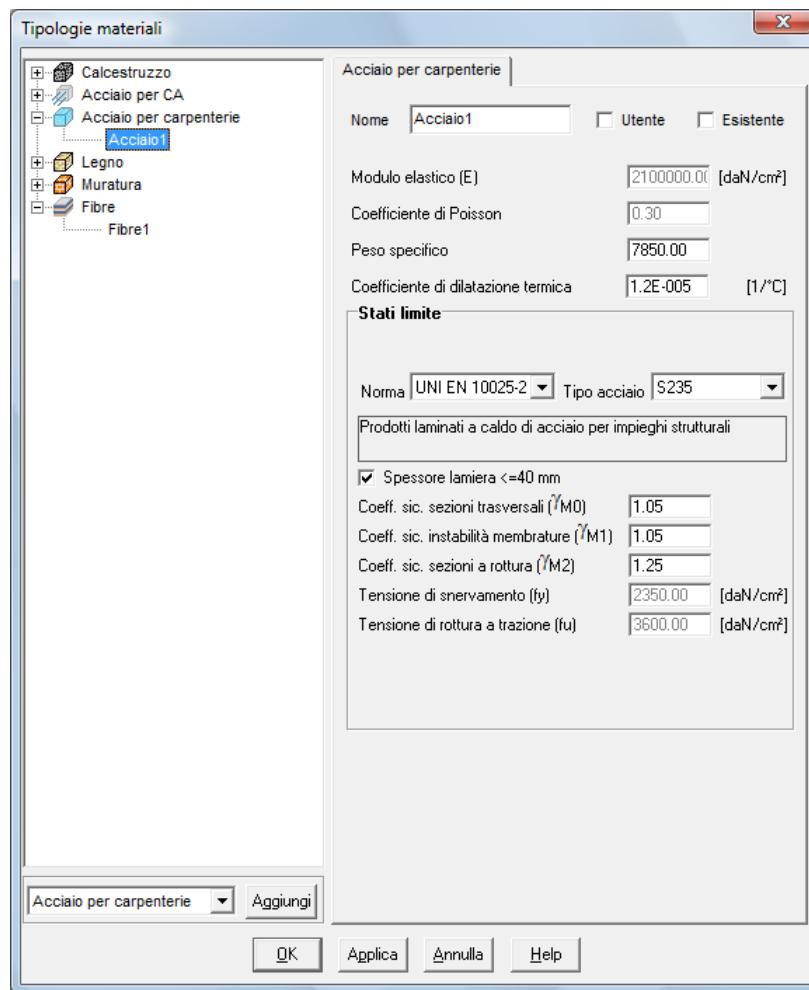
*Tipo di acciaio* : tipo di acciaio secondo la nomenclatura da normativa;

Spessore lamiera  $\leq 40 \text{ mm}$ .

### Stati limite

- $f_y$  è la resistenza di snervamento;
- $f_u$  è la resistenza a rottura a trazione;
- $E$  è il modulo elastico;
- $\nu$  è il coefficiente di poisson;
- $\alpha_t$  è il coefficiente di dilatazione termica;
- $\rho_s$  è il peso specifico.

Tutti questi valori sono funzione del tipo di acciaio a dello spessore della lamiera.



### Materiale tipo "Legno"

Le caratteristiche del tipo "Legno" vengono calcolate secondo le indicazioni delle relative norme UNI in funzione del tipo di legno usato. La simbologia usata è la seguente:

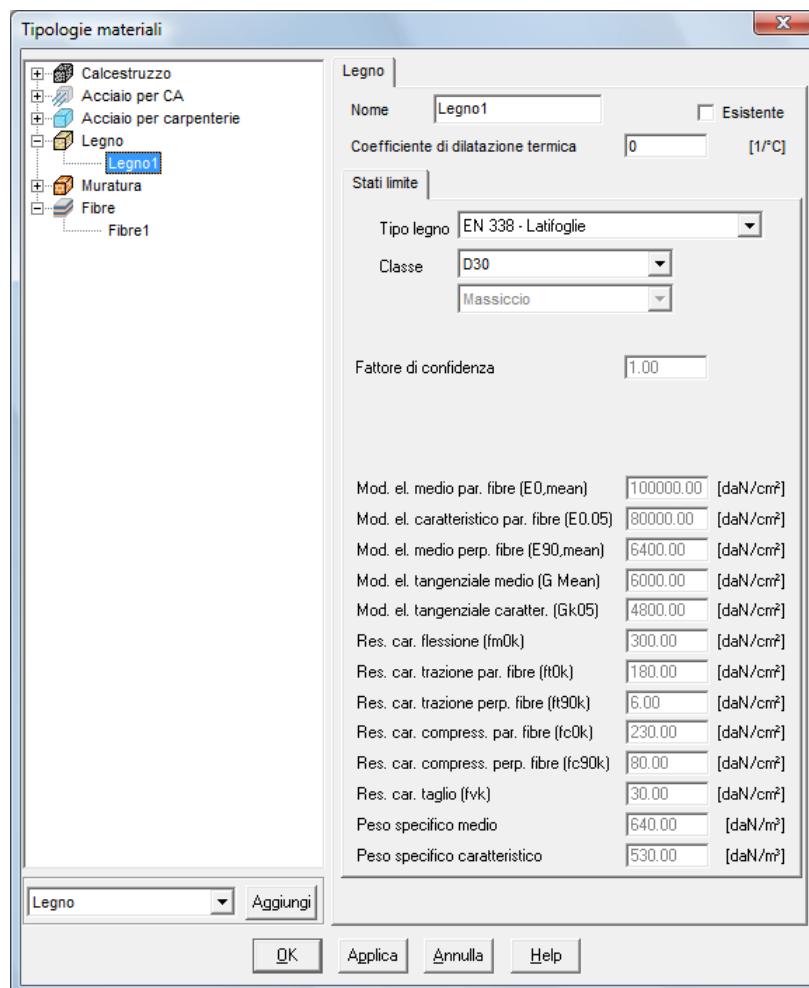
- $\alpha_t$  è il coefficiente di dilatazione termica;

### Stati limite

- $\gamma_m$  è il coefficiente di sicurezza;

- $E_{0,\text{mean}}$  è il valore caratteristico medio del modulo di elasticità parallelo alla fibratura;  
 $E_{0,05}$  è il valore caratteristico 5-percentile del modulo di elasticità parallelo alla fibratura;  
 $f_{c,0,k}$  è il valore caratteristico della resistenza a compressione parallela alla fibratura;  
 $f_{m,k}$  è il valore caratteristico della resistenza a flessione;  
 $f_{t,0,k}$  è il valore caratteristico 5-percentile della resistenza a trazione parallela alla fibratura;  
 $f_{v,k}$  è il valore caratteristico della resistenza a taglio;  
 $G_{\text{mean}}$  è il valore caratteristico del modulo di taglio;  
 $G_{k,0,05}$  è il valore caratteristico 5-percentile del modulo di taglio;  
 $\rho_s$  è il valore caratteristico di densità volumica;

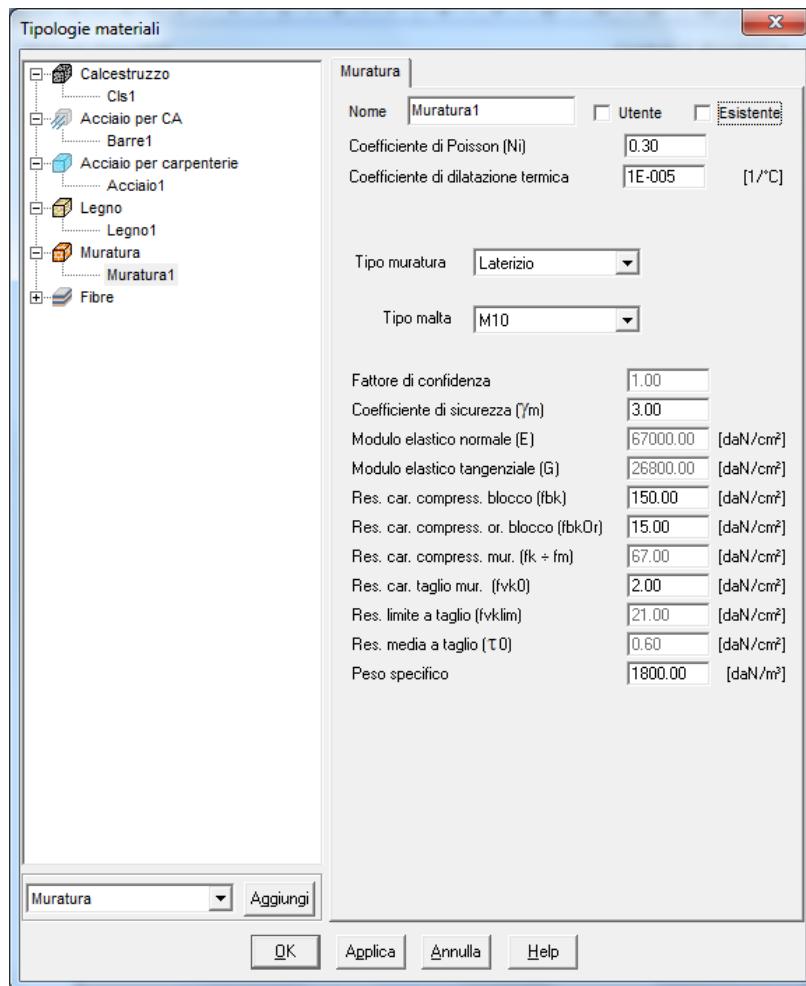
Le caratteristiche meccaniche sono relative alle seguenti norme UNI: EN 338, EN 11035, EN 1194.



### Materiale tipo "Muratura"

Le caratteristiche del tipo "Muratura" vengono calcolate secondo le prescrizioni previste dal D.M 2018 e dalla circolare 617/2009 e tenendo conto se si tratta di strutture nuove o esistenti:

Nel caso di materiale nuovo si:



Utente:

se attivo il materiale può essere definito dall'utente;

Ni ( $\nu$ ):

è il coefficiente di Poisson;

 $\alpha$ :

è il coefficiente di dilatazione termica;

Tipo di muratura:

Laterizio, Calcestruzzo, Pietra;

Tipo di malta:

la normativa consente la seguente classificazione M15, M10, M5, M2.5;

 $\gamma_m$ :

è il coefficiente di sicurezza per il materiale muratura;

E:

è il modulo elastico normale della muratura;

G:

è il modulo elastico tangenziale della muratura;

 $f_{bk}$ :

è la resistenza caratteristica cilindrica del blocco;

 $f_{bkOr}$ :

è la resistenza caratteristica cilindrica del blocco in direzione orizzontale;

 $f_k \div f_m$ :

è la resistenza caratteristica (o media) a compressione della muratura;

 $f_{vk0}$ :

è la resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali;

 $f_{vk,lim}$ :

è il valore limite della resistenza a taglio;

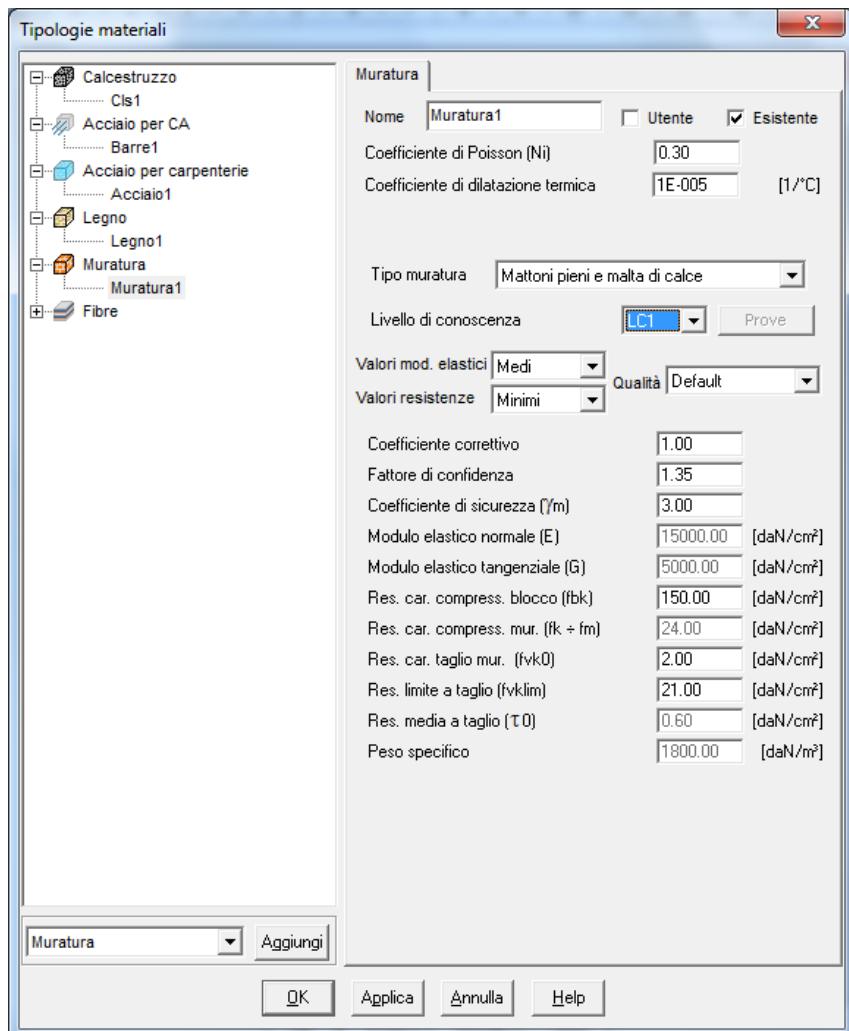
 $\tau_0$ :

è la resistenza media a taglio;

ps:

è il peso specifico.

Nel caso di materiale esistente, i parametri meccanici della muratura vengono calcolate in funzione delle prescrizioni previste dalla Circolare 617/2009, prendendo in considerazione il livello di conoscenza della struttura (LC1, LC2 ed LC3) e la presenza di eventuali prove sui materiali stessi.



**Utente:** Se attivo il materiale può essere definito dall'utente;

**Ni:** Coefficiente di Poisson;

**$\alpha$ :** Coefficiente di dilatazione termica;

**Tipo di muratura:** vedi tabella sopracitata;

**Valori mod. elastici:** si possono assumere i valori minimi, medi o massimi per i moduli elastici ( $E$ ,  $G$ ) forniti dalla tabella (C8A.2.1 della circolare 617/2009) a secondo del livello di conoscenza della struttura.

**Valori resistenze:** si possono assumere i valori minimi, medi o massimi per le resistenze ( $f_m$ ,  $\tau_0$ ) forniti dalla tabella (C8A.2.1 della circolare 617/2009) a secondo del livello di conoscenza della struttura.

**Qualità:** è possibile migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura con dei coefficienti moltiplicativi forniti dalla tabella C8A.2.2 della circolare 617/2009 qualora si rientra in uno dei seguenti casi: Malta buona, Ricorsi o listature, Connessioni trasversali, Iniezioni di malta, Intonaco armato. Coefficiente correttivo : coefficiente moltiplicativo che si ottiene dalla qualità del materiale visto nel punto precedente (tab. C8A.2.2);

**Fattore di confidenza:** dipende dal livello di conoscenza della struttura (per LC1 = 1.35, per LC2 = 1.20, per LC3 = 1.00);

$\gamma_m$ :	è il coefficiente di sicurezza per il materiale muratura;
E:	è modulo elastico normale della muratura;
G:	è il modulo elastico tangenziale della muratura;
$f_{bk}$ :	è la resistenza caratteristica cilindrica del blocco;
$f_k \div f_m$ :	è la resistenza caratteristica (o media) a compressione della muratura;
$f_{vk0}$ :	è la resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali;
$f_{vk,lim}$ :	è il valore limite della resistenza a taglio;
$\tau_0$ :	è la resistenza media a taglio;
ps:	è il peso specifico.

La seguente tabella viene riportata nel punto C8A.2 della circolare 617/2009 ed è indispensabile ai fini della valutazione delle caratteristiche meccaniche della muratura per il calcolo strutturale

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	w (kN/m <sup>3</sup> )
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei quadrati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400	30,0	3600	1080	12
	600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300	10,0	2700	810	11
	400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12
	200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300	18,0	2400	600	14
	440	24,0	3520	880	

**Tabella 1**

In funzione del livello di conoscenza il software imposta i valori di E, G,  $f_m$ ,  $\tau_0$  ed FC come previsto dalla Circolare 617/2009:

### **Livello di conoscenza LC1**

Per questo livello di conoscenza, ai fini del calcolo dei parametri meccanici non sono richieste prove sui materiali. I valori da assumere per i parametri meccanici sono i seguenti:

**Valori mod. elastici (E, G):** Valori medi previsti dalla tabella 1.

**Valori resistenze ( $f_m$ ,  $\tau_0$ ):** Valori minimi previsti dalla tabella 1.

**Fattore di confidenza:** 1.35

### **Livello di conoscenza LC2**

Per questo livello di conoscenza, ai fini del calcolo dei parametri meccanici non sono richieste prove sui materiali. I valori da assumere per i parametri meccanici sono i seguenti:

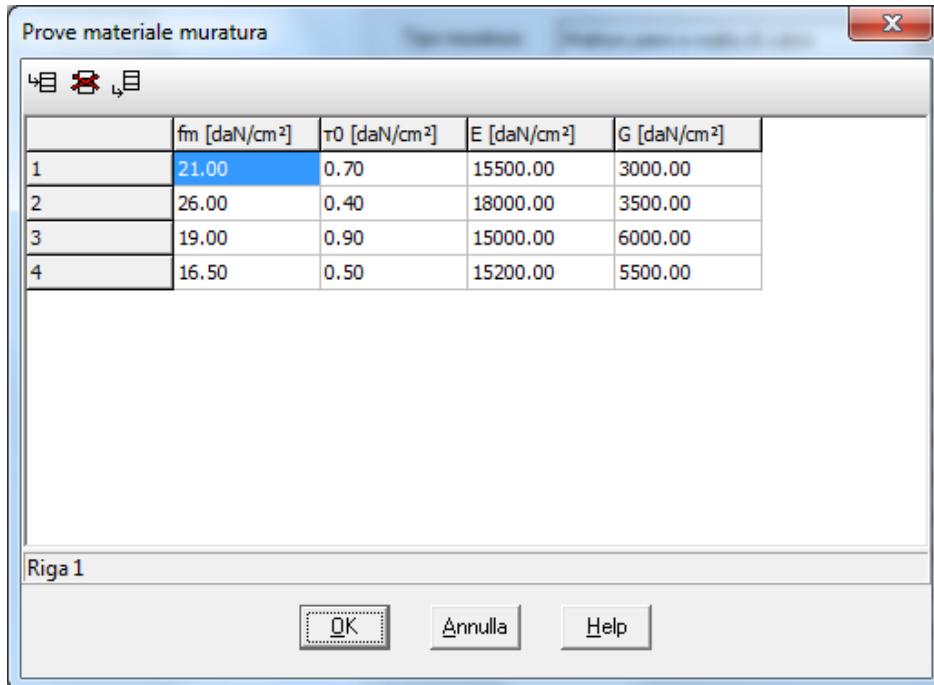
**Valori mod. elastici (E, G):** Valori medi previsti dalla tabella 1.

**Valori resistenze ( $f_m$ ,  $\tau_0$ ):** Valori medi previsti dalla tabella 1.

**Fattore di confidenza:** 1.20

### **Livello di conoscenza LC3:**

Per questo livello di conoscenza sono richieste le prove sui materiali e si possono avere tre casi a), b), c) a seconda del numero di prove sui materiali a disposizione (tre o più di tre, due, una). Scegliendo questo livello di conoscenza si attiva il comando **Prove** il quale avvia la seguente finestra che ci consente di inserire i dati relativi alle prove sui materiali:



Ogni riga rappresenta una prova sul materiale e richiede la resistenza a compressione ( $f_m$ ), la resistenza a taglio ( $\tau_0$ ), il modulo elastico normale (E) ed il modulo elastico tangenziale (G). Attivato il livello di conoscenza LC3 è obbligatoria almeno una prova. Il software consente l'inserimento di un massimo di dieci prove per ogni tipologia di materiale.

Caso a): Sono disponibili tre o più prove sperimentali sui materiali.

**Valori mod. elastici (E, G):** Valore medio dei risultati delle prove o valore medio riportato in tabella 1;

**Valori resistenze (f<sub>m</sub>, τ<sub>0</sub>):** Valore medio dei risultati delle prove;

Caso b): Sono disponibili due prove sperimentali sui materiali.

**Valori mod. elastici (E, G):** Valore medio dei risultati delle prove o valore medio riportato in tabella 1;

**Valori resistenze (f<sub>m</sub>, τ<sub>0</sub>):** Se il valore medio delle prove è compreso nell'intervallo della tabella 1 si assume come valore di resistenza il valore medio della tabella; Se il valore medio delle prove è superiore al valore massimo della Tabella 1 si assume come valore di resistenza il valore massimo della tabella; Se il valore medio delle prove è inferiore al valore minimo della tabella 1 si assume come valore di resistenza il valore medio delle prove;

Caso c): È disponibile una sola prova sperimentale sui materiali.

**Valori mod. elastici (E, G):** Valore della prova o valore medio riportato in tabella 1;

**Valori resistenze (f<sub>m</sub>, τ<sub>0</sub>):** Se il valore della prova è compreso o superiore all'intervallo della tabella 1 si assume come valore di resistenza il valore medio della tabella 1; Se il valore della prova è inferiore al valore minimo della tabella 1 si assume come valore di resistenza il valore della prova;

**Fattore di confidenza:** 1.00

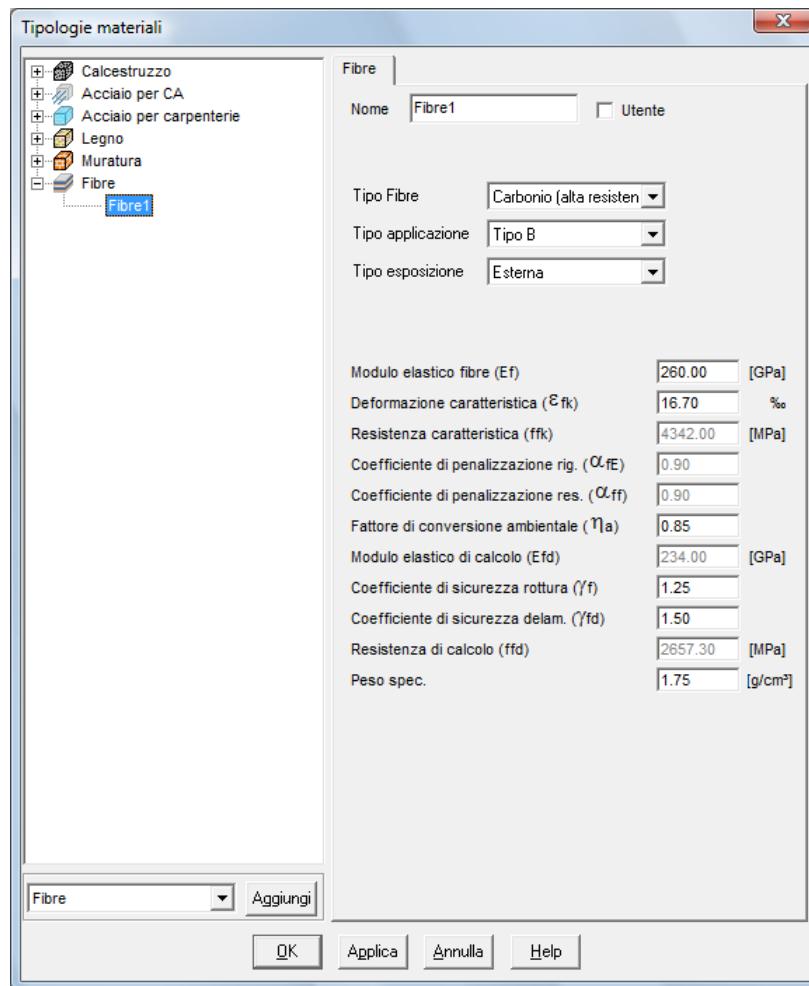
### Materiale tipo "Fibre"

Le caratteristiche del tipo "Fibre" vengono calcolate secondo le norme CNR DT 200, usando la seguente simbologia:

- E<sub>f</sub>: è il modulo elastico delle fibre;
- ε<sub>fk</sub>: è la deformazione caratteristica;
- f<sub>fk</sub>: è la resistenza caratteristica;
- α<sub>fE</sub>: è il coefficiente di penalizzazione rig.;
- α<sub>fr</sub>: è il coefficiente di penalizzazione res.;
- η<sub>a</sub>: è il fattore di conversione ambientale;
- E<sub>fd</sub>: è il modulo elastico di calcolo delle fibre;
- γ<sub>f</sub>: è il coefficiente di sicurezza rottura;
- γ<sub>fd</sub>: è il coefficiente di sicurezza delaminazione;
- f<sub>fd</sub>: è la resistenza di calcolo;

In aggiunta ai dati descritti sono presenti informazioni inerenti a:

- **Tipo fibre** (Vetro E, Vetro S, Carbonio (alto modulo), Carbonio (alta resistenza, Arammidiche). Utilizzati secondo le indicazioni del CNR DT 200.
- **Tipo applicazione** (Tipo A, Tipo B). Utilizzati secondo le indicazioni del CNR DT 200.
- **Tipo esposizione** (Interna, Esterna, Ambiente aggressivo). Utilizzati secondo le indicazioni del CNR DT 200.



### Aggiungere un nuovo materiale all'archivio

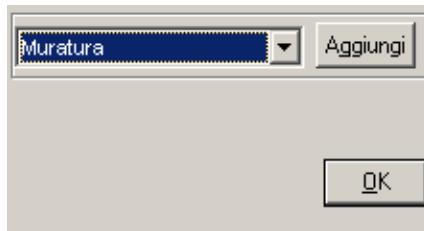
Per aggiungere un nuovo materiale scegliere il tipo di materiale utilizzando la seguente lista posizionata in basso a sinistra della maschera:



Dopo aver scelto il tipo cliccare sul pulsante “Aggiungi”. Immettere il nome del materiale e modificare le caratteristiche nel modo voluto. È da notare che non tutti i campi sono modificabili direttamente in quanto legati dalle relazioni prima descritte. Per sbloccare i campi selezionare la tipologia “utente” relativamente al tipo di materiale scelto.

### Aggiungere un nuovo materiale all'archivio

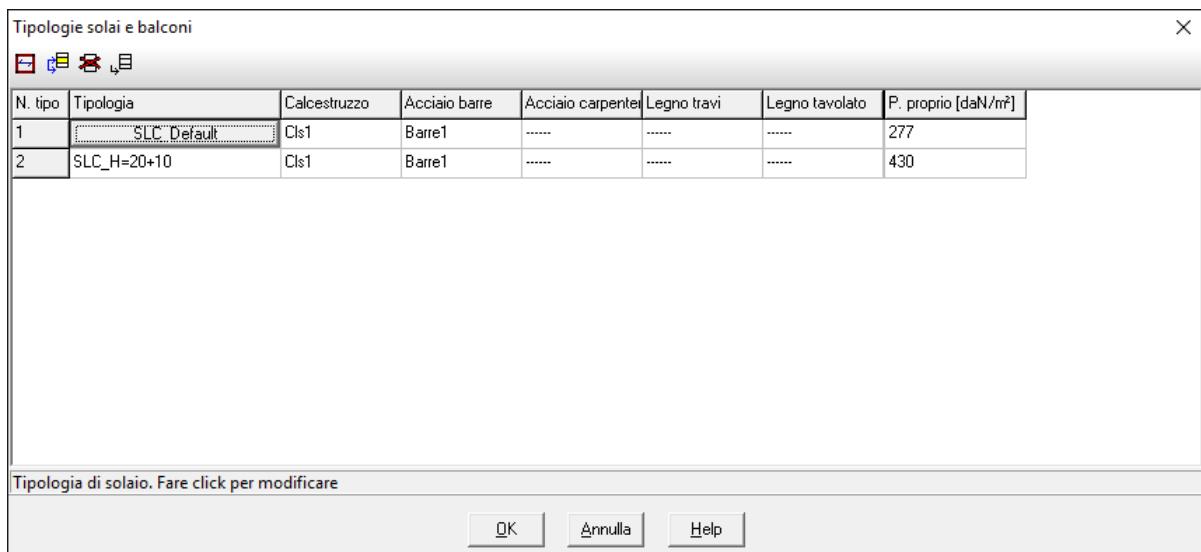
Per aggiungere un nuovo materiale scegliere il tipo di materiale utilizzando la seguente lista posizionata in basso a sinistra della maschera:



Dopo aver scelto il tipo, cliccare sul pulsante “Aggiungi”. Immettere il nome del materiale e modificare le caratteristiche nel modo voluto. È da notare che non tutti i campi sono modificabili direttamente in quanto legati dalle relazioni prima descritte. Per sbloccare i campi selezionare la tipologia “utente” relativamente al tipo di materiale scelto.

#### 1.2.2.5 – Tipologie solai

Il comando contrassegnato dall’icona consente di definire la tipologia dei solai da associare alla struttura corrente. Alla pressione del tasto corrispondente viene visualizzata il seguente ambiente:



Tale ambiente è utile alla definizione dei solai da utilizzare nell’archivio corrente di VEM<sub>NL</sub> in modo da essere utilizzati nelle varie fasi di input.

Dalla maschera prima descritta è possibile assegnare allo stesso tipo di solaio resistenza diversa dei materiali (“Calcestruzzo” e “Acciaio”) precedentemente definiti. Nell’ultima casella a destra compare il peso proprio per unità di area del solaio.

#### Assegnazione della tipologia

Il programma provvede ad assegnare a tutti i piani esistenti il tipo di default. Per cambiare tale assegnazione è sufficiente cliccare due volte sulla casella relativa al piano voluto nella colonna “Tipologia”. A questo punto compare la maschera di gestione delle tipologie presenti nel database dei solai. Per aggiungere un ulteriore tipo, aggiungere una riga alla tabella utilizzando il seguente tasto:



A questo punto è possibile ripetere l’operazione cliccando sul campo “tipologia”.

Per creare una nuova tipologia senza assegnarla, lo stesso ambiente Editor può essere richiamato dalla seguente icona:



## Assegnazione del tipo di materiale

Allo stesso modo è possibile assegnare un tipo di calcestruzzo o di acciaio diverso per ogni piano della struttura. Per fare ciò cliccare sulle caselle relative al materiale da cambiare. A questo punto la stessa casella si espande formando un menù a tendina in cui sono presenti i tipi di materiale presenti. Si ricorda che i materiali sono definibili dalla maschera “Tipologia materiali”.

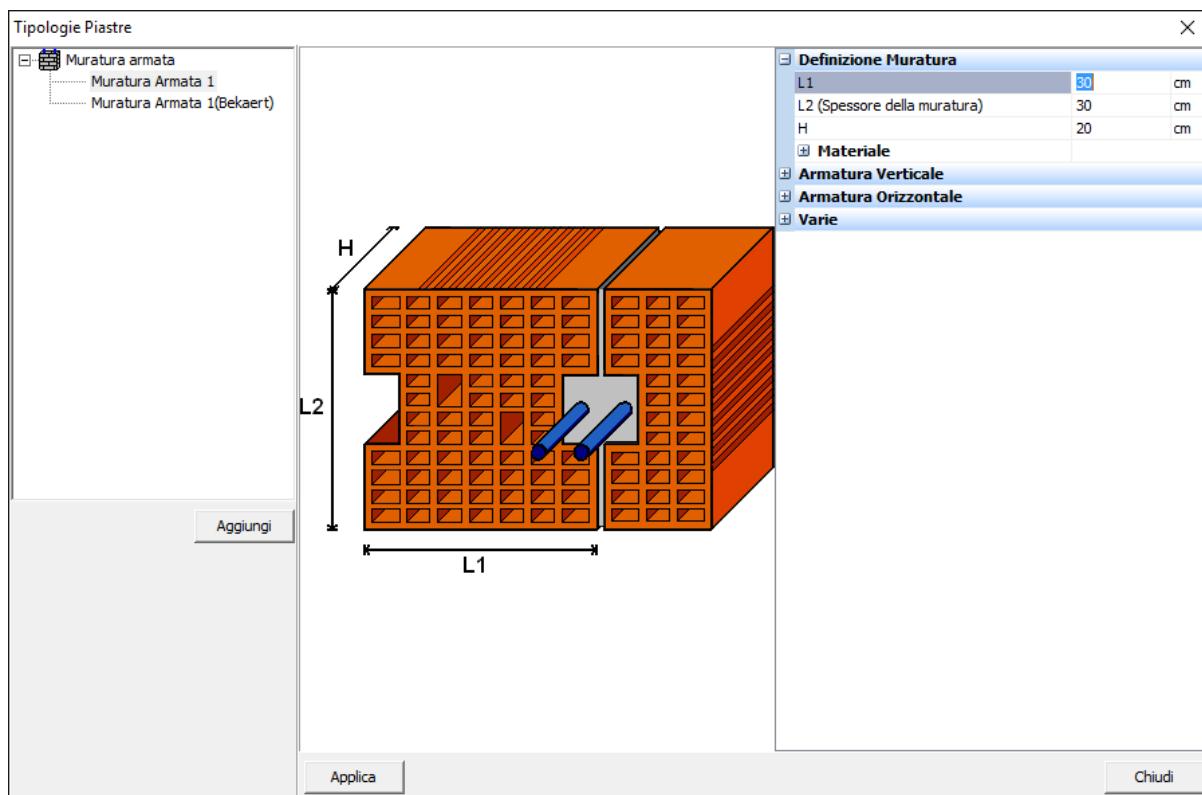
### 1.2.2.6 – Tipologie piastre

Il comando contrassegnato dall'icona  consente di definire le tipologie di piastre previste dal software.

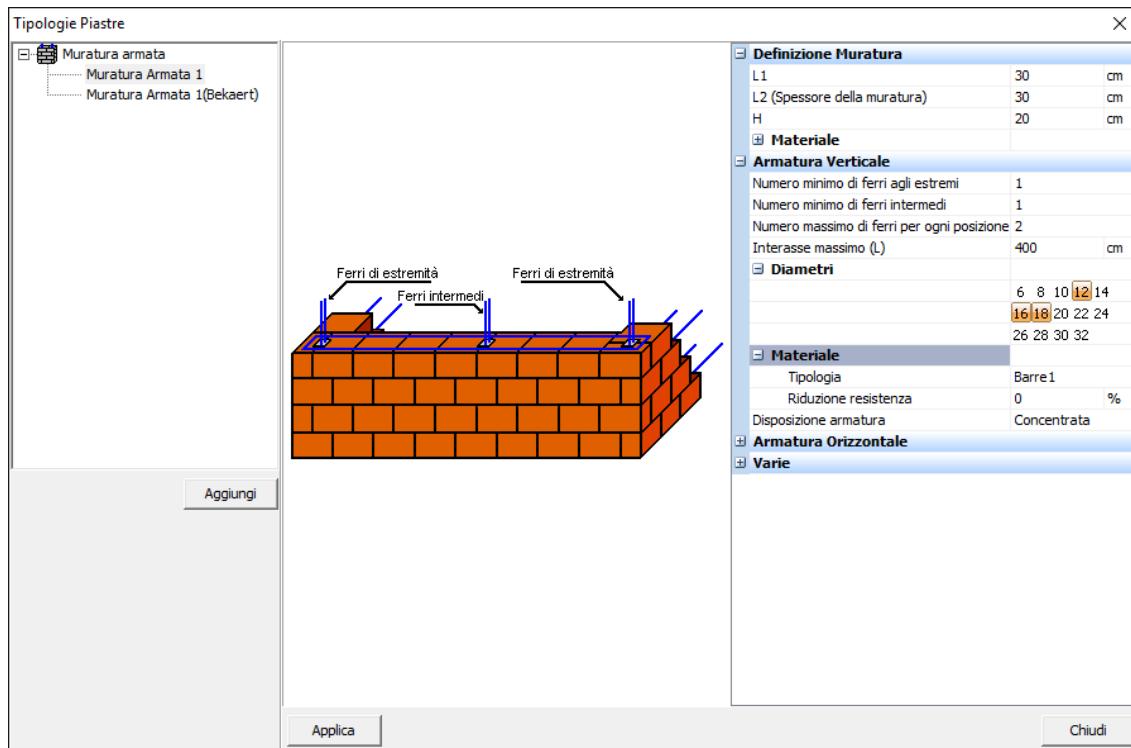
#### Muratura armata

In questo ambiente si definiscono le dimensioni e le caratteristiche meccaniche del laterizio ed i quantitativi (in termini di minimi e massimi) e le caratteristiche meccaniche delle armature orizzontali e verticali.

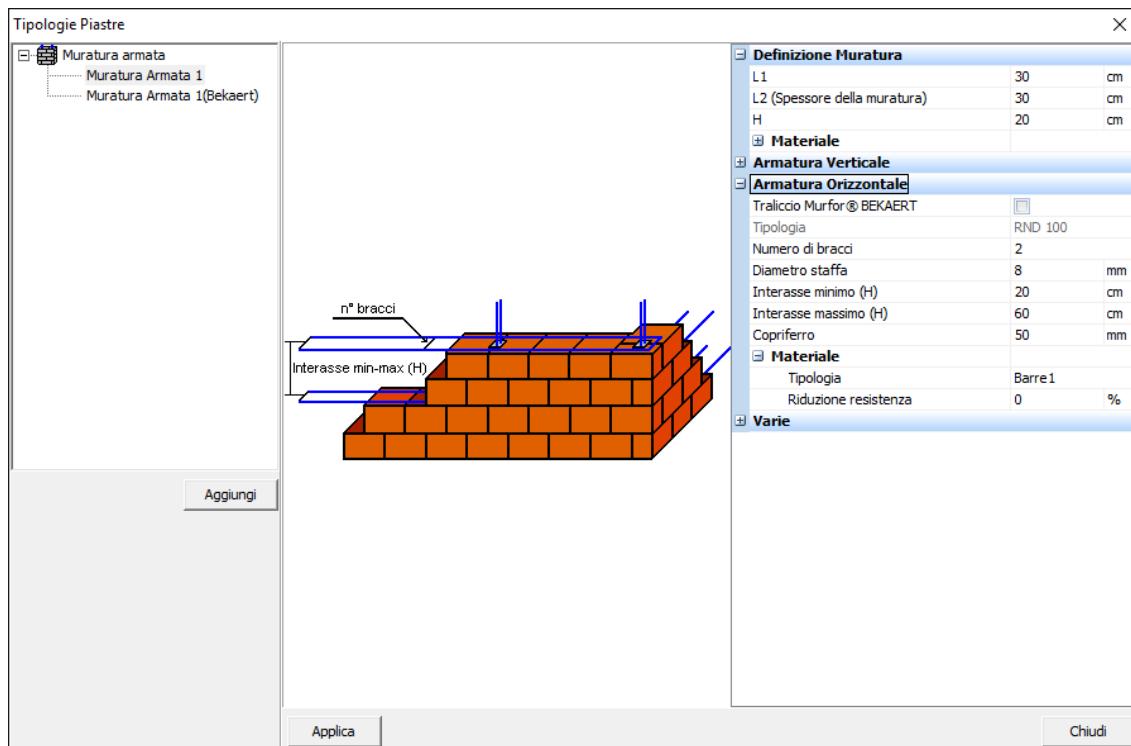
Dalla sezione “Definizione Muratura” è possibile definire le dimensioni del laterizio (e quindi anche lo spessore del muro):



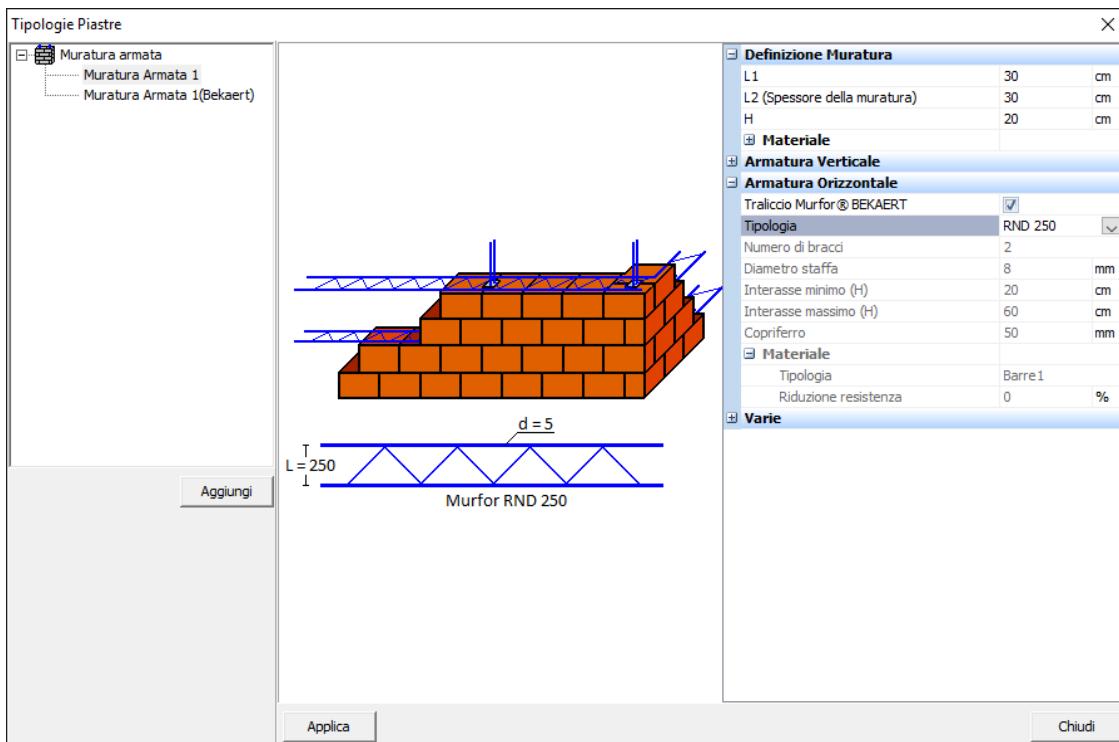
Dalla sezione “Armatura verticale” si definiscono le armature verticali. È possibile definire il numero di barre da collocare in ogni posizione, l'interasse tra due posizioni successive, i diametri da utilizzare e le caratteristiche meccaniche del materiale.



Dala sezione “Armatura orizzontale” si definiscono le armature orizzontali. È possibile definire il numero di bracci, il diametro, il minimo ed il massimo intervallo tra due ricorsi successivi da armare e le caratteristiche meccaniche del materiale.

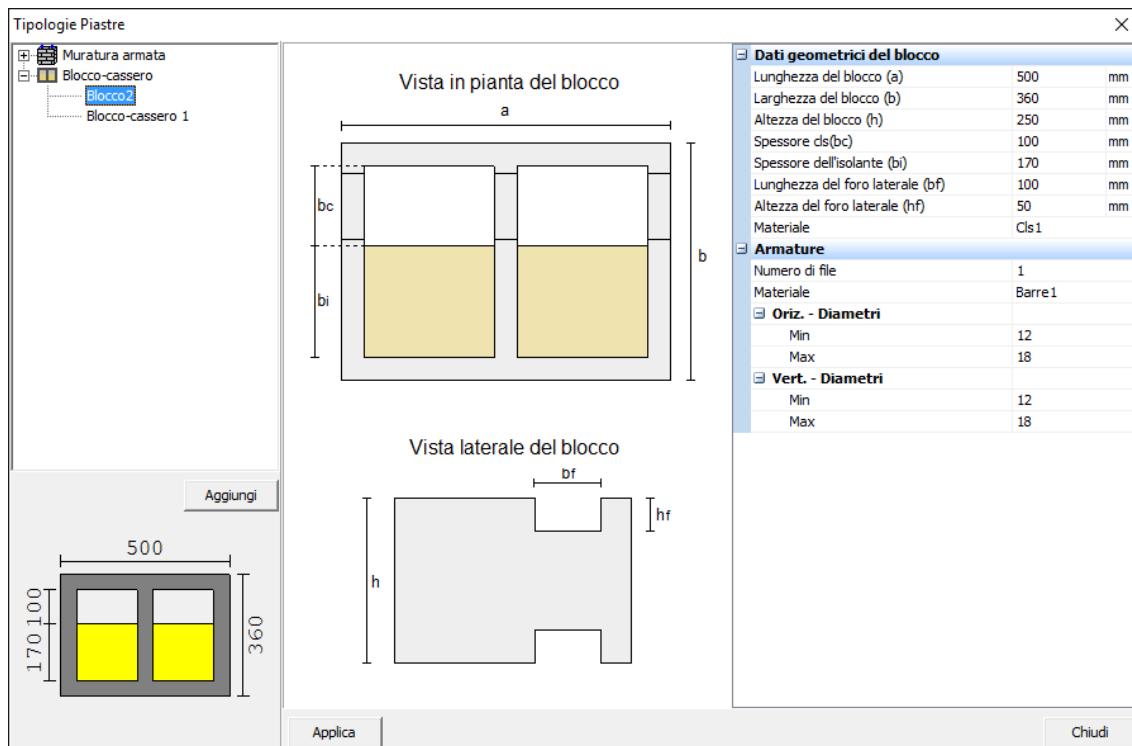


L'armatura orizzontale può essere collocata anche sotto forma di tralicci (Murfor® - BEKAERT). In questo caso è sufficiente selezionare una tra le tipologie di traliccio disponibili.



### Blocco cassero

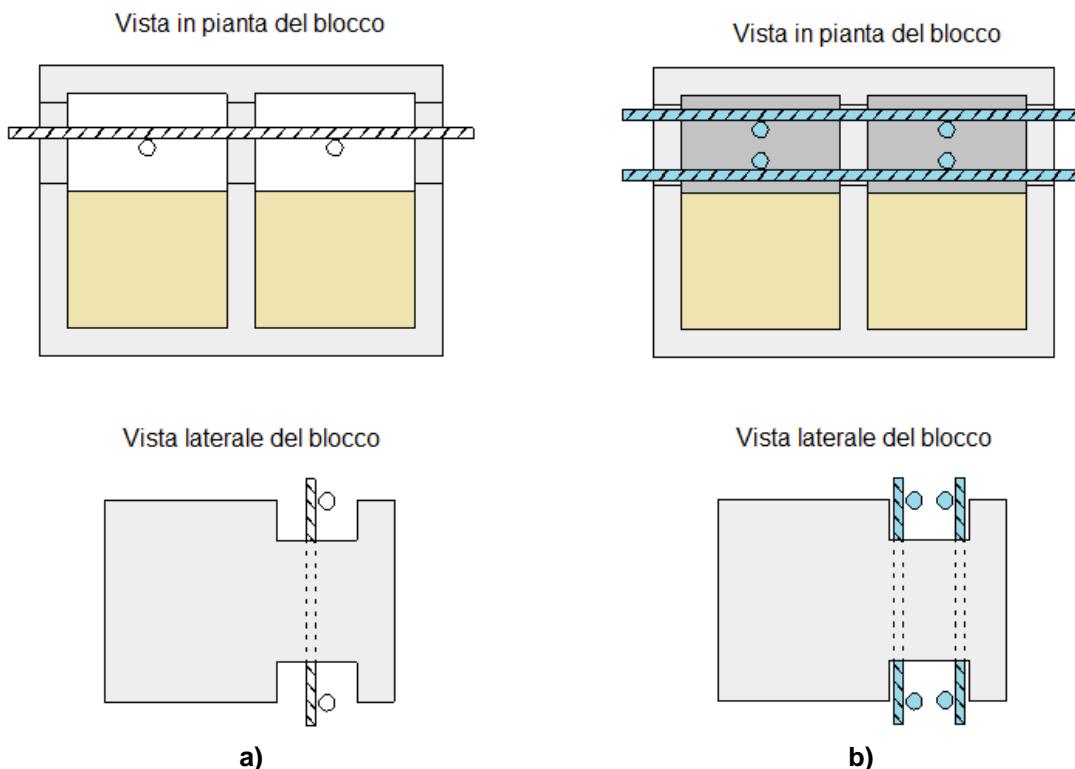
Il software VEM<sub>NL</sub> consente di analizzare strutture realizzate con la tecnologia del blocco cassero (pareti debolmente armate). Questa tecnologia prevede di utilizzare blocchi realizzati in cemento utilizzando come inerte scaglie di legno. Su un lato del blocco viene collocato uno strato di materiale isolante e la parte rimanente viene armata e riempita con calcestruzzo.



Dalla sezione “Dati geometrici del blocco” è possibile definire le caratteristiche geometriche e meccaniche del blocco.

Dalla sezione “Armature” si definisce il diametro minimo e massimo per le armature e le caratteristiche meccaniche del materiale. Dalla voce “Numero di file” si può stabilire se le pareti devono essere armate con singola o con doppia armatura.

Nel caso in cui si seleziona il numero “1”, la parete viene armato con una sola fila di armatura. Nel caso in cui si seleziona il numero “2”, la parete viene armato con due file di armatura.



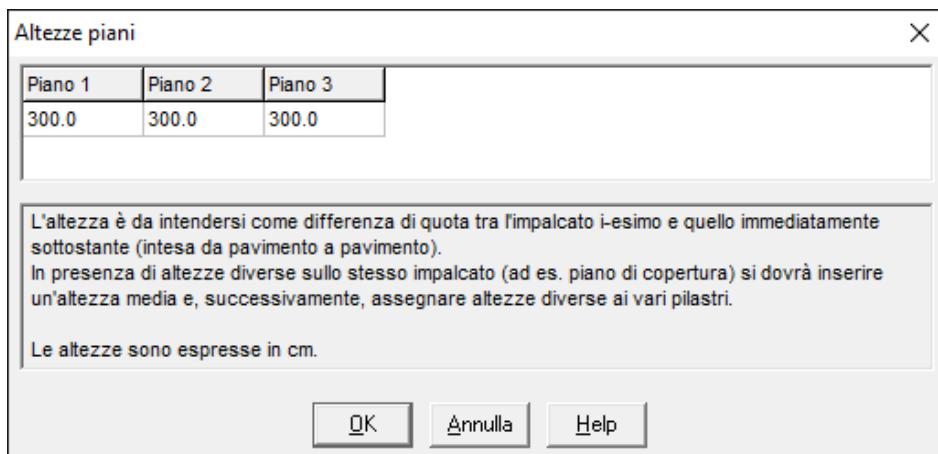
#### 1.2.2.7 – Editor consolidamento

Il comando contrassegnato dall’icona consente di definire le tipologie di consolidamenti da utilizzare. Tale ambiente viene illustrato dettagliatamente più avanti nel manuale.

#### 1.2.2.8 – Altezze piani

Il comando contrassegnato dall’icona consente di definire l’altezza dei piani presenti nella struttura. Il dato è utile ad assegnare le altezze ricorrenti agli elementi verticali della struttura (pilastri e pareti). Risulta ovvio che il dato inserito non condiziona il calcolo né tanto meno la forma della struttura analizzata, in quanto l’altezza può essere variata sui singoli elementi.

Alla pressione del tasto viene visualizzata la seguente schermata:



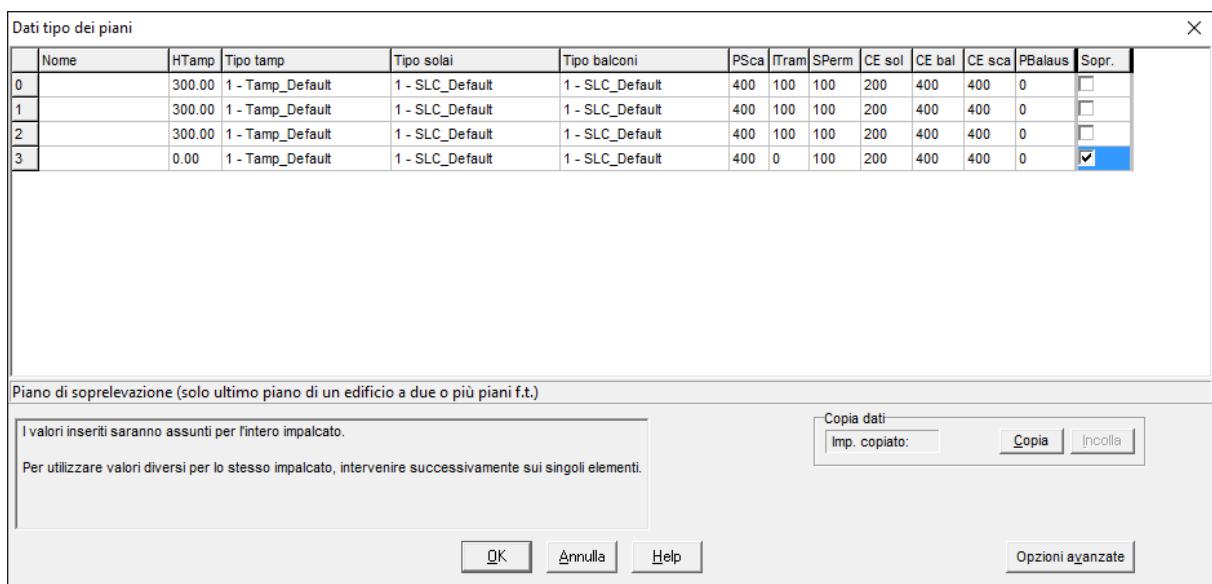
Per cambiare l'altezza di interpiano cliccare sulla casella relativa al piano voluto e digitare la nuova altezza.

L'altezza è da intendersi come differenza di quota tra l'impalcato i-esimo e quello immediatamente sottostante (intesa da pavimento a pavimento). In presenza di altezze diverse sullo stesso impalcato (ad es. piano di copertura) si dovrà inserire un'altezza media e, successivamente, assegnare altezze diverse ai vari pilastri. Le altezze vanno espresse in cm.

Infine per confermare cliccare su "OK" o per lasciare la maschera senza rendere attive le modifiche cliccare su "Annulla".

#### 1.2.2.9 – “Carichi tipo” ai piani

Il comando contrassegnato dall'icona consente di definire i carichi relativamente ad ogni piano. Tali valori possono essere variati per ogni pannello all'interno dell'input grafico. Alla pressione del tasto corrispondente viene visualizzata la seguente maschera:



Per ogni impalcato è possibile definire i carichi agenti sui pannelli o sulle travi della struttura. La griglia della maschera contiene i seguenti campi:

- **Nome:** nome dell'impalcato;
- **Altezza sottotrave:** altezza effettiva dei muri di tamponamento del piano considerato;

- **Peso proprio muri:** è il valore per unità di superficie (misurata in  $m^2$  e in direzione verticale) del peso del muro di tamponamento. È definito adimensionalizzando rispetto allo spessore;
- **Peso proprio solai:** è il valore per unità di superficie (misurata in  $m^2$  e in direzione orizzontale) del peso proprio del solaio. Il valore di default è relativo al tipo di solaio definito in "Tipologie solai";
- **Peso proprio balconi:** è il valore per unità di superficie (misurata in  $m^2$  e in direzione orizzontale) del peso proprio del balcone. Il valore di default è relativo al tipo di solaio definito in "Tipologie solai";
- **Peso proprio scala:** è il valore per unità di superficie (misurata in  $m^2$  e in direzione orizzontale) del peso proprio della scala;
- **Incidenza tramezzature:** è il valore rappresentativo della distribuzione media delle tramezzature per unità di superficie (misurata in  $m^2$  e in direzione orizzontale);
- **Sovraccarico permanente:** è il valore per unità di superficie (misurata in  $m^2$  e in direzione orizzontale) del peso di elementi portati (pavimenti, massetti, controsoffitti, ecc.) dalla struttura considerata (solai, balconi e scale);
- **Carico esercizio solai:** è il valore per unità di superficie (misurata in  $m^2$  e in direzione orizzontale) del carico d'esercizio (definito dalla normativa) agente sui solai. Per default sono riportati i valori prescritti dal D. M. 16 Gennaio 1996;
- **Carico esercizio balconi:** è il valore per unità di superficie (misurata in  $m^2$  e in direzione orizzontale) del carico d'esercizio (definito dalla normativa) agente sui balconi. Per default sono riportati i valori prescritti dal D. M. 16 Gennaio 1996;
- **Carico esercizio scale:** è il valore per unità di superficie (misurata in  $m^2$  e in direzione orizzontale) del carico d'esercizio (definito dalla normativa) agente sulle scale. Per default sono riportati i valori prescritti dal D. M. 16 Gennaio 1996;
- **PBalaus:** Peso della balaustra;
- **Sopr:** Consente di effettuare le sopraelevazioni completamente in c.a. o acciaio. Si può spuntare solo l'opzione relativa all'ultimo piano. Se l'opzione è attiva, l'ultimo piano della struttura può essere composto solo da elementi mono dimensionali in c.a. e/o acciaio. Tutti gli elementi devono essere di nuova costruzione (il software, relativamente al piano di sopraelevazione, non accetta elementi con materiale esistente);

Nel caso in cui si dovessero utilizzare valori diversi per lo stesso impalcato, intervenire successivamente sulle singole travi attraverso l'"Input grafico".

È possibile copiare le caratteristiche di un intero impalcato selezionando una cella della colonna da copiare, cliccare sul pulsante "Copia". Il contatore del numero di impalcato verrà aggiornato al valore corrente. Per scegliere l'impalcato di destinazione cliccare su una cella qualsiasi corrispondente alla colonna dell'impalcato voluto e cliccare sul pulsante "incolla".

### Opzioni Avanzate

La coppia torcente trasferita a travi e pareti può essere considerata secondo vari modelli. Alla pressione del tasto "Avanzate" viene visualizzata la seguente maschera:



La scelta del modello da utilizzare ricade nei seguenti:

- **Mensola:** il pannello di carico viene trasferito considerando lo schema a mensola;
- **Incastro:** il pannello di carico viene trasferito considerando lo schema incastro-incastro;
- **Personalizzato:** il pannello di carico viene trasferito secondo un valore cedevole della rigidezza di vincolo;
- **Trascura:** Non considera alcun valore della coppia torcente trasmessa.

Per uscire dalla maschera senza rendere effettive le modifiche cliccare su “Annulla” altrimenti sul pulsante “OK”.

#### 1.2.2.9 – Input Grafico

Il comando contrassegnato dall'icona apre l'ambiente che consente di inserire gli elementi strutturali. Per la sua complessità (anche se l'uso non porta a particolari difficoltà) verrà approfondito nel relativo capitolo “*L'Input Grafico*”;

#### 1.2.2.10 – Input 3D

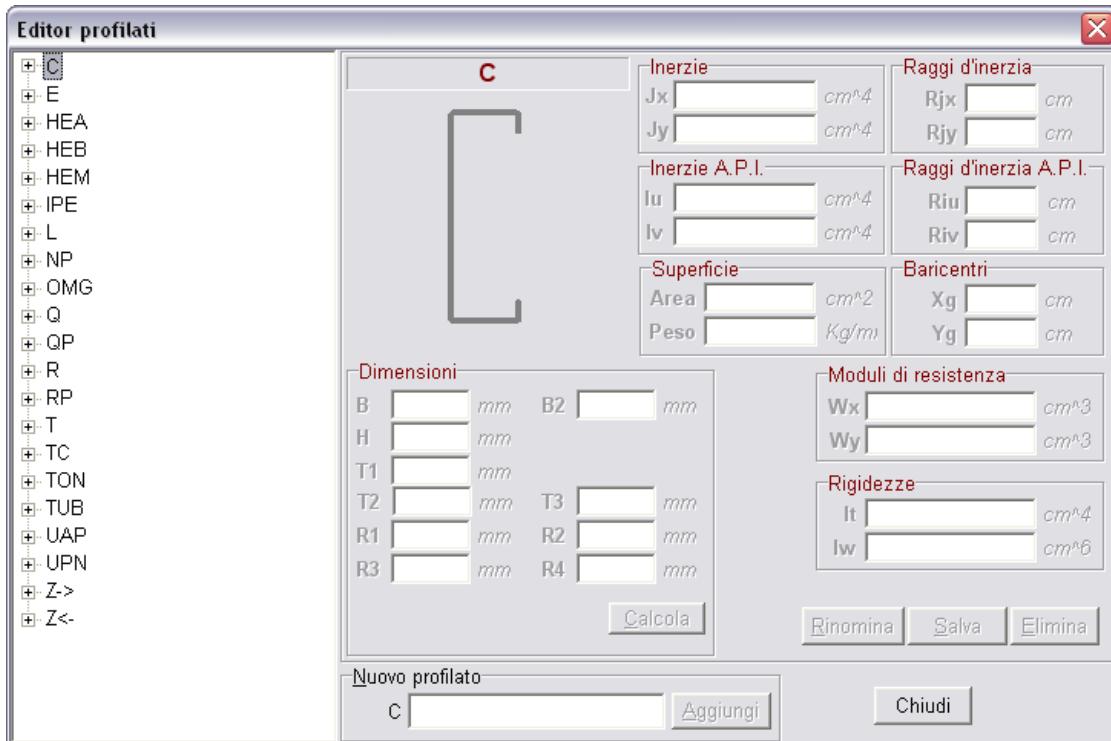
Il comando contrassegnato dall'icona apre l'ambiente attivo alla definizione tridimensionale della struttura per l'inserimento di nodi, aste, carichi, ecc. Tale ambiente è attivo solo per la modellazione degli elementi monodimensionali in c.a. e/o acciaio del piano di sopraelevazione. Come per l'Input Grafico, anch'esso verrà approfondito nel relativo capitolo “*Modellazione 3D*”;

#### 1.2.2.11 – Visione 3D

Il comando contrassegnato dall'icona consente di visualizzare la struttura in formato tridimensionale. È un ambiente richiamato in più fasi dell'input. Si rimanda al capitolo “*L'Input Grafico*” per la trattazione completa della schermata.

#### 1.2.2.12 – Editor profilati

Il comando contrassegnato dall'icona consente di creare o modificare i profili contenuti nel “database Profilati”. Alla pressione del tasto corrispondente viene visualizzata la seguente schermata:



Nel database è presente un vasto elenco di sezioni fornite dai produttori, alle quali è possibile aggiungere ulteriori sezioni tra i tipi presenti o modificare, rinominare e cancellare le sezioni esistenti. L'applicativo "Editor profilati" consente il calcolo delle grandezze geometriche ed elastiche dei profilati. In particolare il calcolo riguarda:

- **Momenti di Inerzia** rispetto agli assi locali x e y;
- **Raggi di Inerzia** rispetto agli assi locali x e y;
- **Momenti di Inerzia** rispetto agli assi principali d'inerzia (A.P.I.);
- **Raggi di Inerzia** rispetto agli assi principali d'inerzia (A.P.I.);
- **Area** della sezione;
- **Peso** al metro lineare del profilato;
- **Baricentro** della sezione;
- **Moduli di resistenza** della sezione;
- **Rigidezze**.

La scelta della sezione da visualizzare avviene con lo schema ad albero presente sulla parte sinistra della maschera. Il database è gestito secondo la codifica standard riconosciuta nel campo delle strutture in acciaio ed utilizza come unità di misura il mm.

Il funzionamento dell'applicativo "Editor profilati" è subordinato alla presenza del file, posizionato nella cartella in cui è presente l'eseguibile di VEM<sub>NL</sub>, chiamato "Profilati.pro". Il danneggiamento o la rimozione del file predetto, porta al non funzionamento dell'ambiente di Editor, che viene manifestato attraverso il messaggio di errore "File not found".

### Aggiungere un nuovo profilato

Per aggiungere un nuovo profilato tra i tipi presenti sono necessarie poche fasi. A titolo didattico creiamo una sezione di tipo "L" di dimensioni 85 x 65 mm di spessore pari a 15 mm:

1. Posizionarsi nello schema ad albero in corrispondenza del tipo voluto (ad esempio "L");
2. Digitare nel campo "Nome" di "Nuovo profilato" il codice aggiuntivo indicativo della dimensione (ad esempio 85x65x15) e cliccare su aggiungi;
3. Riempire tutti i campi relativi alla dimensione e cliccare su "Calcola" per calcolare le grandezze elastiche e geometriche della sezione;

4. Cliccare su “Salva” per aggiungere definitivamente la sezione al file di database del profilatario.

### Rinominare un profilato esistente

Per rinominare un profilato già presente nel database:

1. Sceglierlo attraverso lo schema ad albero;
2. Cliccare sul tasto “Rinomina” in modo da far comparire la finestra di editing del nome;
3. Cliccare su “OK” per confermare il nuovo nome immesso o su “Cancel” per ritornare alla schermata senza effettuare la modifica.

Come evidenziato dal programma, un eventuale cambiamento di nome porta VEM<sub>NL</sub> a non ritrovare negli archivi già creati la tipologia inserita, per cui la procedura di rinomina è da effettuare solo se la tipologia modificata non è stata precedentemente utilizzata.

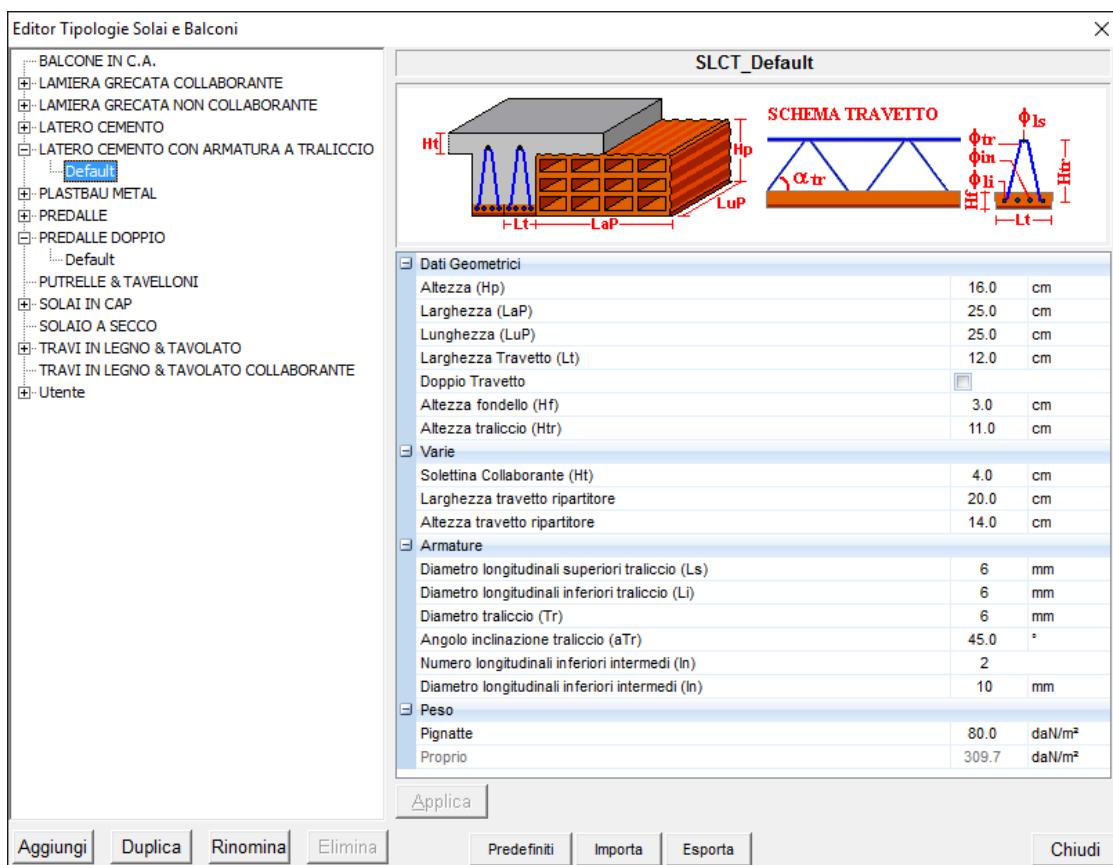
### Cancellare un profilato esistente

Per eliminare un profilato esistente, una volta selezionato dallo schema ad albero, cliccare su “Elimina”. La tipologia scomparirà dal file di database.

#### 1.2.2.13 – Editor tipologie solai

Il comando contrassegnato dall'icona  consente di creare i tipi di solaio contenuti nel "database Solai".

Come già descritto, in VEM<sub>NL</sub> è possibile introdurre nuove tipologie di solaio da associare ai piani. L'ambiente in cui ciò può essere fatto è il seguente:



Sul lato sinistro della maschera è presente lo schema ad albero delle tipologie presenti, da cui è possibile visionare i dati correnti associati ai vari tipi.

I tipi presenti sono:

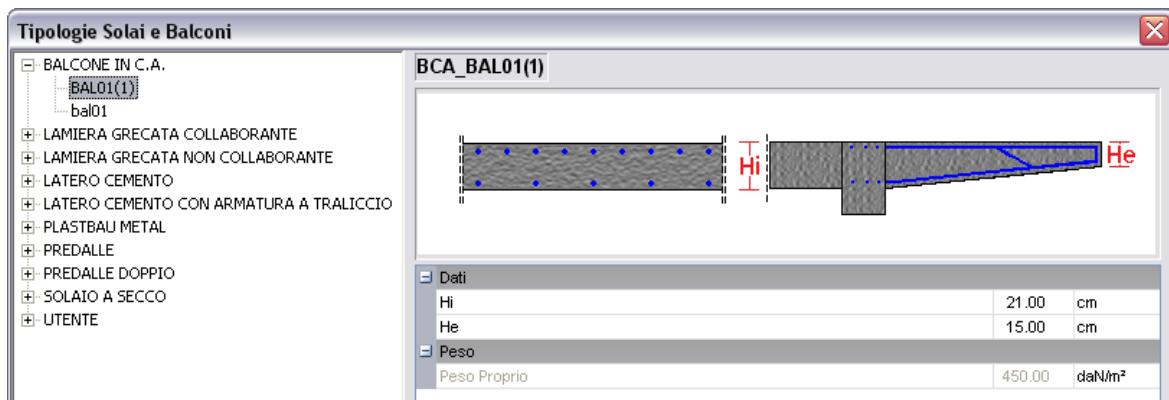
- **Balconi pieni in c.a.**
- **Lamiera grecata collaborante**
- **Lamiera grecata non collaborante**
- **Lamiera grecata**
- **Latero-cemento**
- **Latero-cemento con armatura a traliccio**
- **Plastbau metal**
- **Predalle**
- **Predalle doppie**
- **Putrelle e tabelloni**
- **Solai in c.a.p.**
- **Solai a secco**
- **Travi in legno e tavolato**
- **Travi in legno e tavolato collaborante**

In aggiunta ai tipi indicati è possibile introdurre il tipo **Utente**, in cui è possibile definire il peso e l'interasse delle travi.

Il funzionamento dell'applicativo "Editor tipologie solai" è subordinato alla presenza del file, posizionato nella cartella in cui è presente l'eseguibile di VEM<sub>NL</sub>, chiamato "Tiposolai.pro". Il danneggiamento o la rimozione del file predetto, porta alla perdita delle tipologie precedentemente create.

### **Balconi pieni in c.a.**

I parametri di tale tipologia possono essere definiti nella seguente schermata:



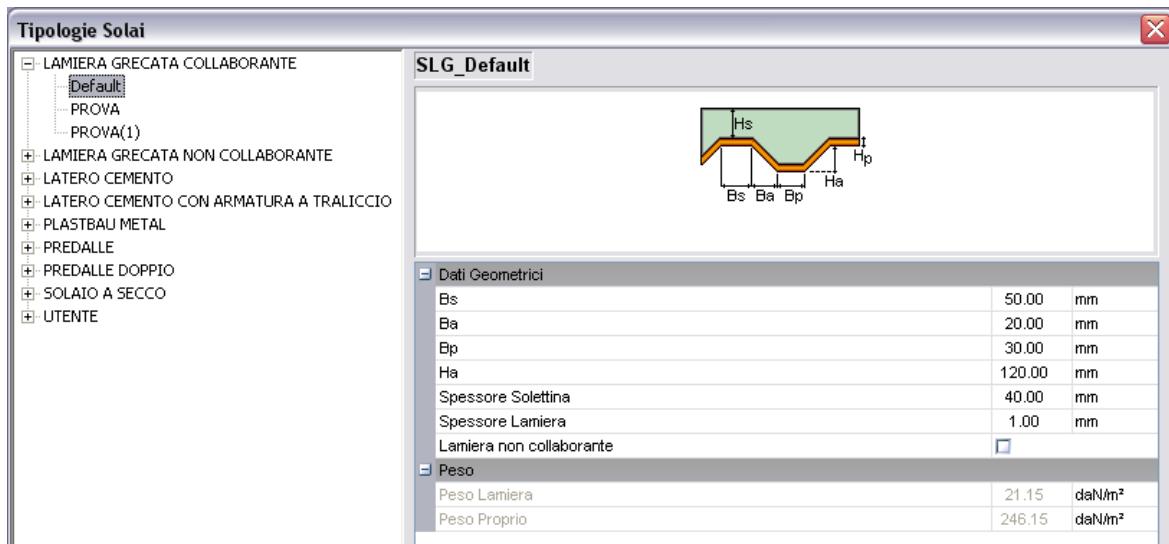
Le Caratteristiche del balcone sono le seguenti:

- **Hi:** Spessore interno del balcone;
- **He:** Spessore esterno del balcone;

Questa tipologia sarà disponibile solo per i balconi. Il calcolo di solai pieni in c.a. viene effettuato con l'introduzione di piastre.

### **Solai in "lamiera grecata"**

I parametri di tale tipologia possono essere definiti nella seguente schermata:

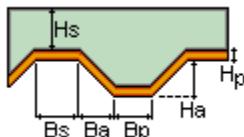


Le Caratteristiche del solaio sono le seguenti:

- **Hs**: Spessore della soletta in calcestruzzo;
- **Bs**: Base superiore della greca;
- **Ba**: Lunghezza orizzontale tratto inclinato della greca;
- **Bp**: Base inferiore della greca;
- **Ha**: Altezza della greca;
- **Hp**: Spessore della greca.

Il parametro “Lamiera non collaborante” consente di non considerare la collaborazione della lamiera, la quale viene considerata come cassero per la parte in calcestruzzo.

I dati geometrici della sezione resistente del solaio sono desumibili dalla figura di seguito sotto riportata:

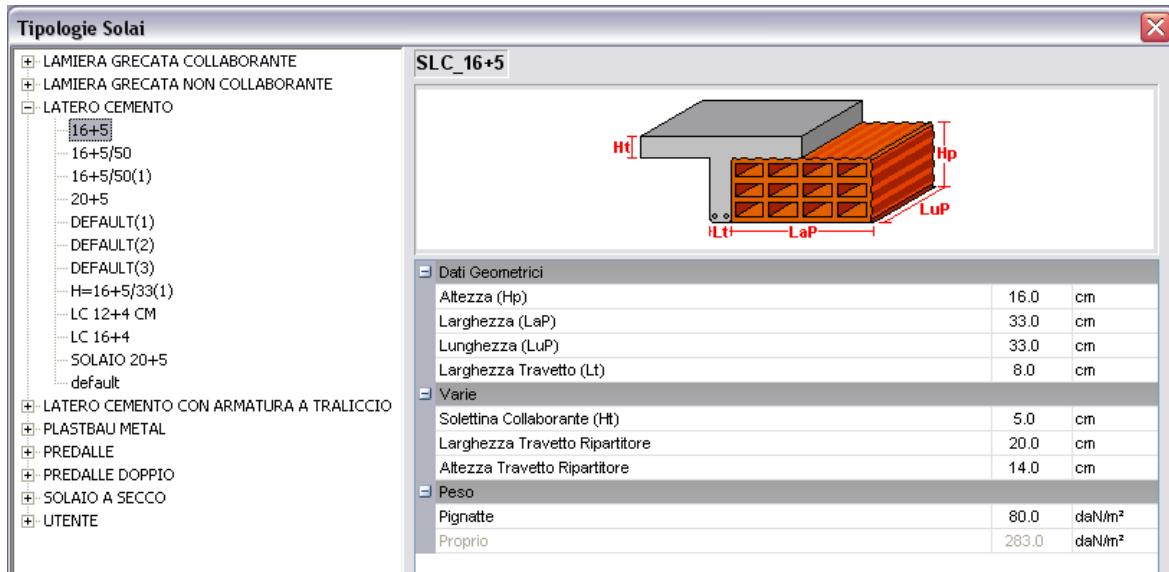


Il peso proprio del solaio viene calcolato automaticamente dal programma, il quale richiede anche il peso per unità di superficie della lamiera grecata.

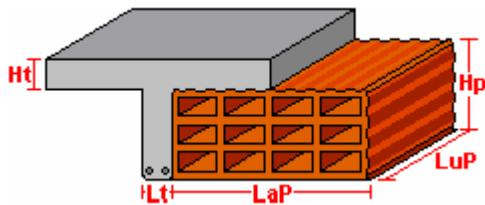
Le caratteristiche dei materiali vengono definite al momento dell'utilizzo nell'ambiente “Tipologie solai”.

### Solai in “Latero-cemento”

I parametri di tale tipologia possono essere definiti nella seguente schermata:



I dati geometrici della sezione resistente del solaio sono desumibili dalla figura di seguito sotto riportata:

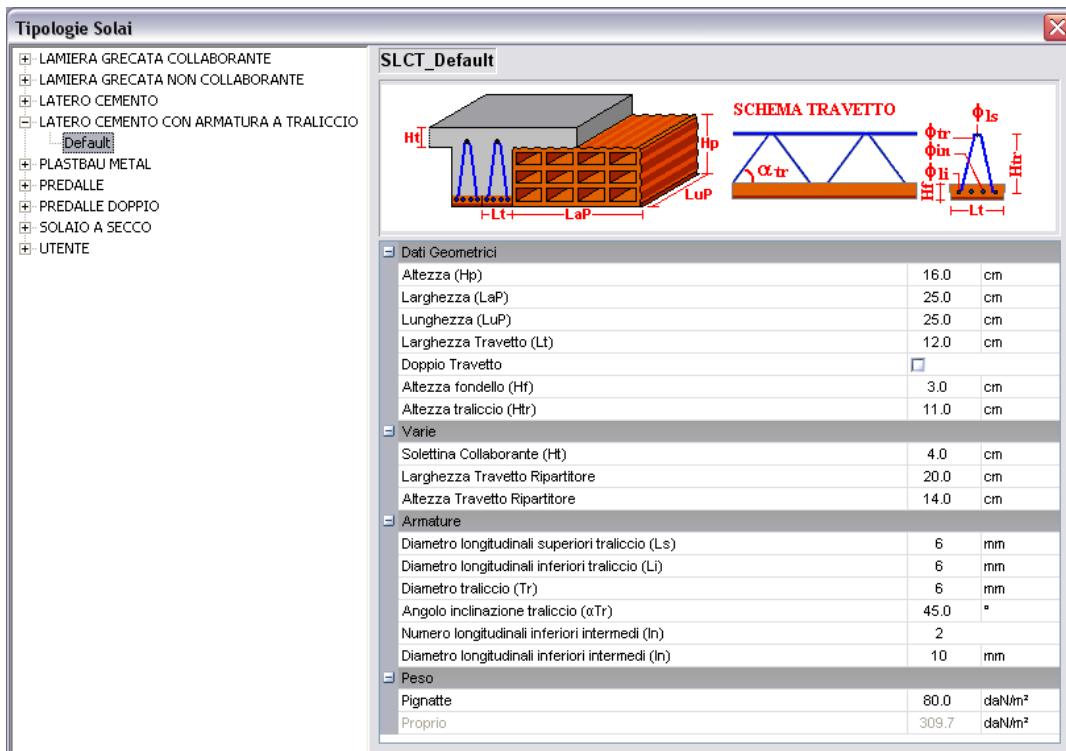


Per questa tipologia è possibile introdurre i travetti ripartitori che vengono automaticamente introdotti quando la luce del singolo solaio supera i 5 m. L'altro parametro definibile in questo frame è l'altezza della soletta collaborante (Ht).

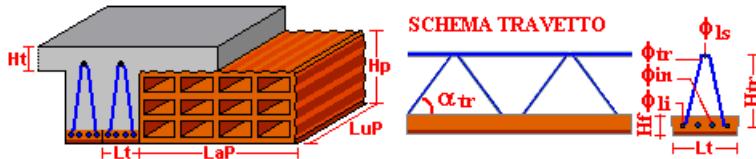
Il peso proprio del solaio viene calcolato automaticamente dal programma, il quale richiede anche il peso per unità di superficie relativo alle pignatte.

#### Solai in “Latero-cemento con traliccio”

I parametri di tale tipologia possono essere definiti nella seguente schermata:



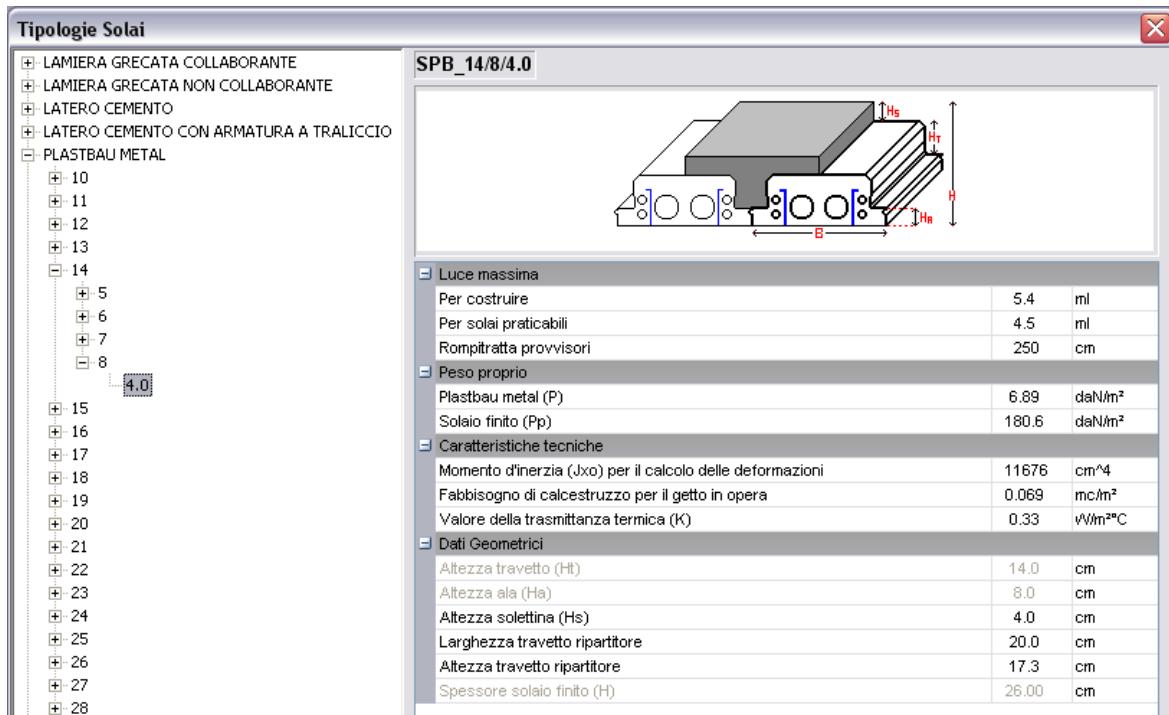
I dati geometrici della sezione resistente del solaio sono desumibili dalla figura di seguito sotto riportata:



Il peso proprio del solaio viene calcolato automaticamente dal programma, il quale richiede anche il peso per unità di superficie relativo alle pognatte.

## Solai Plastbau metal

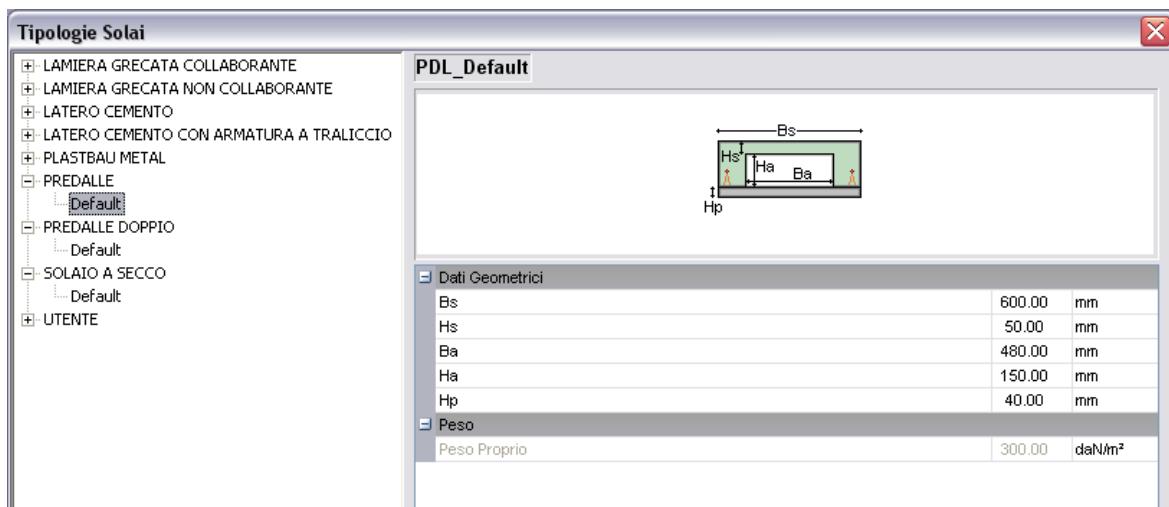
Le caratteristiche dei solai Plastbau metal sono descritte negli appositi manuali distribuiti dalla casa produttrice. Per cui si rimanda alla documentazione tecnica fornita dall'azienda produttrice.



I dati inseriti sono riferiti a cataloghi presenti in commercio,

## Solai "Predalle"

I parametri di tale tipologia possono essere definiti nella seguente schermata:

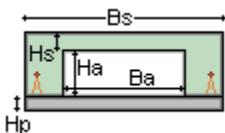


Le Caratteristiche del solaio sono le seguenti:

- **Hs:** Spessore della solettina in calcestruzzo;
- **Bs:** Interasse delle nervature armate;
- **Ba:** Larghezza del materiale di allegerimento;
- **Ha:** Altezza del materiale di allegerimento;

- **H<sub>p</sub>**: Spessore del pannello prefabbricato.

I dati geometrici della sezione resistente del solaio sono desumibili dalla figura di seguito sotto riportata:



### Solai "Putrelle e tavelloni"

I parametri di tale tipologia possono essere definiti nella seguente schermata:

**Tipologie Solai e Balconi**

- + BALCONE IN C.A.
- + LAMIERA GRECATA COLLABORANTE
- + LAMIERA GRECATA NON COLLABORANTE
- + LATERO CEMENTO
- + LATERO CEMENTO CON ARMATURA A TRALICCIO
- + PLASTBAU METAL
- + PREDALLE
- + PREDALLE DOPPIO
- PUTRELLE & TAVELLONI
  - 01
- + SOLAIO A SECCO
- + TRAVI IN LEGNO & TAVOLATO
- + UTENTE

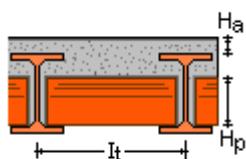
**PeT\_01**

<b>Dati</b>	
Ha	50 mm
Hp	60 mm
I <sub>t</sub>	600 mm
Profilo	IPE120
<b>Peso</b>	
Tavelloni	60.0 daN/m <sup>2</sup>
Riempimento	2400.0 daN/m <sup>3</sup>
Peso Proprio	341.29 daN/m <sup>2</sup>

Le Caratteristiche del solaio sono le seguenti:

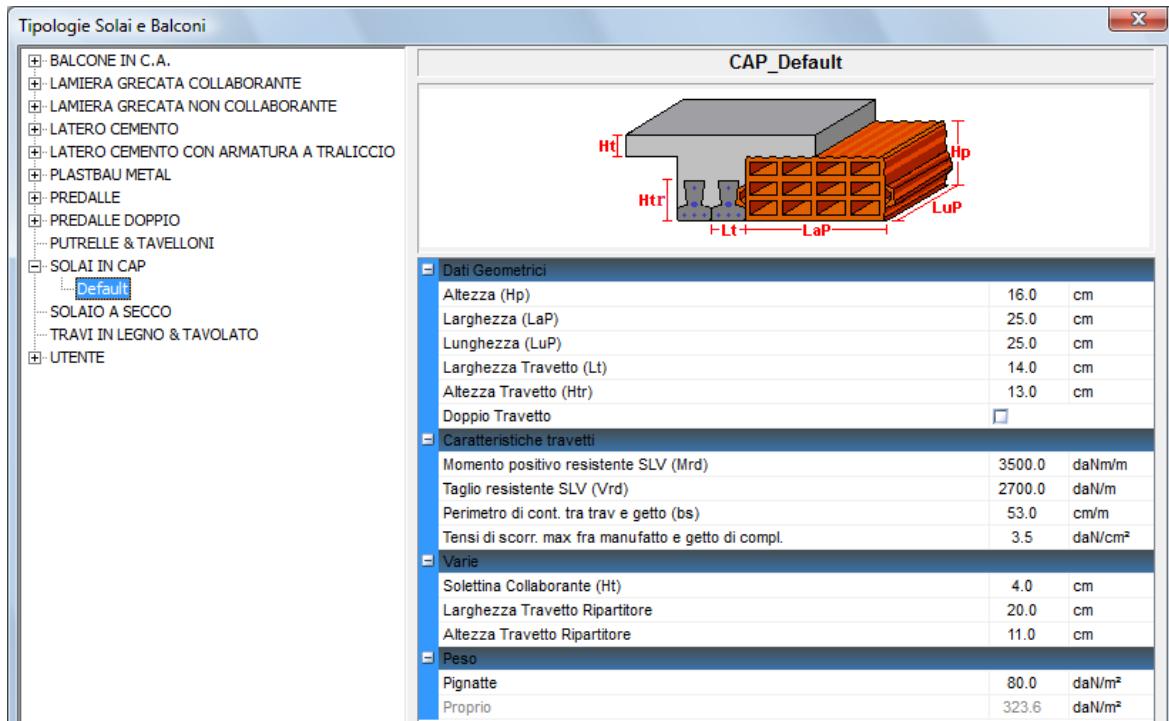
- **Ha**: Spessore della soletta sulle travi;
- **H<sub>p</sub>**: Altezza dei tavelloni;
- **I<sub>t</sub>**: Interassi delle travi;
- **Profilo**: Sezione del profilato delle travi;
- **Tavelloni**: Peso per unità di superficie dei laterizi;
- **Riempimento**: Peso per unità di volume del riempimento.

I dati geometrici della sezione resistente del solaio sono desumibili dalla figura di seguito sotto riportata:

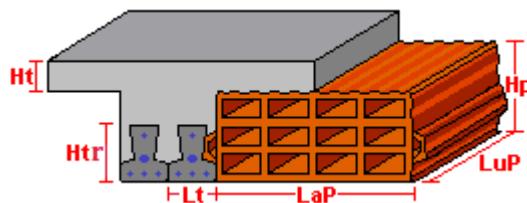


## Solai “Solai in CAP”

I parametri di tale tipologia possono essere definiti nella seguente schermata:



I dati geometrici della sezione resistente del solaio sono desumibili dalla figura di seguito sotto riportata:

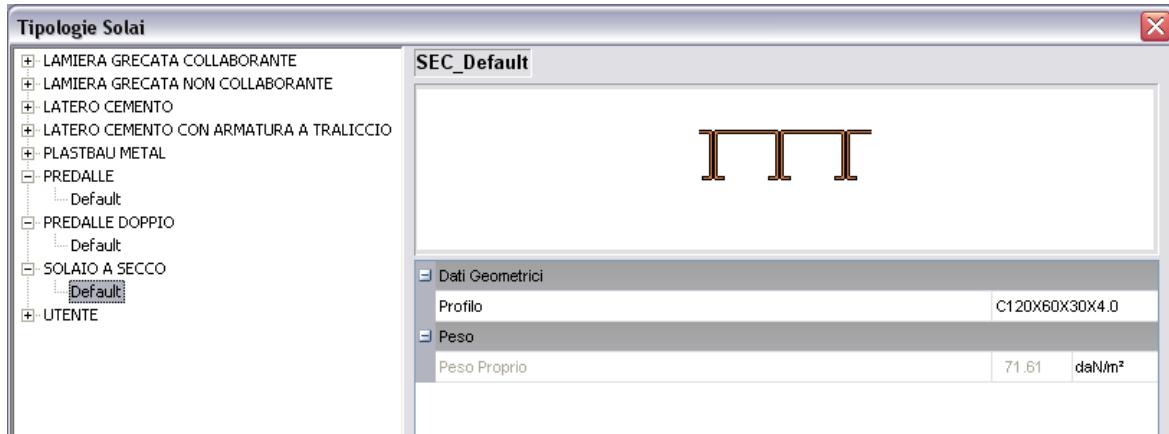


Per questa tipologia è possibile introdurre i travetti ripartitori che vengono automaticamente introdotti quando la luce del singolo solaio supera i 5 m. L'altro parametro definibile in questo frame è l'altezza della soletta collaborante (Ht).

Il peso proprio del solaio viene calcolato automaticamente dal programma, il quale richiede anche il peso per unità di superficie relativo alle pignatte.

### Solai “A secco”

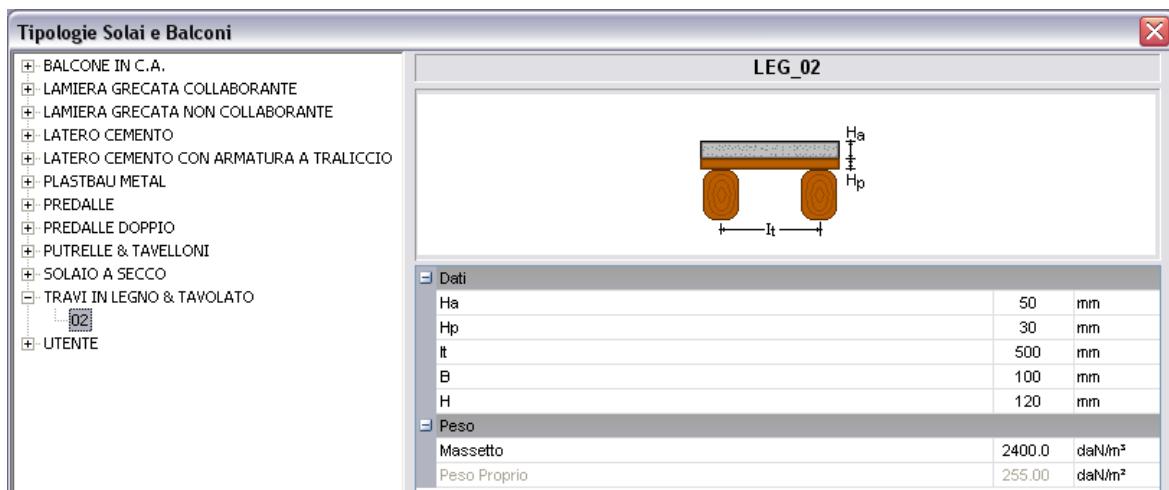
I parametri di tale tipologia possono essere definiti nella seguente schermata:



Il solaio viene definito partendo dal profilo scelto dall'editor profilati. Il calcolo del peso proprio viene effettuato automaticamente dal software.

### Solai “Travi in legno e tavolato”

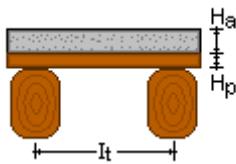
I parametri di tale tipologia possono essere definiti nella seguente schermata:



Le Caratteristiche del solaio sono le seguenti:

- **Ha:** Spessore del massetto;
- **H<sub>p</sub>:** Spessore del tavolato;
- **It:** Interassi delle travi;
- **B:** Base delle travi;
- **H:** Altezze delle travi;
- **Massetto:** Peso per unità di volume del massetto.

I dati geometrici della sezione resistente del solaio sono desumibili dalla figura di seguito sotto riportata:



### Solai “Utente”

Nel caso in cui si utilizza un solaio non presente nei tipi descritti è possibile definire il peso e l'interasse, in modo da utilizzare il carico derivante sulla struttura da calcolare.



### Aggiungere una nuova tipologia

L'aggiunta di una nuova tipologia è fatta delle seguenti fasi:

1. Introdurre il nome della nuova tipologia;
2. Cliccare su “Aggiungi”;
3. Riempire, in funzione del tipo scelto, la maschera relativa alla tipologia voluta;

### Rinominare un tipo esistente

Per rinominare un tipo di solaio già presente nel database:

1. Sceglierlo attraverso lo schema ad albero;
2. Cliccare sul tasto “Rinomina” in modo da far comparire la finestra di editing del nome.
3. Cliccare su “OK” per confermare il nuovo nome immesso o su “Cancel” per ritornare alla schermata senza effettuare la modifica.

Come evidenziato dal programma, un eventuale cambiamento di nome porta VEM<sub>NL</sub> a non ritrovare negli archivi già creati la tipologia inserita, per cui la procedura di rinomina è da effettuare solo se la tipologia modificata non è stata precedentemente utilizzata.

### Duplicare un tipo esistente

Per duplicare un tipo di solaio già presente nel database:

4. Sceglierlo attraverso lo schema ad albero;
5. Cliccare sul tasto “Duplica” in modo da far comparire la finestra di editing del nome.

6. Cliccare su "OK" per confermare il nuovo nome immesso o su "Cancel" per ritornare alla schermata senza effettuare la modifica.

Come evidenziato dal programma, un eventuale cambiamento di nome porta VEM<sub>NL</sub> a non ritrovare negli archivi già creati la tipologia inserita, per cui la procedura di rinomina è da effettuare solo se la tipologia modificata non è stata precedentemente utilizzata.

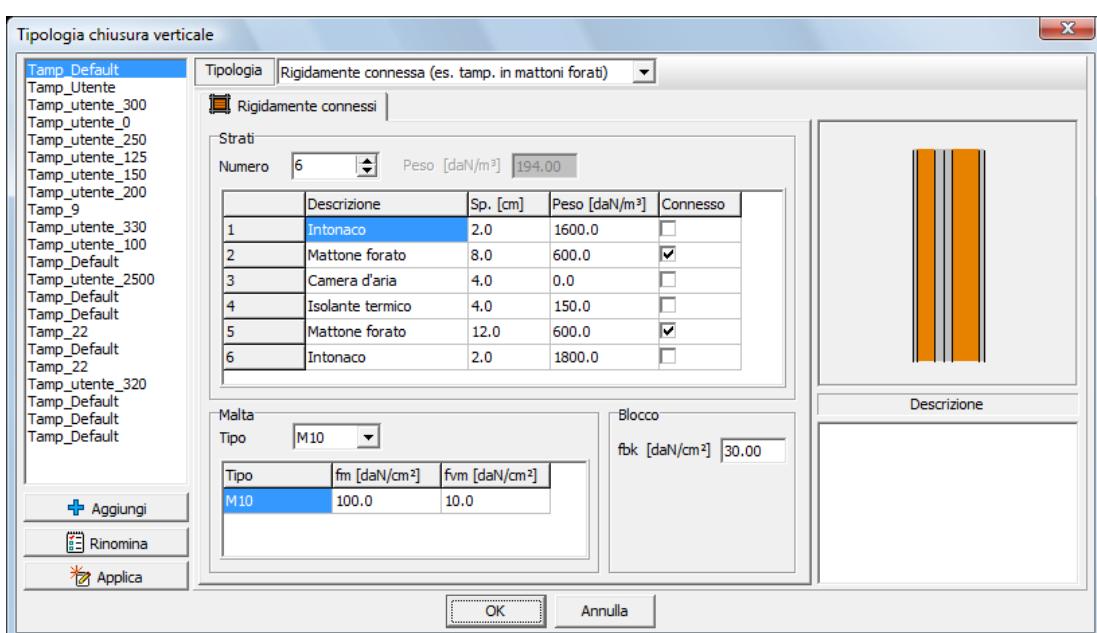
### Cancellare un profilato esistente

Per eliminare un tipo di solaio esistente, una volta selezionato dallo schema ad albero, cliccare su "Elimina". La tipologia scomparirà dal file di database una volta confermata la cancellazione.

#### 1.2.2.14 – Editor tipologie tamponamenti

Il comando contrassegnato dall'icona  consente di creare i tipi di tamponamento contenuti nel "database Tamponamenti".

Dopo aver cliccato sul pulsante viene visualizzata la seguente maschera di inserimento:



La scelta della tipologia da modificare avviene tramite la lista presente sul lato sinistro del pannello. Dopo aver selezionato il tipo la scelta della tipologia avviene dal menu a tendina posizionata in testa alla maschera. Le tipologie possibili sono:

- **Rigidamente connessa** (es. tamp. in mattoni forati)
- **Utente** (solo per considerarne il peso)

Per la tipologia "Rigidamente connessa" sarà utile definire:

- **Numero** di strati;
- **Descrizione** di ogni strato;
- **Spessore** in cm;
- **Peso** in daN/m<sup>3</sup>;
- **Connessione** con la struttura.

Utile alla compilazione della relazione di calcolo è la descrizione della chiusura, da inserire nel campo sotto il disegno della sezione.

Il tipo di malta è codificato secondo il paragrafo 11.10.2.1 del DM 17/01/2018, secondo la seguente tabella:

**Tabella 11.10.III - Classi di malte a prestazione garantita**

Classe	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistenza a compressione N/mm <sup>2</sup>	2,5	5	10	15	20	d
d è una resistenza a compressione maggiore di 25 N/mm <sup>2</sup> dichiarata dal produttore						

La resistenza del blocco, insieme alla definizione della malta, consente di stabilire la resistenza di calcolo.

Per la tipologia "Utente" sarà utile definire il peso in daN/m<sup>2</sup>.

E' possibile aggiungere una tipologia cliccando su 

Ogni modifica o conferma di inserimento viene resa effettiva dal pulsante 

E' possibile importare ed esportare un set di tipologie cliccando sulle seguenti icone:

-  Esporta: consente l'esportazione di un set di tipologie creando un file ".vst"
-  Importa: consente l'importazione di un set di tipologie caricando un file ".vst" .

In presenza del modulo VSec di StruSec è possibile effettuare, in maniera completamente integrata, la verifica all'espulsione dei tamponamenti, altrimenti il tamponamento verrà considerato solo come carico applicato sull'elemento.

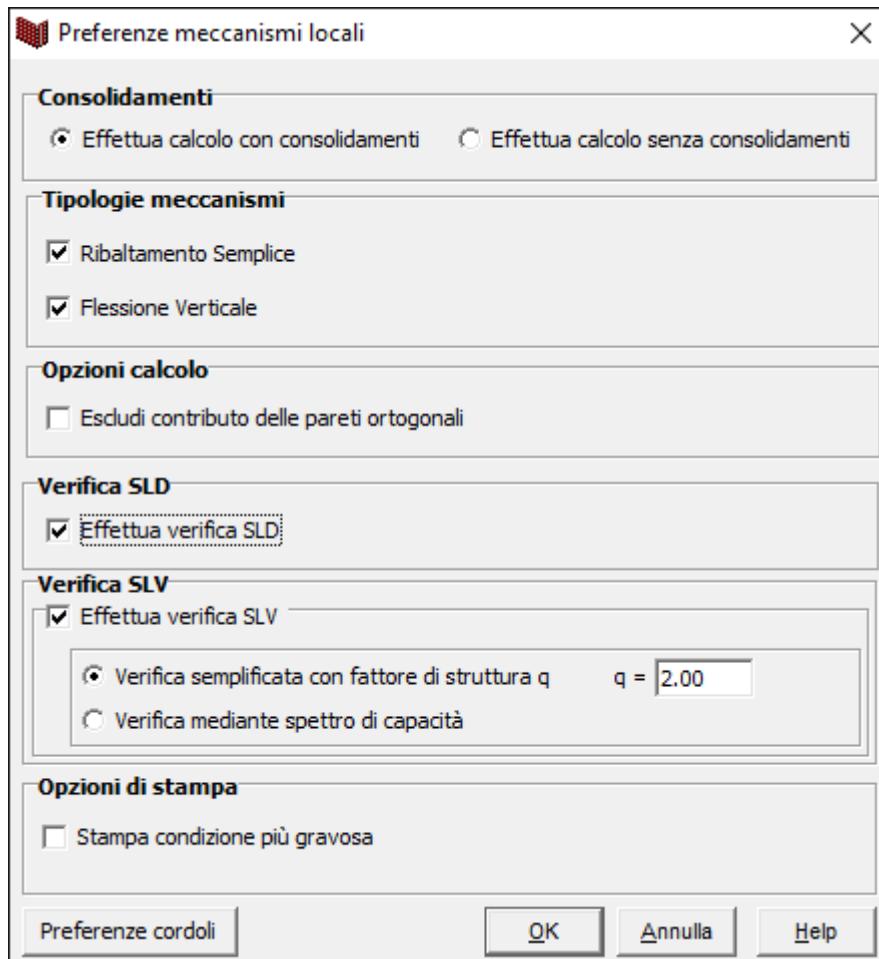
### 1.2.3 – Menu Elaborazione.

È il menu relativo alle fasi di elaborazione della struttura corrente in VEM<sub>NL</sub>.  
Il menu Elaborazione è composto dai seguenti comandi:

#### 1.2.3.1 – Calcolo dei meccanismi locali

Il comando contrassegnato dall'icona  avvia la risoluzione della struttura relativa ai meccanismi locali. Per i dettagli di modellazione e computazione delle incognite si rimanda al capitolo "Meccanismi locali".

Alla pressione di questo pulsante, compare la seguente schermata:



**Consolidamenti:** consente di effettuare il calcolo con e senza consolidamenti. Attivando “Effettua calcolo senza consolidamenti” il software, in presenza di eventuali consolidamenti non li considera ai fini del calcolo. Questa opzione può essere utile per avere la resistenza della struttura in assenza di consolidamenti anche se precedentemente inseriti.

**Tipologie meccanismi:** il software consente di effettuare l’analisi dei meccanismi di ribaltamento semplice e flessione verticale. È possibile selezionare una o entrambe le tipologie di meccanismo.

**Escludi contributo delle pareti ortogonali:** se attivo, il software esclude dal calcolo il contributo stabilizzante delle pareti ortogonali.

**Verifica SLD:** se attivo, il software effettua la verifica allo stato limite di danno (SLD).

**Verifica SLV:** se attivo, il software effettua la verifica allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

**Verifica semplificata con fattore di struttura q:** se attivo, il software effettua la verifica SLV semplificata con fattore di struttura q (analisi cinematica lineare).

**Verifica mediante spettro di risposta:** se attivo, il software effettua la verifica SLV mediante spettro di risposta (analisi cinematica non lineare).

**Stampa condizione più gravosa:** se attivo, per ogni meccanismo viene visualizzata soltanto la configurazione che determina il posizionamento della cerniera cinematica con coefficiente di sicurezza più basso. Se disattivo, vengono riportate tutti i casi calcolati.

**Preferenze cordoli:** cliccando sul comando appare una finestra dalla quale è possibile stabilire i parametri relativi alle armature dei cordoli:

- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio;
- $\varnothing_{\max}$  : diametro commerciale massimo in mm delle barre d'acciaio;
- **Materiale** : Materiale da assegnare alle barre utilizzate

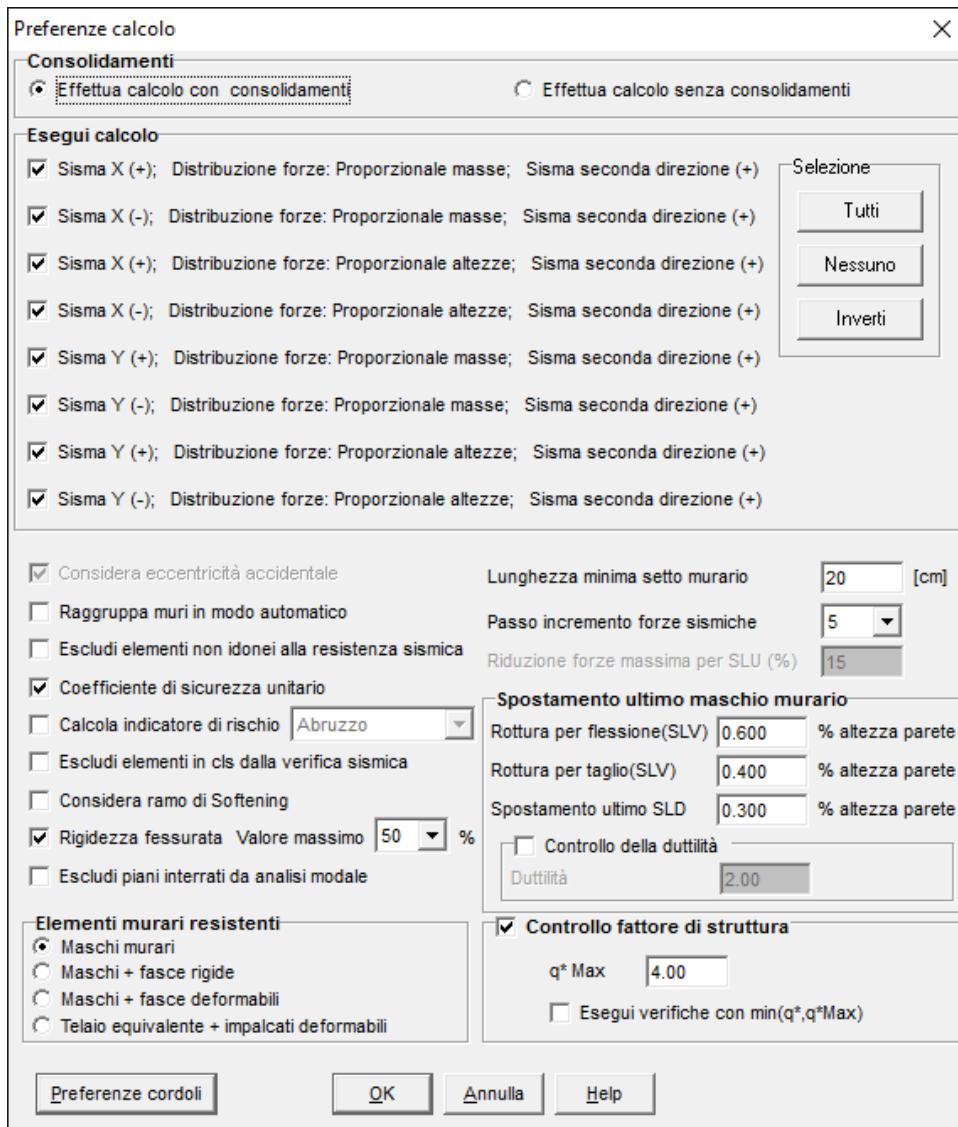
mentre i parametri relativi alle armature longitudinali sono:

- $\varnothing$  : diametro commerciale in mm delle barre d'acciaio;
- **Dist. min** : valore minimo in cm della distanza tra le staffe;
- **Dist. max** : valore massimo in cm della distanza tra le staffe;
- **Materiale** : Materiale da assegnare alle barre utilizzate

### 1.2.3.2 – Calcolo

Il comando contrassegnato dall'icona avvia la risoluzione della struttura relativa all'analisi sismica. Per i dettagli di modellazione e computazione delle incognite si rimanda al capitolo "Il motore di calcolo".

Alla pressione di questo pulsante, compare la seguente schermata utile per la personalizzazione del calcolo (nel caso di analisi statica non lineare)



dalla quale è possibile selezionare le seguenti opzioni:

**Consolidamenti:** consente di effettuare il calcolo con e senza consolidamenti. Attivando "Effettua calcolo senza consolidamenti" il software, in presenza di eventuali consolidamenti non li considera ai fini del calcolo. Questa opzione può essere utile per avere la resistenza della struttura in assenza di consolidamenti anche se precedentemente inseriti.

**Esegui Calcolo:** consente di selezionare quali combinazioni di calcolo effettuare (solo per l'analisi statica non lineare). Il calcolo deve essere effettuato secondo le due direzioni principali della struttura e per ognuna di esse bisogna considerare l'incremento di forze sia positivo che negativo ed utilizzando due distinte distribuzioni di azioni orizzontali: una proporzionale alle masse degli impalcati e l'altra proporzionale alle altezze (simile alla distribuzione di forze sismiche che si adotta per il calcolo statico lineare). Per le NTC 2008 le forze sismiche orizzontali si applicano al 100% in una sola direzione per combinazione. Per le NTC 2018 le forze sismiche orizzontali devono essere applicate in contemporanea al 100% nella direzione principale ed al 30% nella direzione secondaria.

**Considera eccentricità accidentali:** opzione valida solo per le NTC 2008. Se attivo effettua le combinazioni previste al punto precedente considerando l'eccentricità accidentale prevista dalla normativa (le combinazioni passano da 8 a 16). Ogni combinazione del punto precedente viene calcolata due volte, una con eccentricità accidentale positiva, l'altra con eccentricità negativa.

**Raggruppa muri in modo automatico:** consente di raggruppare pareti che sono suddivise da fili fissi in modo di aumentare la rigidità della struttura. Se si attiva questo comando, tutti i raggruppamenti inseriti manualmente dall'Input Grafico non saranno prese in considerazione. L'unione tra le pareti avviene solo se sono compatibili (materiali, spessore, altezza, ecc);

**Escludi elementi non idonei alla resistenza sismica:** esclude automaticamente dalla resistenza sismica tutti i maschi murari che non hanno i requisiti geometrici minimi per la resistenza sismica. Tali elementi reagiscono solo a carichi verticali.

**Coefficiente di sicurezza unitario:** è possibile effettuare il calcolo considerando il coefficiente di sicurezza della muratura unitario. Nel caso in cui si effettua l'**analisi statica non lineare** si possono adottare le resistenze medie come resistenze di calcolo (per esempio  $f_d = f_m$  anziché  $f_d = f_m/\gamma_m$ ).

**Calcolo indicatori di rischio:** effettuare il calcolo degli indicatori di rischio (PGA). È possibile inoltre selezionare le schede in funzione della regione in cui si opera. Allo stato attuale sono previste le regioni: Abruzzo, Lazio, Molise. Gli indicatori previsti dalla regione Abruzzo prevedono più verifiche (analisi globale, meccanismi locali e verifiche fuori piano) per cui più complete.

**Escludi elementi in cls dalla verifica sismica:** esclude gli elementi il c.a. dalla resistenza sismica. Tali elementi reagiscono solo a carichi verticali. (attivo solo per l'analisi statica non lineare).

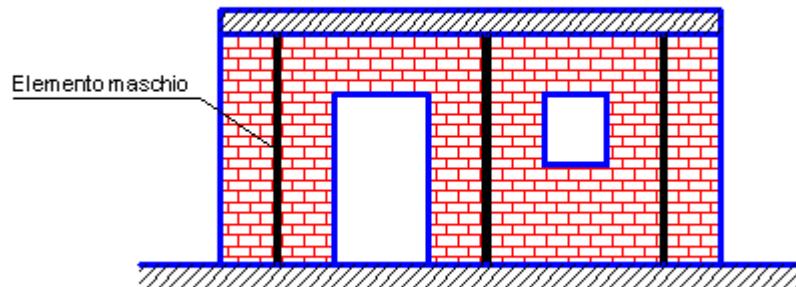
**Considera ramo di softening:** attivando questa opzione è possibile avere rami della curva di capacità decrescente (aumento delle deformazioni al diminuire delle forze). Questa opzione può dare dei benefici per strutture costituite da materiali con rigidità (E, G) basse. In questo caso possono comparire più curve contemporaneamente. La curva di capacità è quella che le inviluppa tutte.

**Rigidezza fessurata:** effettua il calcolo della struttura riducendo le rigidità degli elementi in muratura ordinaria per tener conto della fessurazione della muratura. Per le NTC 2008 le rigidità vengono automaticamente dimezzate. Per le NTC 2018 le rigidità possono essere ridotte per percentuali che vanno fino al 50%. Si può scegliere di ridurre le rigidità del 10, 20, 30, 40 e 50%.

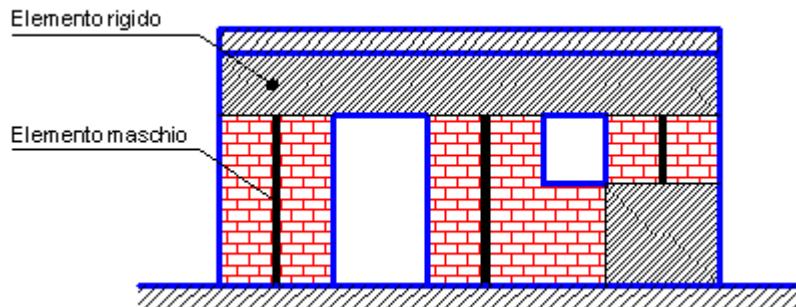
**Escludi piani interrati da analisi modale:** esclude dal calcolo dei modi di vibrare il contributo relativo ai piani interrati.

**Elementi murari resistenti:** il software VEM<sub>NL</sub> consente di schematizzare una parete in muratura in tre modi diversi:

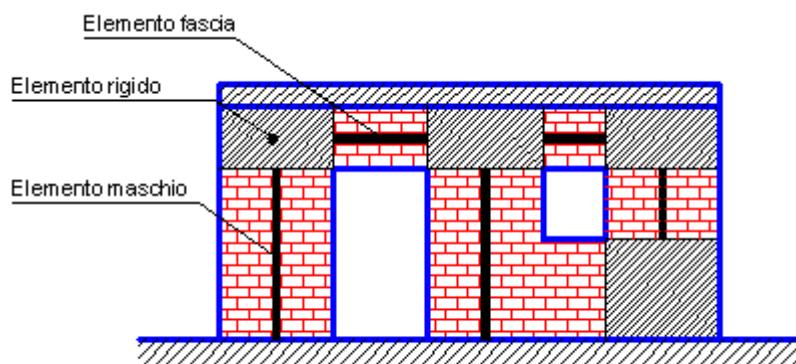
- **Maschi murari:** la parete viene schematizzata con soli elementi verticali deformabili (maschi murari) che si sviluppano dal solaio inferiore a quello superiore:



- **Maschi + fasce rigide:** la parete viene schematizzata con elementi rigidi (conci rigidi) ed elementi verticali deformabili (maschi murari) che si sviluppano dal concio rigido inferiore a quello superiore:



- **Maschi + fasce deformabili:** la parete viene schematizzata con elementi rigidi (conci rigidi), elementi verticali deformabili (maschi murari) che si sviluppano dal concio rigido inferiore a quello superiore ed elementi orizzontali deformabili (fasce) che si sviluppano tra due conci rigidi. In questo caso è possibile inserire (per il calcolo delle fasce di piano) la resistenza a compressione orizzontale come aliquota della resistenza a compressione verticale della muratura ( $F_{hd}/F_d$ ):



- **Telaio equivalente + impalcati deformabili:** la parete viene schematizzata come nel punto precedente. A differenza del caso precedente, l'impalcato viene considerato deformabile nel proprio piano. Per applicare questa opzione occorrono alcuni accorgimenti nel modello:

- Gli elementi devono essere collocati seguendo in verticale gli stessi fili fissi (per esempio: se la parete al primo livello è collocata tra i fili fissi 1, 2 e 3, quella dei livelli superiori non possono essere collocate tra i fili fissi 1 e 3, ma devono seguire gli stessi fili fissi di quella del primo piano);
- Tutti gli elementi in c.a. devono essere armati manualmente prima di effettuare il calcolo della struttura.

**Lunghezza minima setto murario:** escludere dal calcolo sismico tutti gli elementi che hanno lunghezza inferiore a quella riportata nella casella di testo;

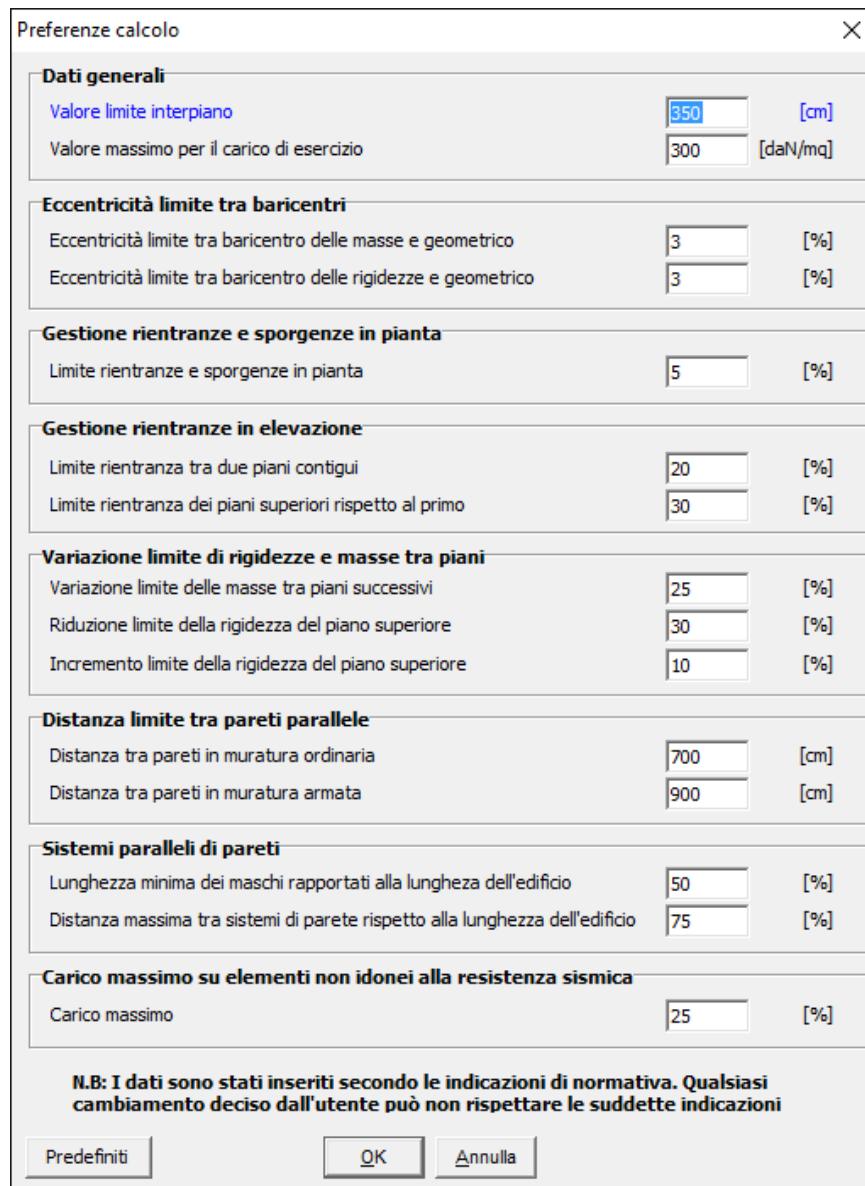
**Passo incremento forze sismiche:** si stabilisce il passo con il quale si incrementano le forze sismiche. Minore sarà il passo, maggiori saranno i tempi e l'accuratezza del calcolo. Maggiore sarà il passo, minori saranno i tempi e l'accuratezza del calcolo.

**Riduzione forze massima per SLU (%):** in questo campo si inserisce la riduzione della forza massima della curva di capacità da considerare nella verifica sismica. Le NTC 2008 e 2018 consentono una riduzione massima del 20% della forza massima, mentre la circolare 617/2009 consiglia una riduzione massima del 15%.

**Spostamento ultimo del maschio murario:** è possibile stabilire la deformazione ultima di ogni parete di muratura ordinaria in termini di percentuale dell'altezza. I valori di default sono quelli consigliati dalle varie normative. Per SLV si assumono gli spostamenti massimi pari a 0.8% per rottura a pressoflessione (0.6% se gli elementi sono esistenti) e pari a 0.4% per rottura a taglio. Per SLC si assumono gli spostamenti massimi pari a 1.0% per rottura a pressoflessione e pari a 0.5% per rottura a taglio. Per SLD si assume lo spostamento massimo pari a 0.3% per le NTC 2008 e pari a 0.2% per le NTC 2018. È possibile stabilire la deformazione ultima in funzione della duttilità attivando la voce "Controllo della duttilità". In questo caso la deformazione ultima si ottiene moltiplicando lo spostamento elastico ( $\delta_0$ ) per il valore della "Duttilità".

**Controllo fattore di struttura:** è possibile effettuare il controllo sul valore del fattore di struttura. Il valore di default consigliato dalle normative è di 3 per le NTC 2008 e 4 per le NTC 2018. Se si eccede tale valore (o quello digitato dall'utente) la verifica sismica da esito negativo. Se si eccede il valore massimo previsto dall'utente ( $q^*Max$ ), è possibile stabilire se effettuare la verifica con il valore massimo previsto ( $q^*Max$ ) o con quello calcolato ( $q^*$ ).

Se si analizza la struttura secondo la tecnica delle *costruzioni semplici* compare la seguente videata. Tutti i parametri che compaiono nella videata sono i limiti che occorre rispettare affinché l'edificio possa essere considerato costruzione semplice. I valori riportati sono quelli limite previsti dalla normativa. È possibile inserire dati più restrittivi della verifica. Si sconsigliano dati meno restrittivi.



**Dati generali.** In questa sezione si definiscono i seguenti dati:

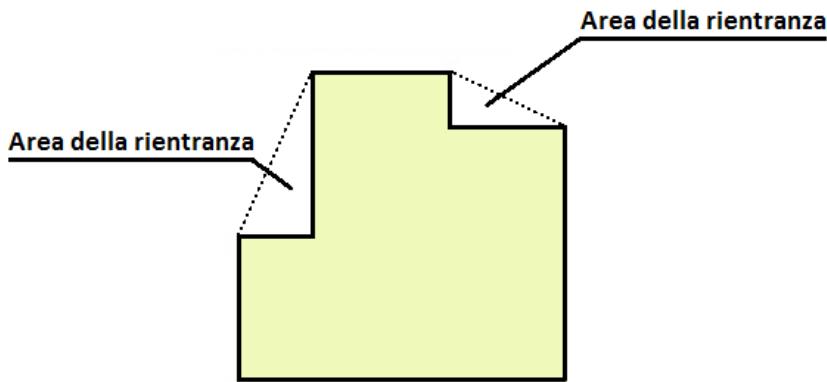
- **Valore limite interpiano:** definisce il massimo valore per l'altezza dell'interpiano. La normativa impone tale limite a 350 cm;
- **Valore massimo per il calcolo di esercizio:** definisce il massimo valore per il carico di esercizio sui solai. La normativa impone tale limite a 300 daN/m<sup>2</sup>.

**Eccentricità limite tra baricentri.** In questa sezione si definiscono i valori limite delle eccentricità tra baricentri (prescrizione richiesta per la regolarità in pianta):

- **Eccentricità limite tra baricentro delle masse e geometrico:** definisce il valore limite delle eccentricità tra il baricentro geometrico e quello delle masse. Per questa prescrizione la normativa non fornisce i limiti. Nel software viene ragionevolmente fissato il limite al 3%;
- **Eccentricità limite tra baricentro delle rigidezze e geometrico:** definisce il valore limite delle eccentricità tra il baricentro geometrico e quello delle rigidezze. Per questa prescrizione la normativa non fornisce i limiti. Nel software viene ragionevolmente fissato il limite al 3%.

**Gestione rientranze e sporgenze in pianta.** In questa sezione si definiscono i limiti per le sporgenze e per le rientranze in pianta (prescrizione richiesta per la regolarità in pianta):

- **Limite rientranze e sporgenze in pianta:** definisce il limite che può assumere ogni rientranza. Per la normativa, il rapporto tra l'area di ogni rientranza (si intende l'area tra la curva convessa che include l'impalcato e quella dello stesso impalcato) e quella dell'impalcato in pianta deve essere contenuto nel 5%.



**Gestione rientranze in elevazione.** In questa sezione si definiscono i limiti per le rientranze in pianta (prescrizione richiesta per la regolarità in altezza):

- **Limite rientranze tra due piani contigui:** definisce il limite della rientranza tra due piani contigui. Per la normativa il suddetto limite deve essere contenuto nel 20%;
- **Limite rientranze dei piani superiori rispetto al primo:** definisce il limite delle rientranze dei piani superiori rispetto al primo. Per la normativa il suddetto limite deve essere contenuto nel 30%.

**Variazione limite di rigidezze e masse tra i piani.** In questa sezione si definiscono i limiti per la variazione delle rigidezze e delle masse ai vari piani (prescrizione richiesta per la regolarità in altezza):

- **Variazione limite delle masse tra piani successivi:** definisce il limite della variazione delle masse tra i piani contigui. La normativa fissa tale limite al 25%;
- **Riduzione limite della rigidezza del piano superiore:** definisce il limite della riduzione della rigidezza del piano superiore rispetto a quella del piano inferiore. Secondo la normativa, nel caso in cui la rigidezza del piano superiore diminuisce rispetto a quella del piano inferiore, la riduzione della rigidezza può essere del 30%;
- **Incremento limite della rigidezza del piano superiore:** definisce il limite dell'incremento della rigidezza del piano superiore rispetto a quella del piano inferiore. Secondo la normativa, nel caso in cui la rigidezza del piano superiore aumenta rispetto a quella del piano inferiore, tale incremento deve essere contenuto nel 10%.

**Distanza limite tra pareti parallele.** In questa sezione si definisce il limite delle distanze tra due pareti parallele:

- **Distanza tra pareti in muratura ordinaria:** definisce la distanza massima tra due pareti in muratura ordinaria. Secondo la normativa, la suddetta distanza non deve essere maggiore di 700 cm;
- **Distanza tra pareti in muratura armata:** definisce la distanza massima tra due pareti in muratura armata. Secondo la normativa, la suddetta distanza non deve essere maggiore di 900 cm.

**Sistemi paralleli di pareti.** In questa sezione si definiscono i limiti dei sistemi di pareti di cui deve essere dotata la struttura ad ogni piano:

- **Lunghezza minima dei maschi rapportati alla lunghezza dell'edificio:** definisce il valore minimo della somma delle lunghezze dei maschi murari di cui deve essere dotato ogni singolo sistema di pareti. Secondo la normativa, la suddetta somma deve essere non inferiore al 50% della lunghezza dell'edificio nella medesima direzione;
- **Distanza massima tra sistemi di parete rispetto alla lunghezza dell'edificio:** definisce la massima distanza tra i due sistemi di parete. Secondo la normativa tale distanza deve essere contenuta nel 75% della lunghezza dell'edificio nella direzione ortogonale a quella delle pareti.

**Carico massimo su elementi non idonei alla resistenza sismica.** In questa sezione si definisce il valore massimo dei carichi verticali che possono gravare su elementi non idonei a resistere alle azioni sismiche:

- **Carico massimo:** definisce il massimo valore dei carichi verticali che possono gravare su elementi non idonei alla resistenza sismica. Secondo la normativa, il suddetto valore non deve eccedere il 25% dei carichi verticali.

#### 1.2.3.3 – Verifiche

Il comando contrassegnato dall'icona  consente di definire le opzioni di verifica e di attuare la verifica strutturale di pilastri travi, pareti, platee, solai, plinti e pali di fondazione. Alla pressione del tasto corrispondente viene visualizzato l'ambiente di definizione delle opzioni di calcolo. Dopo aver impostato i dati nel modo voluto e secondo le indicazioni che verranno spiegate in seguito, le verifiche verranno avviate cliccando sul tasto "Ok".

Alla pressione del tasto "Predefiniti" vengono impostati tutti i valori a quelli di default.

Durante le fasi di verifica vengono visualizzati gli elementi che sono processati. La colorazione dell'elemento è relativa alla riuscita (in verde) o meno (in rosso) delle verifiche. Alla fine di tutte le operazioni di verifica, nel caso fossero stati riscontrati problemi, VEM<sub>NL</sub> provvede ad elaborare un documento di riepilogo degli errori riscontrati.

#### Preferenze verifiche "Travi"

Relativamente alle travi, è possibile impostare diversi parametri distinti in base alla tipologia di materiale utilizzato. Gli elementi in acciaio, calcolati secondo la norma CNR 10011, non consentono nessun tipo di personalizzazione.

Per le **travi in c.a.** i parametri relativi alle armature longitudinali sono:

- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio;
- $\varnothing_{\max}$  : diametro commerciale massimo in mm delle barre d'acciaio;
- **Max Inter** : interasse massimo delle barre longitudinali. Utile a posizionare i ferri di parete;
- **Sagomati** : presenza dei sagomati. È possibile scegliere se ometterli o calcolarli "se necessari";
- **% Tz sag.** : aliquota di taglio rispetto all'asse z locale (per travi orizzontali) da assegnare ai sagomati;
- **Materiale** (arm. long e staffe) : tipo di materiale utilizzato per le barre d'acciaio e precedentemente definito;
- $\varnothing$  **Par** : diametro commerciale dei ferri di parete (disposti se la distanza tra le armature è superiore a 35 cm);
- $\varnothing$  **12 Int** : Presenza o meno delle barre  $\varnothing$  12 reggistaffa ai livelli di armatura intermedi. Tali livelli sono relativi alle ali delle sezioni a T, a doppia T, a croce, ad L.

I parametri utilizzati per il progetto e la verifica delle armature trasversali sono i seguenti:

- **Dist. min** : valore minimo in cm della distanza tra le staffe;
- **Dist. max** : valore massimo in cm della distanza tra le staffe;
- **Passo Iter** : valore di incremento del passo in cm di calcolo delle staffe nelle iterazioni;
- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio per le staffe.

In aggiunta ai parametri descritti, è possibile impostare anche delle opzioni specifiche per le singole verifiche. È possibile considerare i momenti di calcolo  $M_{sd12}$ , in modo da effettuare la verifica delle travi a pressoflessione retta rispetto all'asse locale 2 della sezione. L'esclusione del momento descritto porta a vantaggi computazionali nei riguardi del tempo di verifica dell'elemento. È ovvio che la verifica a pressoflessione deviata anche sulle travi è da effettuare se si reputa non trascurabile la deviazione delle trave nel piano orizzontale.

Con la stessa logica è possibile effettuare la verifica a torsione (e Taglio-Torsione se si utilizza la normativa NTC), e considerare lo sforzo normale (solo compressione) sulle travi orizzontali o inclinate fino ad un massimo di 5° rispetto all'orizzontale.

Da questo ambiente è anche possibile dare un range di valori per l'angolo  $\theta$  (inclinazione delle bielle compresse nel calcolo a taglio e torsione degli elementi). I valori limite di default sono (per come previsto dal D.M. 17/01/2018):

$$\begin{aligned} \text{ctg}(\theta)_{\min} &= 1.0; \\ \text{ctg}(\theta)_{\max} &= 2.5; \end{aligned}$$

Per le verifiche agli stati limite d'esercizio (pannello "SLE"), è possibile scegliere le verifiche da effettuare (Tensioni d'esercizio, Deformabilità, Fessurazione) in funzione del tipo di combinazione (rara, frequente, quasi permanente). La verifica risulta attivata se compare il segno di spunta a fianco alla verifica.

- **Coefficiente moltiplicativo  $f_{ck}$**  : coefficiente relativo al valore della tensione di confronto del calcestruzzo in condizioni di esercizio in funzione della  $f_{ck}$  del calcestruzzo. Il valore di default "0.6" indica che si vuole sottoporre il calcestruzzo a lavorare in esercizio per la combinazione indicata ad uno stato tensionale pari al 60% del valore di  $f_{ck}$ ;
- **Coefficiente moltiplicativo  $f_{yk}$**  : coefficiente relativo al valore della tensione di confronto del calcestruzzo in condizioni di esercizio in funzione della  $f_{yk}$  del calcestruzzo. Il valore di default "0.8" indica che si vuole sottoporre il calcestruzzo a lavorare in esercizio per la combinazione indicata ad uno stato tensionale pari al 80% del valore di  $f_{yk}$ ;
- **Freccia max** : valore limite del rapporto freccia-luce in relazione alla verifica a deformabilità in relazione alle varie combinazioni;
- **Aampiezza massima della fessura** : valore limite dell'apertura della fessura negli elementi in c.a. misurata in mm.

Per default sono attivate le verifiche a tensioni d'esercizio, deformabilità e fessurazione solo per la combinazione rara. Si rimanda alla normativa per approfondire nei dettagli i casi di obbligatorietà delle singole verifiche.

Anche per le **travi in acciaio** è possibile considerare la sollecitazione di torsione nel calcolo della tensione ideale.

Per le **travi in legno** i dati relativi alle verifiche delle sezioni in legno, sono già contenute nella caratteristiche del materiale. In questa fase è possibile introdurre, per la verifica a deformabilità, il rapporto tra il valore limite dello spostamento e la luce dell'elemento, identificato come "**Freccia max**". È da notare come in questo caso la scelta avviene sulla combinazione da considerare, in quanto viene effettuata una sola verifica di esercizio.

**N.B.:** quando compare il pulsante è possibile calcolare i valori forniti dalla normativa .

### Preferenze verifiche "Pilastri"

Per i **pilastri in c.a.** i parametri relativi alle armature longitudinali sono:

- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio;
- $\varnothing_{\max}$  : diametro commerciale massimo in mm delle barre d'acciaio;
- **Max Inter** : distanza massima di interasse in cm tra le barre longitudinali;
- **Materiale** (arm. long e staffe) : tipo di materiale utilizzato per le barre d'acciaio.

I parametri utilizzati per il progetto e la verifica delle armature trasversali sono i seguenti:

- **Dist. min** : valore minimo in cm della distanza tra le staffe;
- **Dist. max** : valore massimo in cm della distanza tra le staffe;
- **Passo Iter** : valore di incremento del passo in cm di calcolo delle staffe nelle iterazioni;
- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio per le staffe.

In aggiunta ai parametri descritti, è possibile impostare anche delle opzioni specifiche per le singole verifiche. Per gli stati limite ultimi (pannello "SLU") è possibile estendere la verifica a tutti e cinque i punti di discretizzazione del pilastro selezionando l'opzione "Tutte" e considerare o meno la torsione a cui il pilastro è soggetto.

Da questo ambiente è anche possibile dare un range di valori per l'angolo  $\theta$  (inclinazione delle bielle compresse nel calcolo a taglio e torsione degli elementi). I valori limite di default sono (per come previsto dalle NTC 2008 e 2018):

$$\begin{aligned} \text{ctg}(\theta)_{\min} &= 1.0 \\ \text{ctg}(\theta)_{\max} &= 2.5 \end{aligned}$$

L'estensione a tutte le sezioni porta un aggravio computazionale in termini di tempo, considerando che generalmente le sezioni più sollecitate dal sisma sono in testa e al piede. Comunque, nel caso in cui si abbiano eventuali carichi trasversali presenti sui pilastri, è consigliabile effettuare le verifiche in tutti i punti intermedi dell'elemento.

Per le verifiche agli stati limite d'esercizio (pannello "SLE"), è possibile scegliere quale combinazione utilizzare per effettuare la verifica alle tensioni d'esercizio. La verifica risulta attivata se compare il segno di spunta a fianco alla verifica.

- **Coefficiente moltiplicativo fck** : coefficiente relativo al valore della tensione di confronto del calcestruzzo in condizioni di esercizio in funzione della  $f_{ck}$  del calcestruzzo. Il valore di default "0.6" indica che si vuole sottoporre il calcestruzzo a lavorare in esercizio per la combinazione indicata ad uno stato tensionale pari al 60% del valore di  $f_{ck}$ ;
- **Coefficiente moltiplicativo fyk** : coefficiente relativo al valore della tensione di confronto del calcestruzzo in condizioni di esercizio in funzione della  $f_{yk}$  del calcestruzzo. Il valore di default "0.8" indica che si vuole sottoporre il calcestruzzo a lavorare in esercizio per la combinazione indicata ad uno stato tensionale pari al 80% del valore di  $f_{yk}$ ;

Per default è attivata solo la verifica a tensioni d'esercizio solo per la combinazione rara. Si rimanda alla normativa per approfondire nei dettagli i casi di obbligatorietà delle singole verifiche.

**N.B.:** se l'armatura dei pilastri è stata inserita manualmente, il programma non provvede a progettare le armature dei pilastri stessi, ma si limita alla semplice verifica.

**N.B.:** quando compare il pulsante  è possibile calcolare i valori limiti forniti dalla normativa.

### Preferenze verifiche "Pareti"

In VEM<sub>NL</sub> è possibile inserire pareti in c.a., muratura ordinaria e muratura armata. Descriviamo per ogni tipologia di pareti i dati di input da inserire.

Per le **pareti in cemento armato**

- **Esegui verifica a taglio:** se attivo esegue anche la verifica a taglio sulle pareti in c.a.;

Per le **pareti in muratura ordinaria** (alcuni dei seguenti dati sono attivi a seconda della normativa utilizzata)

- **Carico vento:** valore del carico da vento da considerare su metro quadro di superficie;
- **Carichi verticali:** se attivo esegue la verifica a carichi verticali;
- **Eccentricità:** se attivo esegue la verifica delle eccentricità dei carichi sulle pareti;
- **Presso flessione nel piano:** se attivo esegue la verifica a presso flessione nel piano. Se si effettua l'analisi statica non lineare (pushover), questa verifica tiene conto soltanto dei carichi verticali e dell'azione orizzontale dovuta al vento (non si tiene conto dell'azione sismica);
- **Presso flessione fuori piano:** se attivo esegue la verifica a presso flessione fuori piano. Per tener conto dell'ammorsamento efficace delle pareti ortogonali occorre che il rapporto L/h (Larghezza/Altezza) della parete sia maggiore del numero indicato nella casella di testo.
- **Taglio:** se attivo esegue la verifica a taglio. Se si effettua l'analisi statica non lineare (pushover), questa verifica tiene conto soltanto dei carichi verticali e dell'azione orizzontale dovuta al vento (non si tiene conto dell'azione sismica);

#### Per le pareti in muratura armata

- **Applica gerarchia delle resistenze:** Se attivo progetta gli elementi tenendo conto della gerarchia di resistenza tra momento flettente e taglio;

#### Preferenze verifiche “Architravi”

Per gli **Architravi** i parametri relativi alle armature longitudinali sono:

- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio;
- $\varnothing_{\max}$  : diametro commerciale massimo in mm delle barre d'acciaio;
- **Materiale** : Materiale da assegnare alle barre utilizzate

mentre i parametri relativi alle armature longitudinali sono:

- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio;
- $\varnothing_{\max}$  : diametro commerciale massimo in mm delle barre d'acciaio;
- **Materiale** : Materiale da assegnare alle barre utilizzate

#### Preferenze verifiche “Platee”

Per le **platee in c.a.** sia di fondazione che per le piastre di elevazione i parametri relativi alle armature longitudinali sono:

- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio;
- $\varnothing_{\max}$  : diametro commerciale massimo in mm delle barre d'acciaio;
- **Min Int** : interasse minimo in cm tra le barre orizzontali;
- **Max Int** : interasse massimo in cm tra le barre orizzontali;
- **Materiale** (arm. long e staffe) : tipo di materiale utilizzato per le barre d'acciaio;

I parametri utilizzati per il progetto e la verifica delle armature trasversali sono i seguenti:

- **Passo Iter** : valore di incremento del passo in cm di calcolo delle staffe nelle iterazioni;
- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio per le staffe.
- **Materiale** (arm. long e staffe) : tipo di materiale utilizzato per le barre d'acciaio.

In aggiunta ai parametri descritti, è possibile impostare anche delle opzioni specifiche per le verifiche agli stati limite d'esercizio (pannello “SLE”). In particolare, è possibile scegliere le verifiche da effettuare (Tensioni d'esercizio, Deformabilità, Fessurazione) in funzione del tipo di combinazione (rara, frequente, quasi permanente). La verifica risulta attivata se compare il segno di spunta a fianco alla verifica.

Per default sono attivate le verifiche a tensioni d'esercizio e fessurazione solo per la combinazione rara. Si rimanda alla normativa per approfondire nei dettagli i casi di obbligatorietà delle singole verifiche.

La pagina "varie" contiene il controllo sulla possibilità di effettuare o meno la verifica della "capacità portante della sezione" secondo l'appendice 2 al punto 8 dell'EC2.

**N.B.:** quando compare il pulsante  è possibile calcolare i valori forniti dalla normativa .

### Preferenze verifiche "Solai a trave continua"

Relativamente ai **solaio in latero-cemento** presenti nella struttura, i parametri relativi alle armature longitudinali sono:

- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio;
- $\varnothing_{\max}$  : diametro commerciale massimo in mm delle barre d'acciaio;

Tali solai sono armati utilizzando ferri diritti e sagomati in modo da assorbire, insieme alle fasce piene e semipiene (automaticamente calcolati), il taglio di calcolo.

In aggiunta ai diametri è possibile definire altri tipi di opzioni utili alle singole verifiche. Dal pannello "SLU" è possibile impostare:

- **Momento di guardia** in campata: relativamente al denominatore  $\delta$  del momento in campata;

$$M = \frac{ql^2}{\delta}$$

- Possibilità di scelta di operare il **controllo geometrico** dell'altezza minima del solaio (1/25 della luce);
- **Tipo di vincolo** agli estremi dei travetti considerati;
- **Tipo di armature** da utilizzare come configurazione per i travetti del solaio.

Per le verifiche agli stati limite d'esercizio (pannello "SLE"), è possibile scegliere le verifiche da effettuare (Tensioni d'esercizio, Fessurazione) in funzione del tipo di combinazione (rara, frequente, quasi permanente). La verifica risulta attivata se compare il segno di spunta a fianco alla verifica.

I parametri da introdurre sono:

- **Coefficiente moltiplicativo fck** : coefficiente relativo al valore della tensione di confronto del calcestruzzo in condizioni di esercizio in funzione della  $f_{ck}$  del calcestruzzo. Il valore di default "0.6" indica che si vuole sottoporre il calcestruzzo a lavorare in esercizio per la combinazione indicata ad uno stato tensionale pari al 60% del valore di  $f_{ck}$ ;
- **Coefficiente moltiplicativo fyk** : coefficiente relativo al valore della tensione di confronto del calcestruzzo in condizioni di esercizio in funzione della  $f_{yk}$  del calcestruzzo. Il valore di default "0.8" indica che si vuole sottoporre il calcestruzzo a lavorare in esercizio per la combinazione indicata ad uno stato tensionale pari al 80% del valore di  $f_{yk}$ ;
- **Freccia max** : valore limite del rapporto freccia-luce in relazione alla verifica a deformabilità in relazione alle varie combinazioni;
- **Aampiezza massima della fessura** : valore limite dell'apertura della fessura negli elementi in c.a. misurata in mm.

L'opzione "**Genera solai a trave continua**" permette di calcolare i solai introdotti nell'input di VEM<sub>NL</sub> secondo lo schema di trave a più appoggi. Questa opzione è subordinata alla presenza del modulo di StruSec n.° 12 "Solai a trave continua".

**N.B.:** quando compare il pulsante  è possibile calcolare i valori forniti dalla normativa .

### Preferenze verifiche “Plinti”

All'interno di VEM<sub>NL</sub> è possibile effettuare il calcolo, considerando anche l'interazione con il terreno, dei plinti e dei pali di fondazione. La verifica è subordinata alla presenza del modulo n.<sup>o</sup> 6 "Plinti di fondazione" e per i pali del modulo n.<sup>o</sup> 16 di StruSec "Pali di fondazione".

I parametri utilizzati per il progetto e la verifica delle armature del plinto sono i seguenti:

- $\varnothing_{\min}$  : diametro commerciale minimo in mm delle barre d'acciaio;
- $\varnothing_{\max}$  : diametro commerciale massimo in mm delle barre d'acciaio;
- **Dist. max barre** : distanza massima tra le barre d'armatura [cm];

I parametri utilizzati per il progetto e la verifica delle armature cerchiante sono i seguenti:

- $\varnothing$  : diametro commerciale in mm delle barre d'acciaio;
- **Dist max staffe** : distanza massima in cm tra le barre d'armatura;

È possibile, nel caso in cui fossero presenti pali di fondazione, impostare il tipo di armatura supplementare. La scelta è nei riguardi di:

- **Rete elettrosaldata**;
- **Non di calcolo**.

Nel primo caso è possibile impostare:

- Dimensione della **maglia minima** in cm;
- Dimensione della **maglia massima** in cm;
- **Diametro minimo** dell'armatura in mm;
- **Percentuale armatura** a flessione relativa all'area di acciaio posto dal calcolo.

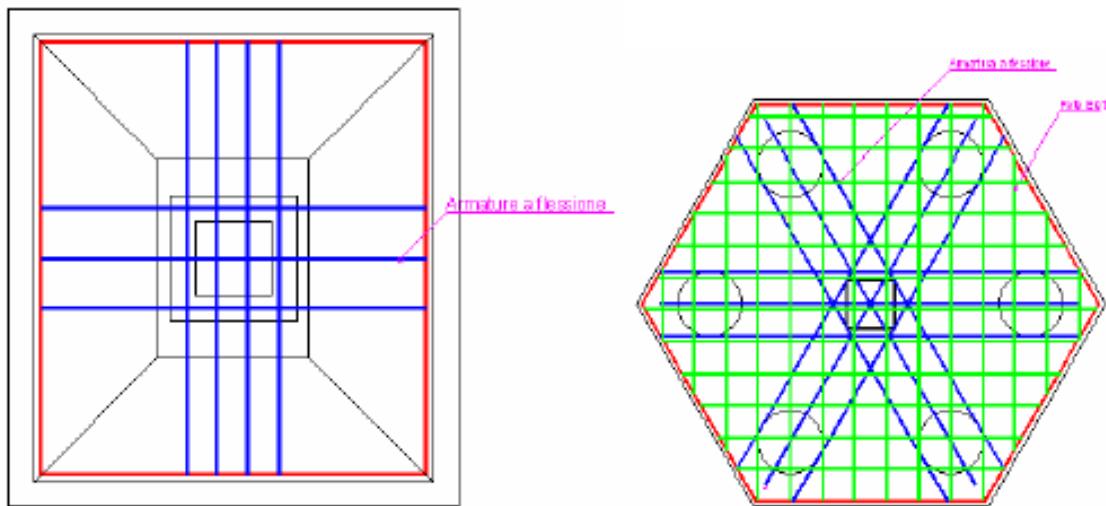
Nel caso "Non di calcolo" vengono introdotte delle barre di collegamento (di area pari alla frazione percentuale rispetto all'armatura a flessione) tra i pali del plinto. Nei plinti su 1 o 2 pali non viene inserita alcuna armatura supplementare, nei plinti con un numero di pali pari a 5, 5+1 centrale, 6, 6+1 centrale in ogni caso viene introdotta solo la rete elettrosaldata. L'armatura non di calcolo non viene inserita nei plinti diretti. In quest'ultimi è possibile introdurre la rete elettrosaldata contrassegnando l'apposito campo con il check e introducendo i valori voluti.

Il dimensionamento della rete elettrosaldata o delle armature fuori calcolo viene effettuato utilizzando esclusivamente quest'ultimo valore in funzione delle armature richieste dal calcolo.

In particolare il programma provvede ad utilizzare le scelte tecnologiche più adeguate in funzione della tipologia dei plinti utilizzati.

È possibile inoltre inserire in testa al plinto il bicchiere relativo all'introduzione di strutture prefabbricate. Per il bicchiere è possibile impostare:

- $\varnothing_{\min}$ : diametro commerciale in mm minimo da utilizzare;
- $\varnothing_{\max}$  **orizzontale**: diametro massimo delle barre orizzontali;
- $\varnothing_{\max}$  **verticale**: diametro massimo delle barre orizzontali;
- **Dist. max orizz.**: distanza massima orizzontale tra le barre;
- **Dist. max vert.**: distanza massima verticale tra le barre.



Relativamente al pannello "Armature Pali" i parametri personalizzabili, ai fini della progettazione dei pali, sono i seguenti:

- **$\varnothing_{\min}$  armatura:** diametro commerciale in mm minimo da utilizzare per le barre longitudinali;
- **$\varnothing_{\max}$  armatura:** diametro commerciale in mm massimo da utilizzare per le barre longitudinali;
- **$\varnothing$  armatura:** diametro dell'armatura cerchiante;
- **Passo minimo** della spira cerchiante;
- **Passo massimo** della spira cerchiante;

In aggiunta ai parametri descritti è possibile personalizzare ulteriori impostazioni nei riguardi delle varie verifiche. Per le verifiche agli stati limite ultimi (pannello "SLU") è possibile scegliere la tipologia indicata la tecnica di realizzazione dei pali di fondazione. La scelta ricade su:

- **Trivellato;**
- **Infisso.**

Inoltre è possibile scegliere la teoria per il calcolo del Carico limite Verticale del palo di fondazione. Le possibili teorie sono:

- **Bowles;**
- **Kerisel-Caquot;**
- **Terzaghi;**
- **Lancellotta.**
- **Prove in sito (Qc)**

Il coefficiente **eta** indica l'efficienza della palificata e rappresenta la percentuale di carico limite verticale del singolo palo da considerare rispetto a quella calcolata per tenere in conto l'interferenza dovuta alla realizzazione di una palificata e non di un singolo palo.

Il termine **q**, misurato in  $\text{Kg/cm}^2$ , indica il valore del sovraccarico permanente, avente effetto stabilizzante, se presente in superficie.

Inoltre è possibile stabilire il coefficiente minimo nella verifica di capacità portante. L'ultima opzione riguarda l'opzione di computare le forze cinematiche come descritto nel punto 3.3.2.b dell'allegato "Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni" dall'OPCM 3274.

Per le verifiche agli stati limite d'esercizio (pannello "SLE") è possibile scegliere le verifiche da effettuare (Tensioni d'esercizio, Fessurazione) in funzione del tipo di combinazione (rara, frequente, quasi permanente). La verifica risulta attivata se compare il segno di spunta a fianco alla verifica. I parametri da introdurre sono:

- **Coefficiente moltiplicativo  $f_{ck}$**  : coefficiente relativo al valore della tensione di confronto del calcestruzzo in condizioni di esercizio in funzione della  $f_{ck}$  del calcestruzzo. Il valore di default “0.6” indica che si vuole sottoporre il calcestruzzo a lavorare in esercizio per la combinazione indicata ad uno stato tensionale pari al 60% del valore di  $f_{ck}$ ;
- **Coefficiente moltiplicativo  $f_{yk}$**  : coefficiente relativo al valore della tensione di confronto del calcestruzzo in condizioni di esercizio in funzione della  $f_{yk}$  del calcestruzzo. Il valore di default “0.8” indica che si vuole sottoporre il calcestruzzo a lavorare in esercizio per la combinazione indicata ad uno stato tensionale pari al 80% del valore di  $f_{yk}$ ;
- **Aampiezza massima della fessura** : valore limite dell'apertura della fessura negli elementi in c.a. misurata in mm.

Per default sono attivate le verifiche a tensioni d'esercizio e fessurazione solo per la combinazione rara. Si rimanda alla normativa per approfondire nei dettagli i casi di obbligatorietà delle singole verifiche.

Nel pannello ‘Strati’ è possibile scegliere una colonna stratigrafica precedentemente creata. Il campo viene considerato solo per gli elementi di fondazione in cui non è stata precedentemente assegnata una stratigrafia al filo fisso corrispondente. Inoltre è da definire il **Modulo di reazione (Winkler) orizzontale** al fine di modellare il comportamento orizzontale del palo.

**N.B.:** quando compare il pulsante  è possibile calcolare i valori forniti dalla normativa .

Per completezza, vengono riportati dei valori tabellati tratti da alcuni testi di geotecnica.

Valori indicativi del peso specifico ( $\gamma$ )	
TERRENO	$\gamma$ [t/m <sup>3</sup> ]
Ghiaia asciutta	1.8 ÷ 2.0
Ghiaia umida	1.9 ÷ 2.1
Sabbia asciutta compatta	1.7 ÷ 2.0
Sabbia umida compatta	1.9 ÷ 2.1
Sabbia bagnata compatta	2.0 ÷ 2.2
Sabbia asciutta sciolta	1.5 ÷ 1.8
Sabbia umida sciolta	1.6 ÷ 1.9
Sabbia bagnata sciolta	1.9 ÷ 2.1
Argilla Sabbiosa	1.8 ÷ 2.2
Argilla Dura	2.1
Argilla Semisolida	1.9
Argilla molle	1.8
Torba	1.0 ÷ 1.5

Valori indicativi del modulo di Winkler (K)	
TIPI DI TERRENO	K [kg/cm <sup>2</sup> ]
Torba leggera	0.6 ÷ 1.2
Torba pesante	1.2 ÷ 1.8
Terra vegetale	1.0 ÷ 1.5
Sabbia fine	1.0 ÷ 2.0
Sabbia poco coerente	2.0 ÷ 4.0
Miscugli eterogenei di sabbie, fasi limose e, argille	
- Terra molto umida	2.0 ÷ 3.5
- Terra poco umida	3.0 ÷ 6.0
- Terra secca	5.0 ÷ 10.0
Argilla con sabbia	8.0 ÷ 10.0
Argilla plastica	10.0 ÷ 12.0
Sabbia compatta	8.0 ÷ 15.0
Ghiaia con sabbia (incoerente)	10.0 ÷ 15.0
Ghiaia con sabbia (coerente)	15.0 ÷ 25.0
Ghiaia compatta (elementi sottili)	15.0 ÷ 20.0
Ghiaia compatta	
- per fondazioni poco ampie	20.0 ÷ 25.0
- per fondazioni ampie	25.0 ÷ 30.0
Roccia	>= 30
Roccia fratturata	15.0 ÷ 25.0

Valori indicativi dell'angolo di attrito interno ( $\phi$ )	
TERRENO	$\phi$
GHIAIA:	
- media	40 ÷ 55°
- sabbiosa	35 ÷ 50°
SABBIA:	
- sciolta asciutta	28 ÷ 34°
- sciolta satura	28 ÷ 34°
- compatta asciutta	35 ÷ 46°
- compatta satura	35 ÷ 46°
LIMO e SABBIA:	
- sciolto	20 ÷ 22°
- compatto	25 ÷ 30°
ARGILLA:	
- asciutta	40 ÷ 45°
- bagnata	2 ÷ 25

Valori indicativi della coesione (c)	
TERRENO	c [Kg/cm <sup>2</sup> ]
Sabbia umida e compatta	0.001
Argille sabbiose	0.02
Argille magre	0.1
Argille grasse	0.5
Argille molto grasse	1.0 ÷ 10

Valori indicativi del modulo di elasticità (Et)	
TERRENO	Et [Kg/cm <sup>2</sup> ]
ARGILLA:	
- molto molle	20 ÷ 150
- molle	50 ÷ 250
- media	150 ÷ 300
- dura	500 ÷ 1000
- sabbiosa	250 ÷ 2500
SABBIA:	
- limosa	50 ÷ 200
- sciolta	100 ÷ 250
- compatta	500 ÷ 800
SABBIA E GHIAIA IN MISCUGLIO:	
- sciolta	500 ÷ 1500
- compatta	1000 ÷ 2000
LIMO	20 ÷ 200

Valori indicativi del coefficiente di Poisson (v)	
TERRENO	COEFFICIENTE DI POISSON
Argille sature	0.4 ÷ 0.5
Argille magre	0.1 ÷ 0.3
Argille grasse	0.2 ÷ 0.3
Limo	0.3 ÷ 0.35
Sabbia	0.3 ÷ 0.4
Roccia	0.1 ÷ 0.4
Ghiaccio	0.36
Calcestruzzo	0.12 ÷ 0.15

#### Preferenze verifiche “Geotecnica ed Equ. Glob.”

Se presente il modulo di StruSec **“Portanza terreno di fondazione”** vengono visualizzati i dati per la verifica di portanza delle fondazioni superficiali. Nel caso si scelga di effettuare la verifica vanno specificati:

- Il metodo di calcolo della portanza delle fondazioni superficiali;
- Carico limite a breve e lungo termine (se già fornito nella relazione geologico-tecnica).

Inoltre è possibile considerare:

- Effetto inerziale secondo le indicazioni di Paolucci - Pecker
- Effetto cinematico secondo Maugeri – Cascone

Nelle verifiche a rottura generale del terreno di fondazioni superficiali verrà applicato il metodo pseudostatico, secondo una delle teorie della letteratura tecnica consolidata (Terzaghi, Brich Hansen etc.)

L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico  $K_{hk}$ ) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella struttura in elevazione (effetto inerziale  $K_{hi}$ ). Nell'analisi pseudo-statica per determinare il carico limite di progetto del terreno di fondazione, modellando l'azione sismica attraverso la sola componente orizzontale, gli effetti possono essere portati in conto mediante l'introduzione di coefficienti sismici rispettivamente denominati  $K_{hi}$  e  $K_{hk}$ . Il coefficiente  $K_{hi}$  risulta funzione dell'accelerazione massima attesa al sito secondo la relazione :

$$K_{hi} = \beta_s \times a_{max} / g = \beta_s \times S \times a_g = \beta_s \times S_s \times S_t \times a_g$$

I valori  $K_{hi}$  possono essere valutati facendo riferimento ai valori di normativa specificati per i pendii (§ 7.11.3.5.2).

Tabella 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
0,2 < $a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
0,1 < $a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Per considerare gli effetti inerziali basta attivare la seguente opzione:

Considera effetto inerziale nella fondazione (Paolucci-Pecker)

L'effetto inerziale genera delle variazioni di tutti i coefficienti di carico limite  $N_c$ ,  $N_q$  ed  $N_y$  in funzione del coefficiente sismico orizzontale. Operando direttamente sui coefficienti correttivi nella formula trinomia del carico limite secondo le relazioni di Paolucci & Pecker (1997) si utilizzano le seguenti espressioni:

$$z_\gamma = z_q = (1 - K_{hi} / \tan(\phi))^{0.35} \quad e \quad z_c = 1 - 0.32 K_{hi}.$$

Il coefficiente  $K_{hk}$  definito dal rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei carichi trasmessi in fondazione viene individuato determinando il valore dell'ordinata di  $S_d(T)$  spettro di progetto. L'effetto cinematico modifica solo il coefficiente  $N_y$  in funzione del coefficiente sismico orizzontale.

Per considerare gli effetti cinematici basta attivare la seguente opzione:

Considera effetto cinematico nel sottosuolo (Maugeri-Cascone)

L'effetto cinematico secondo le relazioni di Maugeri-Cascone consente di introdurre due coefficienti correttivi che operano sul solo  $N_y$  secondo le relazioni:

$$e_{yk} = (1 - K_{hk} / \tan(\phi))^{0.45}$$

$$e_{yi} = (1 - 0.7 \times K_{hi})^5$$

Per quanto riguarda la verifica dei cedimenti di fondazione, il software provvede al calcolo dello spostamento relativo massimo all'interno dell'elemento strutturale secondo due contributi:

1. Cedimento istantaneo (stimato mediante l'utilizzo della costante di Winkler);
2. Cedimento di consolidamento (stimato relativamente ai terreni a matrice argillosa)

La verifica viene effettuata nelle condizioni di esercizio, scelte dall'utente tra le combinazioni rare (caratteristiche), frequenti, quasi permanenti. Il calcolo del cedimento è relativo al tempo, espresso in anni, dato da input dall'utente.

La verifica a scorrimento viene effettuata in condizioni sismiche secondo le seguenti formule:

$$\frac{N \cdot \tan(\delta) + a \cdot A_{IMP} + S_p}{H_d} \geq 1.1$$

dove

$$N = \gamma_{G1} \times \text{Peso G1} + \gamma_{G2} \times \text{Peso G2} + \gamma_Q \times \text{Peso Q}$$

$\delta$  è l'angolo di attrito della superficie di contatto in °

$A$  è l'aderenza della superficie di contatto in  $\text{daN}/\text{cm}^2$

$A_{IMP}$  è l'area di impronta in  $\text{cm}^2$

$S_p$  è l'aliquota della spinta passiva in KN

$H_d$  è la forza sismica di scorrimento pari a  $(\text{Peso G1} + \text{Peso G2} + \psi_2 \cdot \text{Peso Q}) \cdot S_d(T_1)$

Gli angoli di attrito  $\delta$  tra diversi materiali da costruzione e terreno o roccia, funzione della pressione agente ed assume generalmente un valore pari ad un'aliquota dell'angolo di attrito. Si riportano dei dati indicativi estratti da "11.9.3 - Fondazioni- Progetto e analisi- Joseph E . Bowles":

Materiali costituenti l'interfaccia	Angolo di attrito $\delta$
Calcestruzzo grezzo o muratura a contatto con:	
- Roccia profonda, pulita	35°
- Ghiaia Pulita, miscele di sabbia e ghiaia, sabbia grossa	29°÷31°
- Sabbia pulita con granulometria a fine e media, sabbia limosa da media a grossa, ghiaia limosa o argillosa	24°÷29°
- Sabbia pulita fine , sabbia limosa o argillosa con granulometria da fine a media	19°÷24°
- Limo pulito fine, limo non plastico	17°÷19°
- Residui duri e molto duri di argilla preconsolidata	22°÷26°
- Argilla mediamente dura e argilla limosa	17°÷19°
Muratura contro muratura, rocce ignee e metamorfiche:	
- Roccia soffice dilavata contro roccia soffice dilavata	35°
- Roccia dura dilavata contro roccia soffice dilavata	33°
- Roccia dura dilavata contro roccia dura dilavata	29°

Il valore dell'aderenza è da assumere come una frazione della coesione del terreno di contatto.



Nel caso ci sia un consistente magrone di sottofondo, è possibile ipotizzare che lo scorrimento avvenga nella superficie di contatto tra trave fondazione e magrone. In tal caso si potrà utilizzare il coefficiente di attrito calcestruzzo-calcestruzzo.

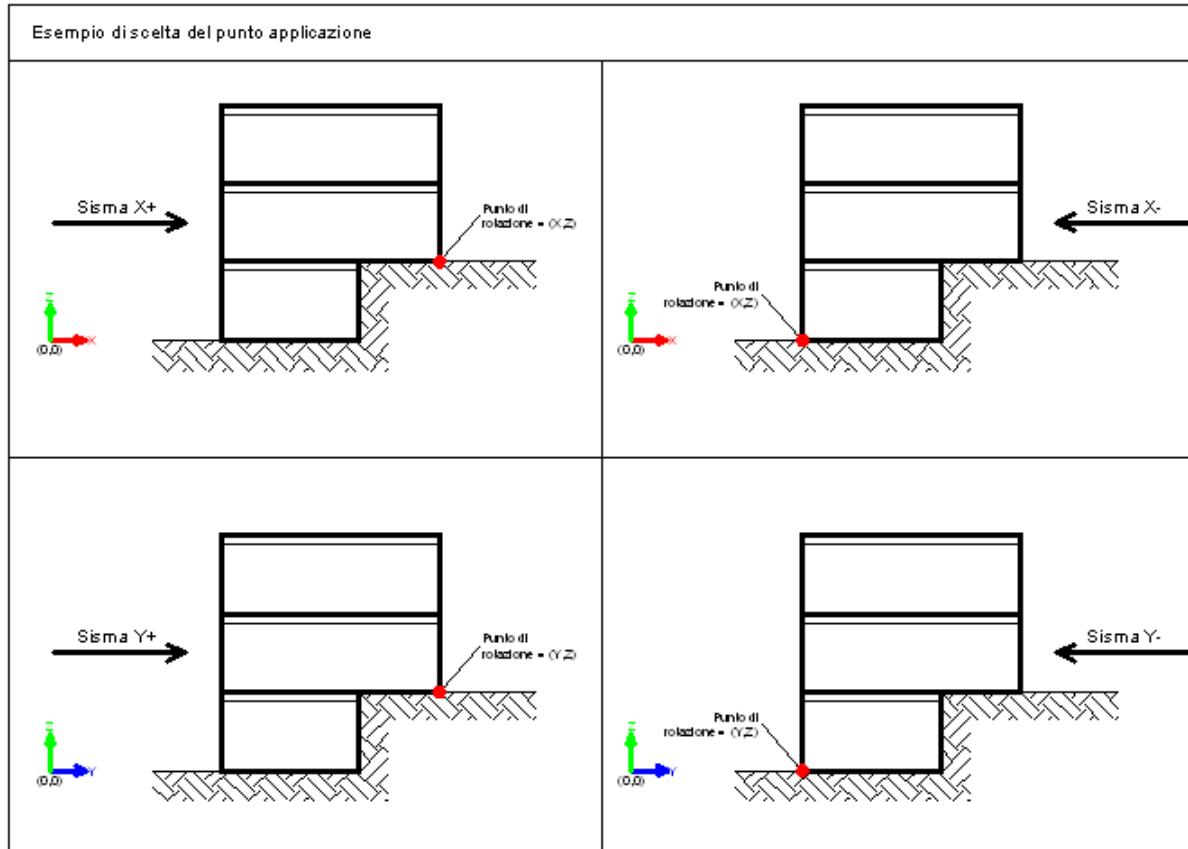
La verifica potrà essere effettuata anche a breve termine. In questo caso verrà considerato solo il contributo dovuto all'aderenza non drenata.

### Verifica di equilibrio a ribaltamento

La verifica a ribaltamento avviene considerando l'equilibrio a rotazione rispetto ad un punto delle seguenti forze:

- Carichi verticali  $N = \gamma_{G1} \cdot \text{Peso G1} + \gamma_{G2} \cdot \text{Peso G2} + \gamma_Q \cdot \text{Peso Q}$
- $S_p$ : aliquota della spinta passiva in KN
- $S_a$ : spinta attiva in KN
- $H_d$ : Forza sismica di scorrimento pari a  $(\text{Peso G1} + \text{Peso G2} + \psi_2 \cdot \text{Peso Q}) \cdot S_d(T_1)$

Il punto di rotazione deve essere scelto nel piano verticale della direzione di verifica:



L'esito della verifica è condizionato dal punto di rotazione scelto. Il default di VEM<sub>NL</sub> è impostato con valori nulli, appositamente per richiamare l'utente all'inserimento dei dati.

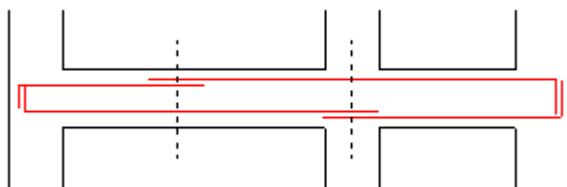
I contributi della forza sismica e della spinta attiva vengono considerati ai fini del calcolo del momento ribaltante, i carichi verticali e la spinta passiva contribuiscono all'equilibrio come momento stabilizzante.

#### Preferenze verifiche “Armature”

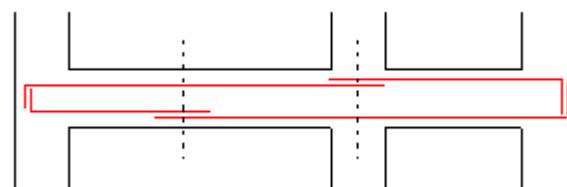
Dalla versione 13.0.0 è possibile scegliere tra varie opzioni per la realizzazione degli ancoraggi e delle armature. Le opzioni presenti sono:

- **Lunghezza commerciale barre:** valore massimo in cm della lunghezza commerciale delle barre utilizzate;
- **Ignora diametro massimo se non sufficiente:** checkando questa opzione è possibile estendere il progetto delle armatura utilizzando barre aventi come diametro massimo il Ø 32. In questo caso il diametro massimo delle barre introdotto in travi e pilastri non sarà più corrispondente a quello impostato nelle sezioni “Travi in C.A.” e “Pilastri in C.A.”.
- **Lunghezza d'ancoraggio in funzione della resistenza dei materiali:** Consente di calcolare la lunghezza di ancoraggio secondo le indicazioni del punto 7.4.6.2.1 del DM 17/01/2018;

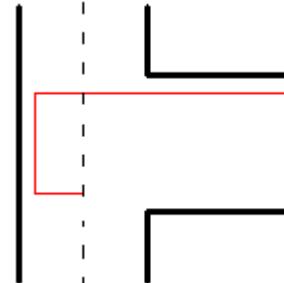
- **Lunghezza d'ancoraggio in funzione del diametro:** Consente di calcolare la lunghezza di ancoraggio per tutti gli elementi proporzionalmente al diametro utilizzato, secondo il valore definito dall'utente;
- **Armature superiori ancorate in mezzeria**



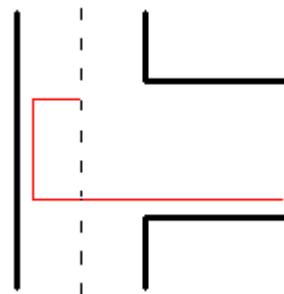
- **Armature inferiori ancorate in mezzeria**



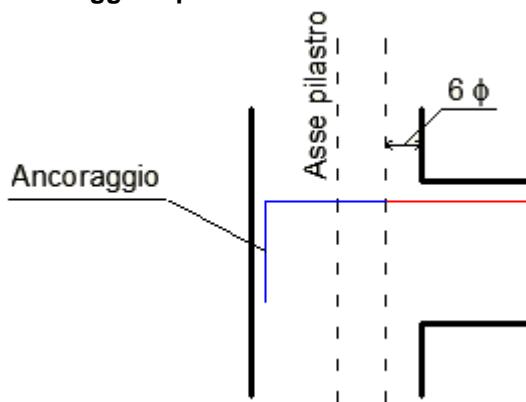
- **Doppia piegatura armature superiori**



- **Doppia piegatura armature inferiori**



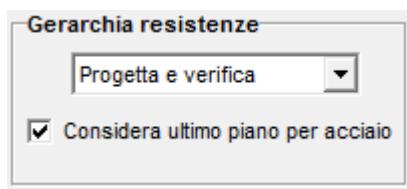
- **Ancoraggio a partire da  $6\varnothing$  dalla faccia del pilastro ()**



## Dati generali

### Gerarchia resistenze

Le opzioni di gestione della gerarchia sono presenti nell'ambiente “Preferenze verifiche” contenuto nel menu “Elaborazione”.



Il problema della gerarchia, per le strutture in c.a., può essere affrontato preferibilmente ridimensionando gli elementi strutturali, ma anche agendo sull'armatura presente in travi e pilastri, verificando sempre il rispetto delle prescrizioni sulla quantità di armatura.

In VEM<sub>NL</sub> è possibile ignorare o effettuare solo la verifica.

### Verifica a martellamento

Per la **verifica a martellamento** è possibile scegliere la dimensione del giunto tecnico tra gli edifici. La verifica consiste nel controllare che la somma degli spostamenti massimi orizzontali allo SLV della struttura e lo spostamento massimo stimato per l'edificio adiacente (ipotizzato della stessa altezza della struttura analizzata) in base alle indicazioni del punto 7.2.2 delle NTC.

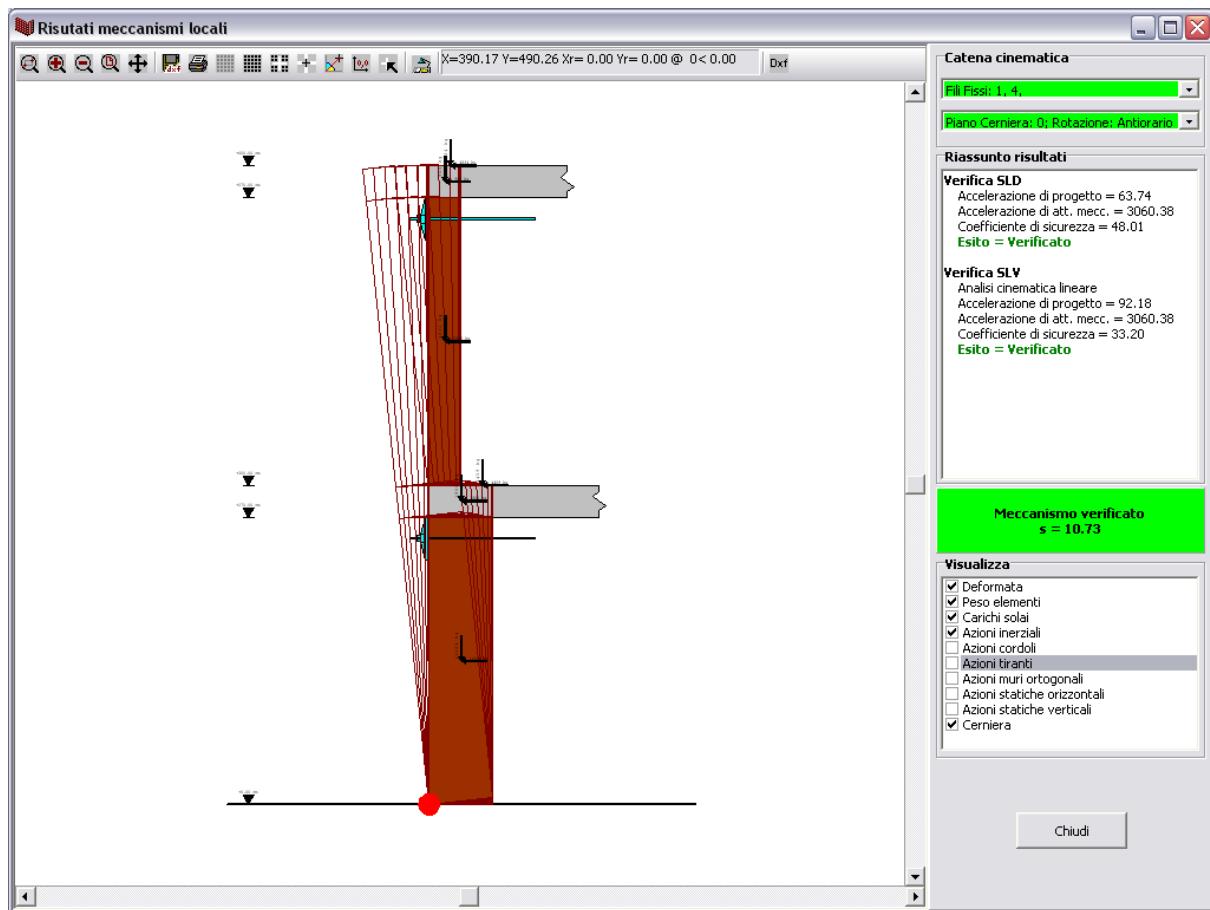
### 1.2.4 – Menu Output

È il menu di gestione di tutte le forme di output presenti in VEM<sub>NL</sub>. Il programma provvede alla generazione della relazione di calcolo in formato .rtf, degli esecutivi di cantiere in formato .dxf, dei computi metrici dei materiali utilizzati e tutto ciò che verrà descritto in seguito nei dettagli. Inoltre tutti i dati possono essere controllati a video direttamente cliccando sul modello tridimensionale della struttura in un apposito ambiente di visualizzazione.

Il menu Output è composto dai seguenti comandi:

#### 1.2.4.1 – Risultati di calcolo dei Meccanismi Locali

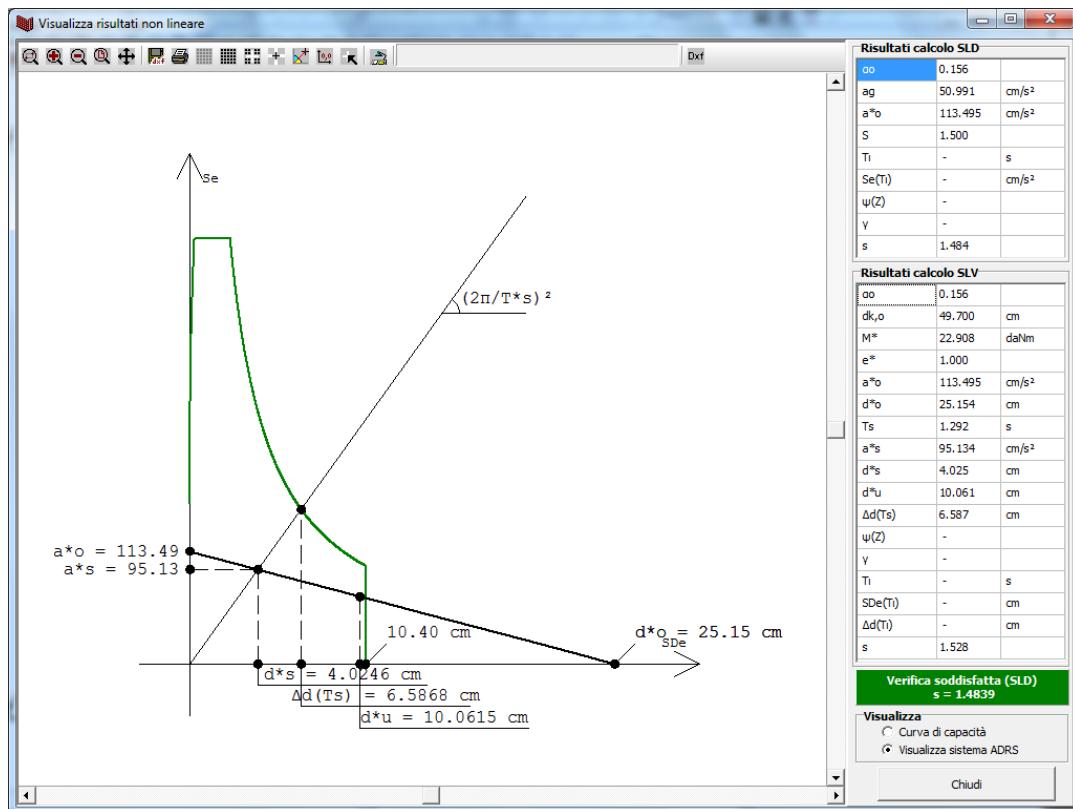
Il comando contrassegnato dall'icona  consente di visualizzare i risultati di calcolo dei meccanismi locali. È possibile visualizzare sinteticamente i dati relativi a tutti i meccanismi calcolati, visualizzare le deformate e tutte le forze che entrano in gioco.



Nei casi in cui si effettua l'analisi non lineare dei meccanismi locali, cliccando sul comando contrassegnato dalla seguente icona

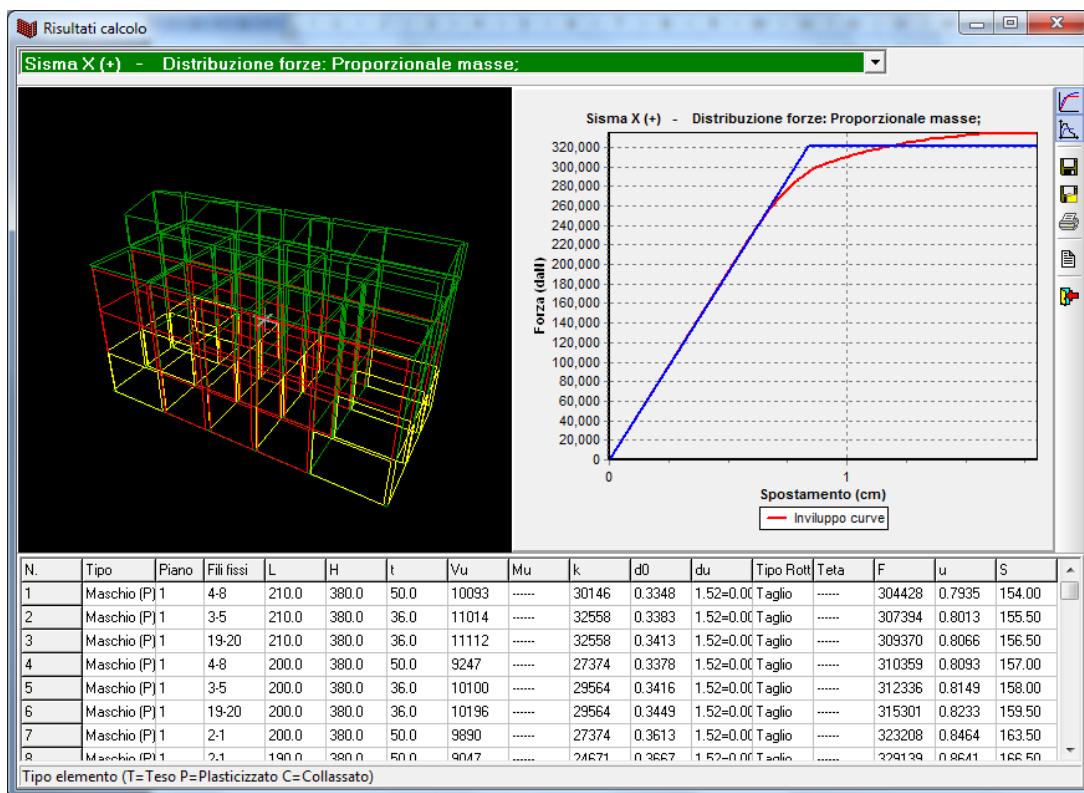
Visione grafica dei risultati

appare la seguente videata dove è possibile visualizzare graficamente i risultati. È possibile visualizzare la curva di capacità del meccanismo nel piano ( $\alpha$ - $d$ ) ed ( $a^*$ - $d^*$ ), la curva ADRS, capacità di spostamento, domanda di spostamento, ecc.



#### 1.2.4.2 – Risultati di calcolo per Analisi Statica Non Lineare

Il comando contrassegnato dall'icona consente di visualizzare i risultati di calcolo dell'analisi statica non lineare. È possibile visualizzare separatamente le otto (o sedici se si attiva l'eccentricità accidentale) combinazioni calcolate, salvare e stampare le curve di capacità della struttura.

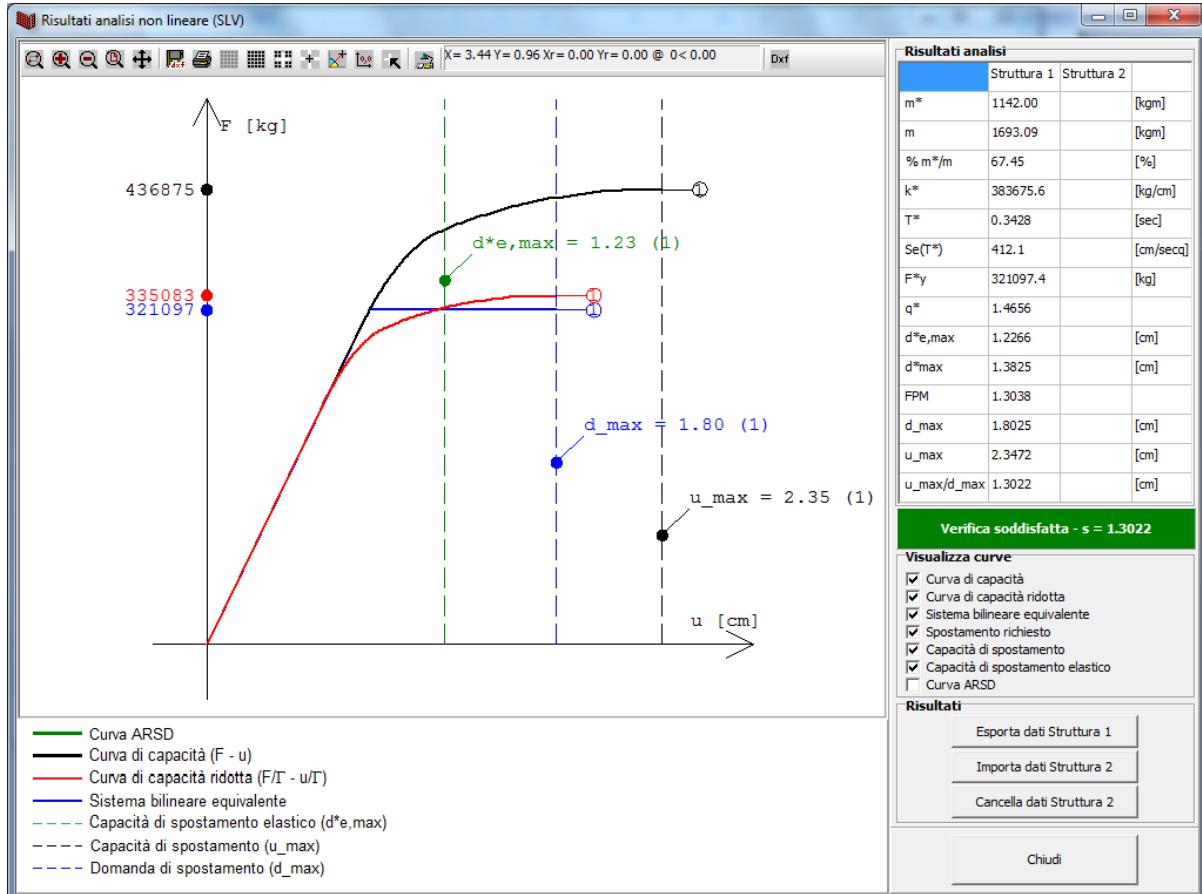




: Consente di visualizzare il grafico della curva di capacità della struttura.



: Cliccando su questo comando, appare la seguente finestra, dalla quale è possibile visualizzare graficamente ed analiticamente i risultati dell'analisi pushover:



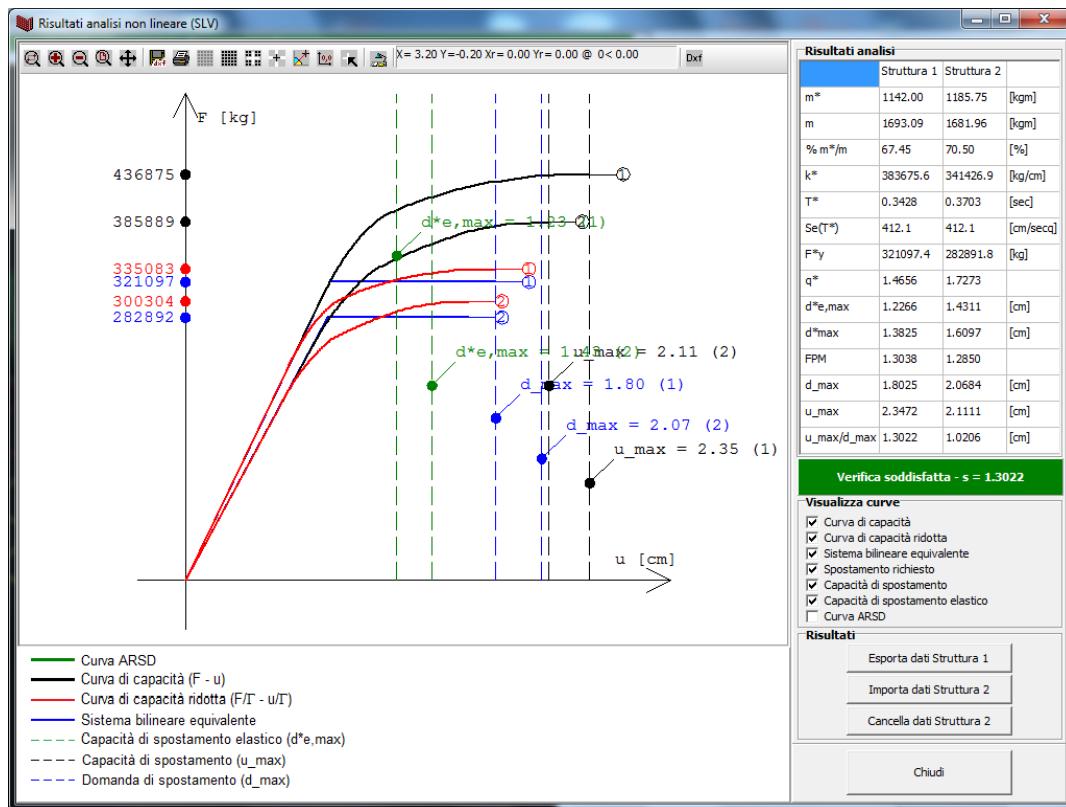
Questo ambiente ci consente inoltre di confrontare i risultati della struttura corrente con quelli di altre strutture (per esempio confrontare i risultati della struttura consolidata e non consolidata).

Tramite il comando **Esporta dati Struttura 1** è possibile salvare i dati dell'analisi pushover del calcolo corrente.

Tramite il comando **Importa dati Struttura 2** è possibile aprire i dati dell'analisi pushover di una struttura precedentemente salvati tramite il comando visto al punto precedente.

Nella successiva finestra sono confrontate le curve relative alle due strutture. Con il numero 1 vengono indicate le curve del calcolo corrente. Con il numero 2 vengono indicate le curve relative al calcolo importato.

In alto a destra della videata, vengono riportati sinteticamente i risultati delle due analisi. Nella colonna "Struttura 1" vengono riportati i dati relativi alla struttura corrente, mentre nella colonna "Struttura 2" vengono riportati i dati relativi alla struttura importata (per esempio, i dati relativi alla "Struttura 1" potrebbero essere quelli della struttura consolidata, mentre i dati relativi alla "Struttura 2" quelli della struttura non consolidata precedentemente calcolata e salvata). Il paragone dei risultati ci fornisce indicazioni importanti sulla qualità dei consolidamenti adottati.



Naturalmente, le combinazioni di carico nei due casi devono coincidere. In caso contrario appare la seguente videata dove nelle ultime due colonne vengono contrassegnate con la "X" le combinazioni calcolate per la Struttura 1 e la Struttura 2. Per poter visualizzare la videata, la "X" deve essere presente in entrambi i casi (Struttura 1 e Struttura 2 come riportato nella terza riga della tabella della figura successiva).

Combinazioni di carico	Struttura 1	Struttura 2
Sisma X (+) - Distribuzione forze: Proporzionale masse;		X
Sisma X (-) - Distribuzione forze: Proporzionale masse;	X	
Sisma X (+) - Distribuzione forze: Proporzionale altezze;	X	X
Sisma X (-) - Distribuzione forze: Proporzionale altezze;		
Sisma Y (+) - Distribuzione forze: Proporzionale masse;		
Sisma Y (-) - Distribuzione forze: Proporzionale masse;		
Sisma Y (+) - Distribuzione forze: Proporzionale altezze;		
Sisma Y (-) - Distribuzione forze: Proporzionale altezze;		

Chiudi



: Consente di salvare su file il grafico della curva di capacità corrente della struttura.



: Consente di salvare su file i grafici della curva di capacità di tutte le combinazioni di carico calcolate.



: Consente di stampare il grafico della curva di capacità della struttura.



: Visualizza i risultati di calcolo:

**Risultati Verifiche**

**VISUALIZZA RISULTATI CALCOLO**

**Sistema X positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse**

**Struttura**

Massa del sistema bilineare equivalente (m*).....	1158.3 kgm
Rigidezza del sistema bilineare equivalente (k*).....	835830.7 kg/cm
Periodo di vibrazione del sistema bilineare equivalente (T*).....	0.23390 sec
Forza di snervamento del sistema bilineare equivalente (F*y).....	414003 kg
Spettro di risposta elastico ( Se(T*) ) .....	735.9 cm/sec <sup>2</sup>
Fattore di struttura ( q* = m* Se(T*) / F*y ).....	2.06
Coefficiente di partecipazione.....	1.28173
Meccanismo di piano.....	1

**Verifica SLU**

Spostamento elastico (SDe(T*)).....	1.01978 cm
Capacità di spostamento.....	1.89377 cm
Spostamento richiesto.....	1.87352 cm
Coefficiente di sicurezza.....	1.01

**Verifica Soddisfatta**

**Verifica SLD**

Capacità di spostamento.....	1.89377 cm
Spostamento richiesto.....	0.25537 cm
Coefficiente di sicurezza.....	7.42

**Verifica Soddisfatta**

**Calcolo fattore di rischio (DS)**

Fattore di importanza.....	1.00
Fattore di suolo.....	1.14
Fattore di amplificazione topografica.....	1.00
PGA_DS.....	0.290
PGA_DS_rif.....	0.250
Indicatore di rischio.....	1.020

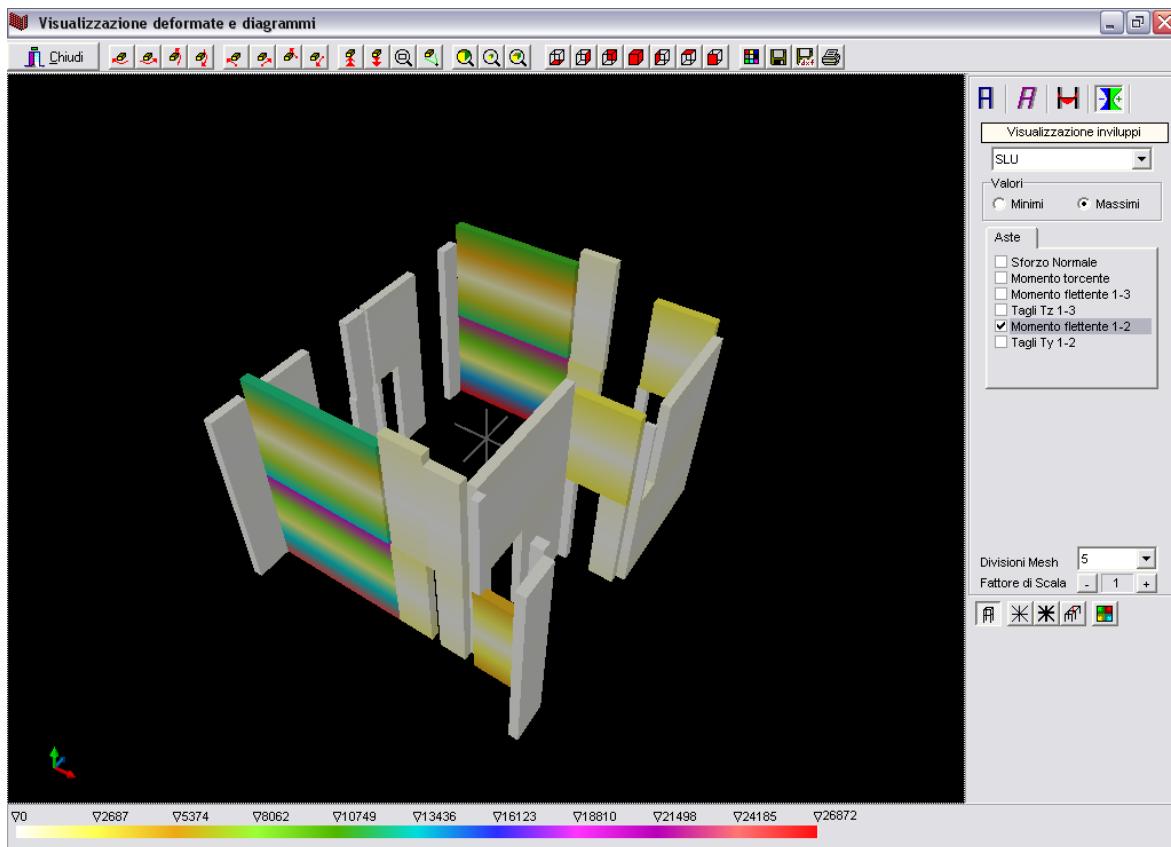
**Calcolo fattore di rischio (DL)**

Fattore di importanza.....	1.00
Fattore di suolo.....	1.20
Fattore di amplificazione topografica.....	1.00
PGA_DL.....	0.504
PGA_DL_rif.....	0.020
Indicatore di rischio.....	20.588

**Stampa**    **Salva**    **Chiudi**

#### 1.2.4.3 – Risultati di calcolo per Analisi Statica Lineare e Dinamica Lineare

Il comando contrassegnato dall'icona : Consente la visualizzazione dei risultati di calcolo nell'apposito ambiente di visualizzazione della struttura. Alla pressione del corrispondente tasto viene visualizzato il seguente ambiente:



In questo ambiente vengono riportati soltanto gli elementi verticali (non vengono visualizzati elementi monodimensionali orizzontali ed orizzontamenti).

### Comandi di visualizzazione

I comandi principali di visualizzazione sono differenziati per tipo di elemento da indagare. Le varie funzionalità vengono attivate attraverso i pulsanti della toolbar presente in alto a destra dello spazio tridimensionale di visualizzazione:



**A** Pulsante “Visualizzazione struttura” : consente di visualizzare il modello della struttura senza evidenziare nessuna caratteristica di sollecitazione o deformazione.

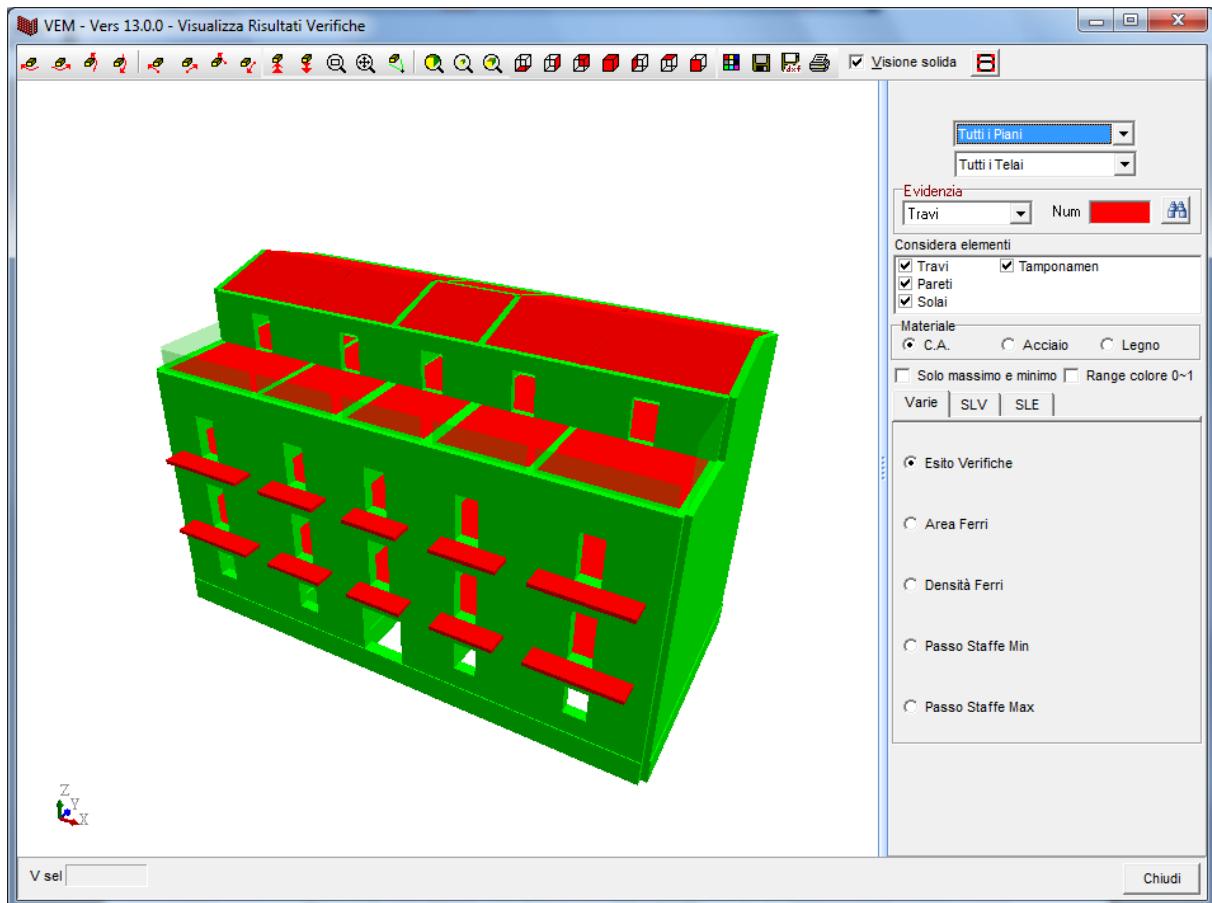
**A** “Visualizzazione deformate” : consente la visualizzazione della configurazione deformata della struttura. È possibile inoltre attivare o meno la colormap sensibile al valore della grandezza che si sta visualizzando. Tali comandi verranno spiegati in seguito.

**H** “Visualizzazione diagrammi” : consente la visualizzazione dei diagrammi delle caratteristiche delle sollecitazioni delle configurazione di carico agenti sulla struttura. Come per gli spostamenti è possibile la visione solida abbinata alla colormap dei valori.

**X+** “Visualizzazione inviluppi” : consente la visualizzazione dei diagrammi degli inviluppi. Il funzionamento e le opzioni sono uguali a “Visualizzazione diagrammi”.

#### 1.2.4.4 – Risultati verifiche

Il comando contrassegnato dall'icona  consente di visualizzare i risultati delle verifiche direttamente sul modello tridimensionale della struttura. Alla pressione del corrispondente tasto viene visualizzata il seguente ambiente:



##### 1.2.4.4.1 – Comandi di Selezione

Per meglio visualizzare i risultati è possibile visualizzare la struttura per telai o piani, oppure filtrare, spuntando dall'apposita lista, gli elementi presenti nella struttura.



La lista contiene:

- **Travi;**
- **Pilastri;**
- **Pareti;**
- **Platee**
- **Solai;**
- **Balconi;**
- **Plinti**

In funzione del materiale impiegato è possibile visualizzare le relative verifiche:

- **Cemento Armato;**
- **Acciaio;**
- **Legno.**

La scelta della grandezza da visualizzare avviene, cliccando sulle voci presenti negli appositi pannelli.

Nel caso di elementi in **Cemento Armato** i pannelli presenti contengono i seguenti parametri:

#### Varie

- **Esito verifiche:** è relativo all'esito delle verifiche strutturali. Il colore rosso è relativo agli elementi con esito negativo;
- **Area Ferri:** è intesa come valore totale in  $\text{cm}^2$  della quantità di armature presenti nella sezione;
- **Densità ferri:** è intesa come il precedente valore rapportato all'area della sezione. Rappresenta una percentuale di armatura;
- **Passo staffe min:** rappresenta il valore minimo del passo delle staffe presenti nell'elemento. È riferito a travi e pilastri. Gli elementi non interessati vengono colorati in grigio.
- **Passo staffe max:** rappresenta il valore massimo del passo delle staffe presenti nell'elemento. È riferito a travi e pilastri. Gli elementi non interessati vengono colorati in grigio.

#### SLV

- **Pre-Fle Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a pressoflessione;
- **Taglio Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a taglio;
- **Taglio Val:** Valore del taglio massimo di calcolo sull'elemento;
- **Torsione Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a torsione;
- **Torsione Val:** Valore del momento torcente massimo di calcolo sull'elemento;
- **Stabilità Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a stabilità;
- **Stabilità Val:** Valore massimo del coefficiente di snellezza  $\lambda$  dell'elemento;
- **Tensioni Cis Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica delle tensioni normali delle pareti non regolari. Ricordiamo che una parete è considerata regolare se è di forma rettangolare e non presenta forature;
- **Tensioni Cis Val:** Valore massimo della tensione di calcolo normale sugli elementi bidimensionali non regolari;
- **Tensioni di Taglio Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica delle tensioni tangenziali delle pareti non regolari;
- **Tensioni Cis Val:** Valore massimo della tensione di calcolo tangenziale sugli elementi bidimensionali non regolari.
- **Tensioni sul terreno:** Valore massimo della tensione trasferita sul terreno dalle travi di fondazione.

#### SLE

- **Tensioni Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza minimo (rapporto tra i valori limite e sollecitanti) relativo alla verifica delle tensioni degli elementi strutturali;
- **Tensioni Cis:** Valore massimo della tensione di calcestruzzo sugli elementi strutturali;
- **Tensioni Acciaio:** Valore massimo della tensione di calcolo dell'acciaio sugli elementi strutturali;
- **Fessurazione Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza minimo (rapporto tra i valori limite e di calcolo) relativo alla verifica a fessurazione degli elementi strutturali;
- **Fessurazione Wk:** Valore massimo dell'apertura delle fessure dell'elemento relative alla verifica a fessurazione;

- **Deformabilità Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza minimo (rapporto tra i valori limite e di calcolo) relativo alla verifica a deformabilità degli elementi strutturali;
- **Deformabilità Val:** Valore massimo della deformazione massima per flessione;
- **Tensioni sul terreno:** Valore massimo della tensione trasferita sul terreno dalle travi di fondazione.

Nel caso di elementi in **Acciaio** i pannelli presenti contengono i seguenti parametri:

#### Varie

- **Esito verifiche:** è relativo all'esito delle verifiche strutturali. Il colore rosso è relativo agli elementi con esito negativo;

#### SLV

- **Pre-Fle Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a pressoflessione;
- **Svergolamento Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a svergolamento delle aste in acciaio;
- **Svergolamento Val:** Valore massimo della tensione di svergolamento sugli elementi in acciaio;
- **Stabilità Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a stabilità elastica delle aste in acciaio;
- **Stabilità Val:** Valore massimo della tensione sugli elementi in acciaio relativa alla verifica a stabilità elastica;
- **Imbozzamento Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica di imbozzamento delle aste in acciaio;
- **Svergolamento Val:** Valore massimo della tensione di imbozzamento sugli elementi in acciaio.

#### SLE

- **Deformabilità Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza minimo (rapporto tra i valori limite e di calcolo) relativo alla verifica a deformabilità delle travi in acciaio;
- **Deformabilità Val:** Valore massimo della deformazione massima per flessione.

Nel caso di elementi in **Legno** i pannelli presenti contengono i seguenti parametri:

#### Varie

- **Esito verifiche:** è relativo all'esito delle verifiche strutturali. Il colore rosso è relativo agli elementi con esito negativo;

#### SLV

- **Pre-Fle Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a pressoflessione;
- **Svergolamento Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a svergolamento delle aste in acciaio;
- **Svergolamento Val:** Valore massimo della tensione di svergolamento sugli elementi in acciaio;
- **Taglio Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a taglio delle aste in legno;
- **Taglio Val:** Valore massimo della tensione di taglio sugli elementi in legno;
- **Torsione Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a torsione delle aste in legno;
- **Torsione Val:** Valore massimo della tensione di torsione sugli elementi in legno;
- **Stabilità Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza (rapporto tra i valori resistenti e sollecitanti) relativo alla verifica a stabilità elastica delle aste in legno;

- **Stabilità Val:** Valore massimo della tensione sugli elementi in legno relativa alla verifica a stabilità elastica;

### SLE

- **Deformabilità Coef Sic:** Coefficiente di sicurezza minimo (rapporto tra i valori limite e di calcolo) relativo alla verifica a deformabilità delle travi in legno;
- **Deformabilità Val:** Valore massimo della deformazione massima per flessione.

È possibile visualizzare, per ogni grandezza, i valori massimi e minimi spuntando il campo “**Solo massimo e minimo**”.

#### 1.2.4.4.2 – Visualizzazione approfondita dei risultati: aste in c.a.

Il significato dei dati relativi alla **Flessione composta** sono:

- **Asn:** area armature longitudinali  $\text{cm}^2$  in strettamente necessaria (pilastri);
- **Afsup:** area armature longitudinali in  $\text{cm}^2$  al lembo superiore (travi – stati limite);
- **Afinf:** area armature longitudinali in  $\text{cm}^2$  al lembo inferiore (travi – stati limite);
- **Aftot:** area totale armature longitudinali in  $\text{cm}^2$  (stati limite);
- **Nsd:** sforzo normale di calcolo in Kg;
- **MsdXZ:** momento XZ di calcolo in Kgm;
- **MsdXY:** momento XY di calcolo in Kgm;
- **NRd:** sforzo normale resistente in Kg (stati limite);
- **MRdXZ:** momento XZ resistente in Kgm (stati limite);
- **MRdXY:** momento XY resistente in Kgm (stati limite);
- **σmax CLS:** tensione massima calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σmax FE:** tensione massima armature longitudinali in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σamm CLS:** tensione ammissibile calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σamm FE:** tensione ammissibile armatura longitudinali in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **S:** Coefficiente di sicurezza.

Il significato dei dati relativi alla **Taglio** sono:

- **AStaffe:** Area totale della sezione trasversale delle staffe in  $\text{cm}^2$  nei riguardi del taglio;
- **ASag:** Area totale della sezione trasversale delle barre sagomate in  $\text{cm}^2$  (stati limite);
- **VsdXZ:** Taglio sollecitante di calcolo XZ in Kg;
- **VsdXY:** Taglio sollecitante di calcolo XY in Kg;
- **VRdXZ:** Taglio resistente XZ in Kg (stati limite);
- **VRdXY:** Taglio resistente XY in Kg (stati limite);
- **σstaXZ:** tensione massima XZ sulle staffe in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σstaXY:** tensione massima XY sulle staffe in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σamm:** tensione ammissibile staffe in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **Nbr:** numero di bracci della staffa;
- **Dstaffe:** interasse tra le staffe in cm;
- **Ltr:** lunghezza del tratto in cm in cui va mantenuto lo stesso tipo di staffe poste alla stessa distanza.

Il significato dei dati relativi alla **Torsione** sono:

- **AStaffe:** Area della sezione trasversale delle staffe in  $\text{cm}^2$  nei riguardi della torsione;
- **ALong Necessaria:** Area dei ferri longitudinali aggiuntivi in  $\text{cm}^2$  nei riguardi della torsione;
- **ALong Disposta:** Area dei ferri longitudinali aggiuntivi in  $\text{cm}^2$  nei riguardi della torsione;
- **Mts:** Momento torcente sollecitante di calcolo in Kgm per gli SLU;
- **Mtr:** Momento torcente resistente in Kgm;

Il significato dei dati relativi alla **Deformabilità** (solo travi in elevazione) sono:

- **Lc:** Lunghezza dell'asta in cm;
- **f/l:** Rapporto tra la freccia e la lunghezza;
- **flim:** Valore della freccia limite in cm;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi della deformabilità.

Il significato dei dati relativi allo **Stato Tensionale** sono:

- **Nsd:** Sforzo normale sollecitante di calcolo per gli SLE in Kg;
- **MsdXZ:** Momento sollecitante di calcolo XZ per gli SLE in Kgm;
- **MsdXY:** Momento sollecitante di calcolo XY per gli SLE in Kgm;
- **σc:** tensione d'esercizio del calcestruzzo in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **σs:** tensione d'esercizio dell'acciaio in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **σclim:** valore limite della tensione d'esercizio del calcestruzzo in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **σslim:** valore limite della tensione d'esercizio dell'acciaio in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi degli stati tensionali.

Questi valori sono ripetuti per le combinazioni Rare, Frequenti, Quasi Permanenti.

Il significato dei dati relativi alla **Fessurazione** (solo pilastri) sono:

- **MXZ:** Momento sollecitante di calcolo XZ per gli SLE [Kgm];
- **Wkmax:** Valore massimo dell'apertura delle fessure;
- **Wk:** ampiezza dell'apertura delle fessure;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi della fessurazione.

Oltre alle verifiche già illustrate, il significato dei dati relativi alla **Stabilità elastica** sono:

- **Lambda:** Coefficiente di snellezza del pilastro;
- **Lambda\*:** Valore limite del coefficiente di snellezza del pilastro;
- **Nsd:** sforzo normale di calcolo in Kg;
- **MsdXZ:** momento XZ di calcolo in Kgm;
- **MsdXY:** momento XY di calcolo in Kgm;
- **NRd:** sforzo normale resistente in Kg (stati limite);
- **MRdXZ:** momento XZ resistente in Kgm (stati limite);
- **MRdXY:** momento XY resistente in Kgm (stati limite);
- **σmax:** tensione massima calcestruzzo in Kg/cm<sup>2</sup> (tensioni ammissibili);
- **σamm:** tensione ammissibile calcestruzzo in Kg/cm<sup>2</sup> (tensioni ammissibili);
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi della stabilità elastica.

Il significato dei dati relativi al **Confinamento** (solo pilastri) del nodo sono:

- **ϕ Staffe:** Diametro delle staffe di confinamento del nodo [mm];
- **Inter. Staffe:** Interasse delle staffe di confinamento del nodo [cm];
- **H Nodo:** Altezza del nodo [cm].

Il significato dei dati relativi al **Verifica Nodo** sono:

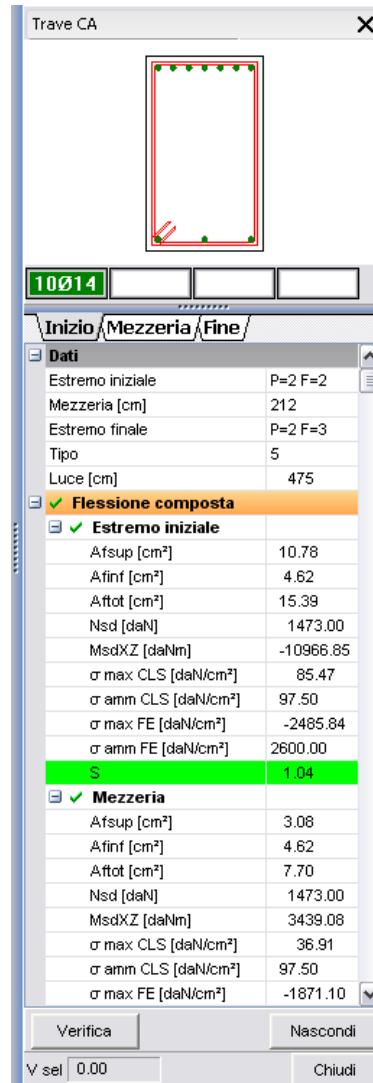
- **D Staffe:** passo delle staffe di confinamento del nodo [mm];
- **ϕ:** Diametro delle staffe di confinamento del nodo [mm];
- **S traz:** coefficiente di sicurezza a trazione (armature) del nodo.
- **S compr:** coefficiente di sicurezza a compressione (solo calcestruzzo) del nodo.

Il significato dei dati relativi allo **Portanza fondazione** sono:

- **Larghezza piano appoggio:** base di appoggio della fondazione in cm;
- **Profondità piano posa:** profondità del piano di posa in cm;

- **Ascissa di verifica:** posizione del punto (critico) di verifica in cm rispetto al primo estremo della trave;
- **Carico limite:** valore del carico limite di portanza della fondazione in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **Carico ammissibile:** valore del carico limite di portanza della fondazione diviso per il coefficiente di sicurezza (in funzione della normativa) in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **Tensione di calcolo:** valore della tensione agente sul terreno della fondazione in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **Coeff. Sic.:** coefficiente di sicurezza nei riguardi della verifica a portanza.

Cliccando sull'elemento voluto è possibile visualizzare i valori (similmente a come vengono stampati nella relazione) delle verifiche strutturali in funzione del tipo selezionato. Per esempio riportiamo la schermata relativa alle travi in c.a.



Il significato dei dati relativi ai **Cedimenti fondazione** sono:

- **Istantaneo:** Cedimenti istantaneo in cm;
- **Consolidamento:** Cedimento di consolidazione in cm;
- **Totale:** Cedimento totale in cm dato dalla somma dei precedenti contributi;
- **Diff:** Valore in cm del cedimento differenziale;
- **Lim:** Valore limite in cm del cedimento differenziale;
- **S:** Coefficiente di sicurezza della verifica.

#### 1.2.4.4.3 – Visualizzazione approfondita dei risultati: aste metalliche

Il significato dei dati relativi alla **Resistenza** sono:

- **$\sigma_{id\ max}$** : Tensione ideale max riscontrata nell'asta in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- **$fd\ max$** : Resistenza di progetto dell'asta in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- **S**: Coefficiente di sicurezza nei riguardi della verifica di resistenza.

Per il DM2018 e EC i dati riportati sono relativi alle combinazioni di carico inerenti ai vari stati limite.

Il significato dei dati relativi alla **Deformabilità** (solo per le travi) sono:

- **Fcalc**: Freccia massima di calcolo dell'asta in cm;
- **Fcons**: Freccia massima consentita in cm;
- **S**: Coefficiente di sicurezza nei riguardi della verifica di deformabilità;

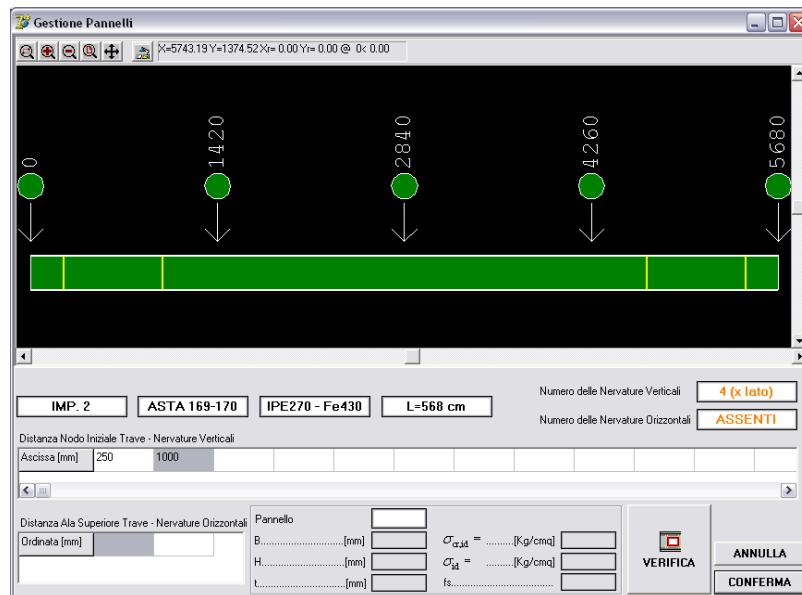
Il significato dei dati relativi allo **Svergolamento** (solo per le travi) sono:

- **w1**: Coefficiente adimensionale amplificativo nei riguardi della instabilità;
- **Meq**: Momento flettente equivalente in  $\text{Kgm}$ ;
- **Sigma Calc**: Tensione ideale max riscontrata nell'asta in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- **fd**: Resistenza di progetto dell'asta in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- **S**: Coefficiente di sicurezza nei riguardi della verifica a svergolamento;

Il significato dei dati relativi alla **Imbozzamento** (solo per le travi) sono:

- **Sigma id**: Tensione ideale max riscontrata nell'asta in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- **Beta**: Coefficiente per la verifica all'imbozzamento;
- **Sigma cr**: Tensione critica di confronto in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- **S**: Coefficiente di sicurezza nei riguardi della verifica all'imbozzamento;

Nel caso in cui la verifica non fosse soddisfatta, è possibile intervenire inserendo delle nervature irrigidenti alla trave in acciaio. Ciò viene effettuato nell'apposita finestra di verifica, visualizzata al click del pulsante “Gestione Pannelli”. La maschera è la seguente:



L'inserimento delle nervature viene effettuato dall'apposita tabella in cui, digitando l'ascissa (misurata in mm) rispetto all'estremo della trave, vengono aggiunte (e visualizzate) le nervature secondo una configurazione simmetrica.

L'inserimento avviene cliccando sul pulsante “VERIFICA”.

Posizionandosi con il puntatore del mouse sui pannelli d'anima (divisi dalle nervature inserite), è possibile visualizzare i risultati della verifica del pannello. Inoltre vengono evidenziate le sezioni di verifica che influenzano il pannello scelto. Le sezioni sono rappresentate dai pallini sopra il profilo della trave.

Il pannello colorato in rosso è indicativo dell'esito negativo della verifica.

L'anima della trave può essere divisa (fino ad un massimo di due nervature) anche in direzione verticale inserendo l'ascissa, misurata dal filo superiore della trave, nell'apposita tabella.

Le modifiche effettuate avranno valenza alla pressione del tasto "CONFERMA".

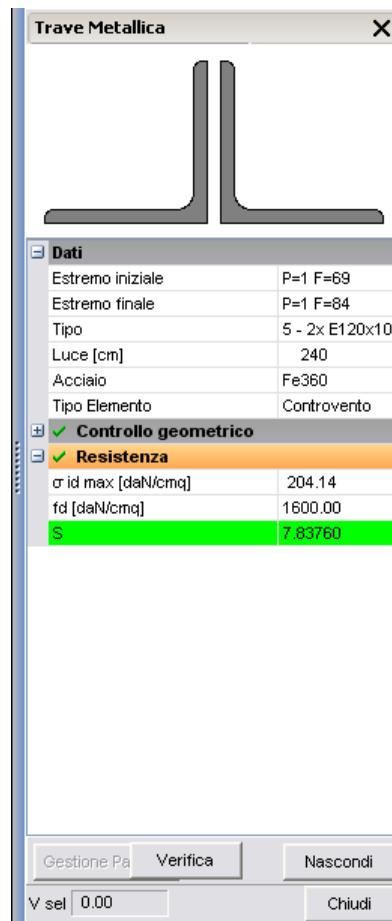
Il significato dei dati relativi alla **Stabilità** (solo per i pilastri) sono:

- **Snellezza X:** Coefficiente di snellezza nella direzione x;
- **Snellezza Y:** Coefficiente di snellezza nella direzione y;
- **Omega X:** Coefficiente amplificativo dello sforzo assiale in direzione x;
- **Omega Y:** Coefficiente amplificativo dello sforzo assiale in direzione y;
- **Beta X:** Coefficiente relativo ai vincoli in direzione x;
- **Beta Y:** Coefficiente relativo ai vincoli in direzione y;
- **Neq:** Sforzo normale equivalente in Kg;
- **Mxeq:** Momento equivalente in direzione x in Kgm;
- **Myeq:** Momento equivalente in direzione y in Kgm;
- **$\sigma_{calc}$ :** Tensione di calcolo riscontrata nell'asta in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **$\sigma_{conf}$ :** Tensione di confronto in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **S:** Coefficiente di sicurezza nei riguardi della stabilità.

Nel caso in cui la sezione del pilastro sia di tipo composta **calastrellata**, viene aggiunta la verifica dei calastrelli. Per questa verifica i parametri di riferimento sono:

- **V:** Taglio agente sui calastrelli in Kg;
- **M:** Momento agente sui calastrelli in Kgm;
- **T:** Forza assiale agente sui calastrelli in Kg;
- **$\sigma_{id}$ :** Tensione ideale max riscontrata nell'asta in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **fd:** Resistenza di progetto dell'asta in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **S:** Coefficiente di sicurezza nei riguardi della verifica dei calastrelli;

Cliccando sull'elemento voluto è possibile visualizzare i valori (similmente a come vengono stampati nella relazione) delle verifiche strutturali in funzione del tipo selezionato. Per esempio riportiamo la schermata relativa alle travi in acciaio.



#### 1.2.4.4.4 – Visualizzazione approfondita dei risultati: aste in legno strutturale

Il significato dei dati relativi alla **Presso-Flessione** sono:

- **$\sigma_{c,0,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a compressione in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  (EC 5);
- **$\sigma_{m,y,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a flessione attorno a  $y_{loc}$  in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  (EC 5);
- **$\sigma_{m,z,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a flessione attorno a  $z_{loc}$  in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  (EC 5);
- **K<sub>m</sub>**: Coefficiente definito al punto 5.1.6 dell'EC 5;
- **N**: Sforzo normale agente in Kg (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **M**: Momento agente in Kgm (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **R**: formula di verifica  $\frac{\sigma_N}{\sigma_{N,amm}} + \frac{\sigma_M}{\sigma_{M,amm}} \leq 1$  (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **S**: Coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi alla **Tenso-Flessione** sono:

- **$\sigma_{t,0,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a trazione in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  (EC 5);
- **$\sigma_{m,y,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a flessione attorno a  $y_{loc}$  in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  (EC 5);
- **$\sigma_{m,z,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a flessione attorno a  $z_{loc}$  in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  (EC 5);
- **K<sub>m</sub>**: Coefficiente definito al punto 5.1.6 dell'EC 5;
- **N**: Sforzo normale agente in Kg (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **M**: Momento agente in Kgm (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **R**: formula di verifica  $\frac{\sigma_N}{\sigma_{N,amm}} + \frac{\sigma_M}{\sigma_{M,amm}} \leq 1$  (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **S**: Coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi al **Taglio** sono:

- **$\tau_{y,d}$** : Tensione tangenziale agente di calcolo in direzione yloc in  $\text{Kg/cm}^2$  (EC 5);
- **$\tau_{z,d}$** : Tensione tangenziale agente di calcolo in direzione zloc in  $\text{Kg/cm}^2$  (EC 5);
- **T**: Taglio agente in Kg sulla sezione (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **$\tau$** : Tensione tangenziale in  $\text{Kg/cm}^2$  agente relativa al taglio T (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **S**: Coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi alla **Torsione** sono:

- **$\tau_{tor}$** : Tensione tangenziale a torsione agente di calcolo in  $\text{Kg/cm}^2$  (EC 5);
- **Mt**: Momento torcente agente Kgm in sulla sezione (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **$\tau$** : Tensione tangenziale in  $\text{Kg/cm}^2$  agente relativa al taglio T (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **S**: Coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi al **Taglio – Torsione** (solo DIN 1052 e Regles CB 71) sono:

- **T**: Taglio agente in Kg sulla sezione;
- **M**: Momento torcente agente in Kgm;
- **R**: formula di verifica  $\frac{\tau_T^2}{\tau_{T,amm}^2} + \frac{\tau_M^2}{\tau_{M,amm}^2} \leq 1$ ;
- **S**: Coefficiente di sicurezza della verifica descritta .

Il significato dei dati relativi alla **Stabilità** sono:

- **$\sigma_{c,0,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a compressione in  $\text{Kg/cm}^2$  (EC 5);
- **$\sigma_{m,y,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a flessione attorno a yloc in  $\text{Kg/cm}^2$  (EC 5);
- **$\sigma_{m,z,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a flessione attorno a zloc in  $\text{Kg/cm}^2$  (EC 5);
- **Km**: Coefficiente definito al punto 5.1.6 dell'EC 5;
- **Kc,z**: Coefficiente definito al punto 5.2.1 dell'EC 5;
- **Kc,y**: Coefficiente definito al punto 5.2.1 dell'EC 5;
- **N**: Sforzo normale agente in Kg (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **M**: Momento agente in Kgm (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **R**: formula di verifica  $\frac{\sigma_N}{\sigma_{N,amm}} + \frac{\sigma_M}{\sigma_{M,amm}} \leq 1$  (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **S**: Coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi alla **Svergolamento** sono:

- **$\sigma_{m,y,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a flessione attorno a yloc in  $\text{Kg/cm}^2$  (EC 5);
- **$\sigma_{m,z,d}$** : Tensione normale agente di calcolo a flessione attorno a zloc in  $\text{Kg/cm}^2$  (EC 5);
- **Kcrit**: Coefficiente definito al punto 5.2.2 dell'EC 5;
- **M**: Momento agente in Kgm (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **$\sigma$** : Tensione agente di calcolo a svergolamento in  $\text{Kg/cm}^2$  (DIN 1052 e Regles CB 71);
- **S**: Coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi alla **Deformabilità** (solo per le travi) sono:

- **u/l**: Rapporto tra la freccia e la lunghezza;
- **ulim**: Valore della freccia limite in cm;
- **S**: coefficiente di sicurezza nei riguardi della deformabilità.

Cliccando sull'elemento voluto è possibile visualizzare i valori (similmente a come vengono stampati nella relazione) delle verifiche strutturali in funzione del tipo selezionato. Per esempio riportiamo la schermata relativa alle travi in legno.



#### 1.2.4.4.5 – Visualizzazione approfondita dei risultati: pareti regolari in c.a.

Il significato dei dati relativi alla **Flessione Composta** (nelle due direzioni) sono:

- **Nsd:** sforzo normale sollecitante di calcolo nel piano della parete in Kg (stati limite);
- **Nrd:** sforzo normale resistente nel piano della parete in Kg (stati limite);
- **Msd:** momento sollecitante di calcolo nel piano della parete in Kgcm (stati limite);
- **Mrd:** momento resistente nel piano della parete in Kgcm (stati limite);
- **$\sigma_{max}$  CLS:** tensione massima calcestruzzo in Kg/cm<sup>2</sup> (tensioni ammissibili);
- **$\sigma_{max}$  FE:** tensione massima armature longitudinali in Kg/cm<sup>2</sup> (tensioni ammissibili);
- **$\sigma_{amm}$  CLS:** tensione ammissibile calcestruzzo in Kg/cm<sup>2</sup> (tensioni ammissibili);
- **$\sigma_{amm}$  FE:** tensione ammissibile armatura longitudinali in Kg/cm<sup>2</sup> (tensioni ammissibili);
- **S:** coefficiente di sicurezza nei confronti della flessione composta.

Il significato dei dati relativi al **Taglio** (se effettuata) sono:

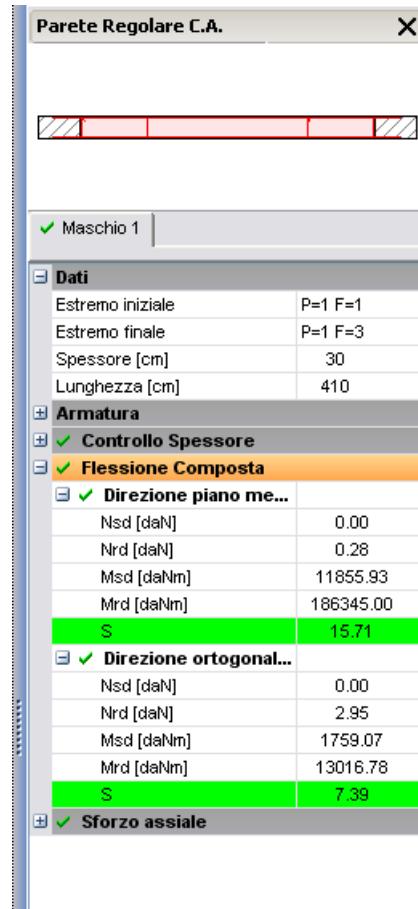
- **Vsd:** taglio sollecitante di calcolo in Kg (stati limite);
- **Vrd2:** taglio resistente di calcolo nella verifica dell'anima a compressione in Kg (stati limite);
- **Vrd3:** taglio resistente di calcolo nella verifica del meccanismo resistente a trazione in Kg (stati limite);
- **Vrd\_s:** taglio resistente di calcolo nella verifica a scorrimento lungo piani orizzontali in Kg (stati limite);
- **$\tau_{max}$ :** tensione massima di taglio nel calcestruzzo in Kg/cm<sup>2</sup> (tensioni ammissibili);
- **$\tau_{c1}$ :** tensione limite calcestruzzo in presenza di armature a taglio in Kg/cm<sup>2</sup> (tensioni ammissibili);
- **$\sigma_{max}$ :** tensione ammissibile acciaio in Kg/cm<sup>2</sup> (tensioni ammissibili);
- **$\sigma_{amm}$ :** tensione ammissibile armatura longitudinali in Kg/cm<sup>2</sup> (tensioni ammissibili);
- **S:** coefficiente di sicurezza nei confronti del Taglio.

Il significato dei dati relativi allo **Sforzo assiale** (solo stati limite) sono:

- **As:** area della sezione trasversale;

- **Nsd\_max:** sforzo normale di calcolo prodotto dai carichi di gravità in Kg;
- **vd:** sforzo assiale normalizzato prodotto dai carichi di gravità;
- **v:** valore limite dello sforzo assiale normalizzato;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei confronti dello sforzo assiale.

Cliccando sull'elemento voluto è possibile visualizzare i valori (similmente a come vengono stampati nella relazione) delle verifiche strutturali in funzione del tipo selezionato. Per esempio riportiamo la schermata relativa alle pareti regolari in c.a.



#### 1.2.4.4.6 – Visualizzazione approfondita dei risultati: pareti in muratura ordinaria

La visualizzazione dei risultati delle verifiche per le pareti in muratura ordinaria dipendono dal calcolo e della normativa con le quali è stata analizzata la struttura.

Il significato dei dati relativi alla **Pressoflessione** (OPCM 3431, D.M. 2005, D.M. 2008 e D.M. 2018) sono:

<b>Presso-Flessione</b>	
<b>Inferiore</b>	
Nsd [daN]	-1570.19
Msd [daNm]	-608.31
Mu [daNm]	2958.16
<b>S</b>	<b>4.86</b>
<b>Superiore</b>	
Nsd [daN]	-1570.19
Msd [daNm]	-602.95
Mu [daNm]	2958.16
<b>S</b>	<b>4.91</b>

- **Nsd:** sforzo normale sollecitante di calcolo relativo alla combinazione di carico più gravosa in Kg;
- **Msd:** momento sollecitante di calcolo relativo alla combinazione di carico più gravosa in Kgm;
- **Mu:** momento resistente del pannello in Kgm;
- **S:** coefficiente di sicurezza.

Il significato dei dati relativi alla verifica a **Taglio** (OPCM 3431, D.M. 2005, D.M. 2008 ed D.M. 2018) sono:

<b>Taglio</b>	
<b>Inferiore</b>	
Nsd [daN]	-1570.19
Tsd [daN]	-484.32
fvd [daN/cm <sup>2</sup> ]	2.91
Trd [daN]	33628.08
<b>S</b>	<b>69.43</b>
<b>Superiore</b>	
Nsd [daN]	-1570.19
Tsd [daN]	-484.32
fvd [daN/cm <sup>2</sup> ]	2.91
Trd [daN]	33628.08
<b>S</b>	<b>69.43</b>

- **Nsd:** sforzo normale sollecitante di calcolo in Kg relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- **Tsd:** taglio sollecitante di calcolo in Kg relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- **fvk:** resistenza caratteristica a taglio in Kg/cm<sup>2</sup> in presenza di compressione;
- **Trd:** taglio resistente di calcolo in Kg;
- **S:** Coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi alla verifica a **Schiacciamento** (OPCM 3431 ed NTC) sono:

<b>Schiacciamento</b>	
<b>Testa</b>	
N [daN]	956.25
Ecc [cm]	1.10
$\sigma_n$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.10
f <sub>d</sub> [daN/cm <sup>2</sup> ]	27.92
<b>S</b>	<b>276.38</b>
<b>Piede</b>	
N [daN]	5530.05
Ecc [cm]	1.10
$\sigma_n$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.58
f <sub>d</sub> [daN/cm <sup>2</sup> ]	27.92
<b>S</b>	<b>47.79</b>

- **N:** sforzo normale sollecitante in Kg relativo ai carichi verticali;
- **Ecc:** eccentricità dello sforzo normale rispetto al baricentro della parete;
- **$\sigma_n$ :** tensione massima raggiunta dalla sezione trasversale della parete in kg/cm<sup>2</sup>;
- **f<sub>d</sub>:** tensione resistente di calcolo della parete in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **S:** coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi alla verifica **Fuori Piano** (OPCM 3431, D.M. 2008 e D.M. 2018) sono:

<b>Fuori Piano</b>	
Nsd [daN]	956.25
T <sub>p</sub> [sec]	2.39
P <sub>o</sub> [daN]	0.00
P <sub>p</sub> [daN]	4573.80
F <sub>a</sub> [daN]	0.00
P <sub>a</sub> [daN/m]	198.41
M <sub>u</sub> [daNm]	1019.85
M <sub>s</sub> [daNm]	120.04
<b>S</b>	<b>8.50</b>

- **Nsd:** sforzo normale sollecitante di calcolo in Kg relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- **T<sub>p</sub>:** primo periodo di oscillazione del pannello in sec.;
- **P<sub>o</sub>:** peso degli orizzontamenti che gravano sulla parete e che devono essere considerati ai fini del calcolo in Kg;
- **P<sub>p</sub>:** peso proprio del muro esaminato in Kg;
- **F<sub>a</sub>:** forza sismica dovuta al peso degli orizzontamenti in Kg;
- **P<sub>a</sub>:** forza sismica dovuta al peso del pannello in Kg;
- **M<sub>u</sub>:** momento resistente del pannello in Kgm;
- **M<sub>s</sub>:** momento sollecitante in Kgm;
- **S:** coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi alla verifica **Fuori Piano** (DM 2005) sono:

<b>Fuori Piano</b>	
Nsd [daN]	956.25
Nrd [daN]	287902.91
$\lambda$	6.81
m	0.22
$\emptyset$	0.89
<b>S</b>	<b>301.07</b>

- **N<sub>sd</sub>**: sforzo normale sollecitante di calcolo in Kg relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- **N<sub>rd</sub>**: resistenza di progetto data dall'espressione  $N_{Rd} = \Phi_t \cdot f_d \cdot A$  (vedi punto 5.4.6.2.1 dell'NTC);
- **$\lambda$** : snellezza (vedi punto 5.4.6.2.1 del DM 2005);
- **m**: coefficiente di eccentricità (vedi punto 5.4.6.2.1 del DM 2005);
- **$\Phi$** : coefficiente di riduzione della resistenza (vedi punto 5.4.6.2.1 del DM 2005);
- **S**: coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi alla verifica a **Carichi verticali** (D.M. 87, D.M. 2008 e D.M. 2018) sono:

<b>Carichi verticali</b>	
<b>Testa</b>	
N [daN]	956.25
$\lambda$	6.81
m1	0.22
$\Phi_1$	0.89
A [cmq]	11550.00
$\sigma$ [daN/cmq]	0.09
$\sigma$ lim [daN/cmq]	7.50
<b>S</b>	<b>80.89</b>
<b>Mezzeria</b>	
N [daN]	3243.15
$\lambda$	6.81
m2	1.55
$\Phi_2$	0.36
A [cmq]	11550.00
$\sigma$ [daN/cmq]	0.77
$\sigma$ lim [daN/cmq]	7.50
<b>S</b>	<b>9.69</b>

- **N**: sforzo normale sollecitante di calcolo in Kg relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- **$\lambda$** : snellezza (vedi punto 4.5.4 del D.M. 2018);
- **m**: coefficiente di eccentricità (vedi punto 4.5.6.2 del D.M. 2018);
- **$\Phi$** : coefficiente di riduzione della resistenza (vedi punto 4.5.6.2 del D.M. 2018);
- **S**: coefficiente di sicurezza della verifica descritta.

Il significato dei dati relativi alla verifica delle **eccentricità** (D.M. 87 e D.M. 2018) sono:

<input checked="" type="checkbox"/> Eccentricità	
<input checked="" type="checkbox"/> Testa	
e1 [cm]	1.10
t [cm]	30.00
e1/t	0.04
(e1/t) <sub>lim</sub>	0.33
S	9.00
<input checked="" type="checkbox"/> Mezzeria	
e1/2 [cm]	0.55
ev [cm]	7.18
e2 [cm]	7.73
t [cm]	30.00
e2/t	0.26
(e2/t) <sub>lim</sub>	0.33
S	1.28
<input checked="" type="checkbox"/> Piede	
(eb)x [cm]	17.19
(eb)y [cm]	1.69
L [cm]	385.00
(6*eb/L)x [cm]	0.27
(6*eb/L)y [cm]	0.03
(6*eb/L) <sub>lim</sub>	1.30
s <sub>x</sub>	4.85
s <sub>y</sub>	49.36

- **e1:** eccentricità (cm). Vedi punto 4.5.6.2 del D.M. 2018;
- **t:** spessore della parete (cm);
- **e1/t:** rapporto tra l'eccentricità e1 e spessore t;
- **(e1/t)<sub>lim</sub>:** valore limite del rapporto e1/t;
- **ev:** eccentricità (cm) dei carichi dovuta all'azioni orizzontali considerate agenti in direzione ortogonale al piano del muro (ev=M<sub>v</sub>/N) (punto 4.5.6.2 del DM 2018)
- **e2:** eccentricità (cm). Vedi punto 4.5.6.2 del DM 2018;
- **e2/t:** rapporto tra l'eccentricità e1 e spessore t;
- **(e2/t)<sub>lim</sub>:** valore limite del rapporto e2/t;
- **(eb)x:** eccentricità (cm) per azioni in direzione x;
- **(eb)y:** eccentricità (cm) per azioni in direzione y;
- **L:** lunghezza della parete (cm);
- **(6\*eb/L)<sub>lim</sub>:** valore limite dell'eccentricità;
- **S:** coefficiente di sicurezza.

Nel caso in cui si effettua l'analisi statica non lineare e per zone non sismiche si hanno le seguenti schermate per le verifiche a presso-flessione e taglio. In questo caso non si tiene conto dell'azione sismica ma soltanto dei carichi verticali e di eventuali azioni del vento. L'azione del vento si imposta dall'ambiente 'Preferenze verifiche' del software. Il riferimento delle verifiche è il D.M. 20/11/87.

Nel caso della **Presso-flessione** si ha:

<b>Presso-Flessione</b>	
<b>Direzione X</b>	
N [daN]	32355.77
M [daNm]	295805.75
m2	0.35
mb	0.27
Φ2 [daN]	0.85
Φb [daN]	0.93
Area [cmq]	10000.00
σ [daN/cmq]	4.08
σ lim [daN/cmq]	7.50
<b>S</b>	<b>1.84</b>
<b>Direzione Y</b>	
N [daN]	32355.77
M [daNm]	-91121.53
m2	0.35
mb	0.08
Φ2 [daN]	0.85
Φb [daN]	0.98
Area [cmq]	10000.00
σ [daN/cmq]	3.88
σ lim [daN/cmq]	7.50
<b>S</b>	<b>1.94</b>

- **N:** sforzo normale sollecitante di calcolo in Kg relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- **M:** momento flettente sollecitante di calcolo in Kg\*cm relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- **λ:** snellezza della parete;
- **m2,mb:** coefficienti di eccentricità;
- **Φ2,Φb:** coefficienti di riduzione della resistenza;
- **A:** area della sezione trasversale della parete;
- **σ:** tensione di calcolo della parete;
- **σlim:** tensione limite;
- **S:** coefficiente di sicurezza;

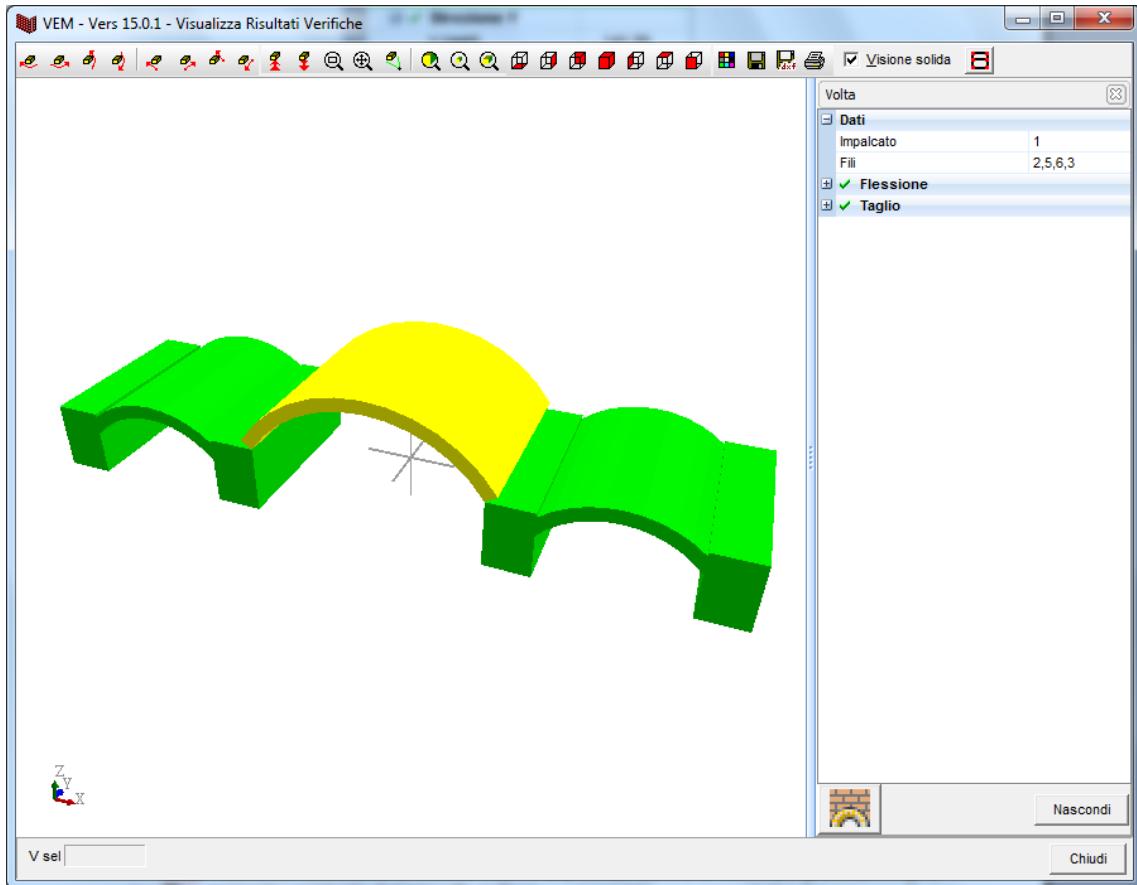
Nel caso della **Taglio** si ha:

<b>Taglio</b>	
<b>Direzione X</b>	
V [daN]	448.08
β	1.00
Area [cmq]	10000.00
τ [daN/cmq]	0.04
τ Lim [daN/cmq]	1.11
<b>S</b>	<b>24.76</b>
<b>Direzione Y</b>	
V [daN]	141.56
β	1.00
Area [cmq]	10000.00
τ [daN/cmq]	0.01
τ Lim [daN/cmq]	1.11
<b>S</b>	<b>78.39</b>

- **V:** taglio sollecitante di calcolo in Kg relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- **$\beta$ :** coefficiente di parzializzazione della sezione;
- **A:** area della sezione trasversale della parete;
- **$\tau$ :** tensione tangenziale di calcolo della parete;
- **$\tau_{lim}$ :** tensione tangenziale limite;
- **S:** coefficiente di sicurezza

#### 1.2.4.4.7 – Visualizzazione approfondita dei risultati: volte

Per visualizzare i risultati relativi ad una generica volta occorre cliccare con il sinistro del mouse sull'elemento stesso (visualizzato di colore giallo).



Sul lato destro della videata compaiono i seguenti dati:

#### Presso-flessione:

<input type="checkbox"/> Dati	
Impalcato	1
Fili	2,5,6,3
<input checked="" type="checkbox"/> Flessione	
N [daN]	-23583
M [daNm]	82905
sigmaMax [daN/cmq]	3.35
fd [daN/cmq]	5.93
<b>S</b>	<b>1.77</b>

- **N:** sforzo normale sollecitante di calcolo relativo alla combinazione di carico più gravosa espressa in daN;
- **M:** momento sollecitante di calcolo relativo alla combinazione di carico più gravosa espressa in daNm;
- **sigmaMax:** massima tensione normale espressa in daN/cm<sup>2</sup>;
- **fd :** tensione limite normale espressa in daN/cm<sup>2</sup>;
- **S :** coefficiente di sicurezza.

### Taglio

Taglio	
T [daN]	687
tau [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.06
fvd [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.69
S	12.02

- **T:** taglio sollecitante di calcolo relativo alla combinazione di carico più gravosa espressa in daN;
- **tau:** massima tensione tangenziale espressa in daN/cm<sup>2</sup>;
- **fvd:** tensione limite tangenziale espressa in daN/cm<sup>2</sup>;
- **S:** coefficiente di sicurezza.

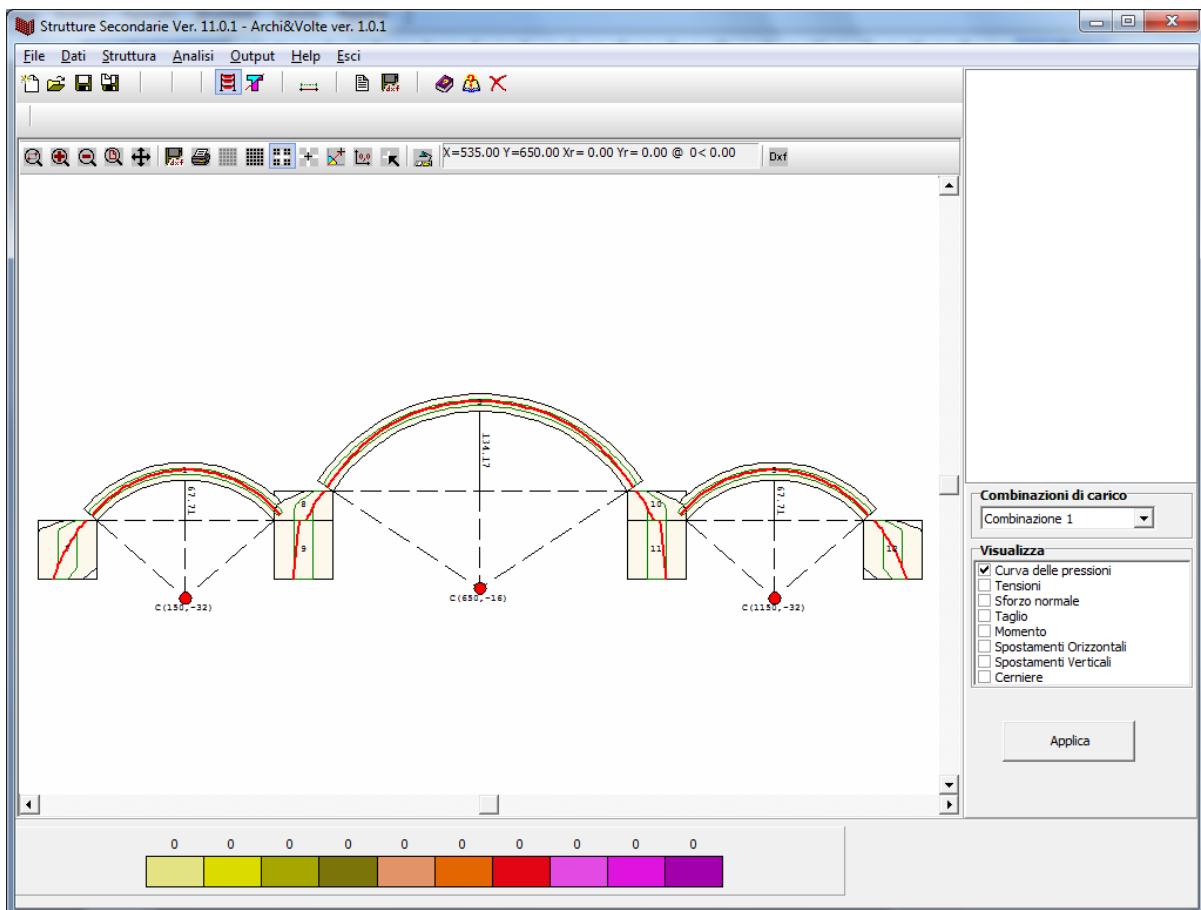
È possibile visualizzare più in dettaglio i risultati delle volte cliccando sul comando contrassegnato



dalla seguente icona:



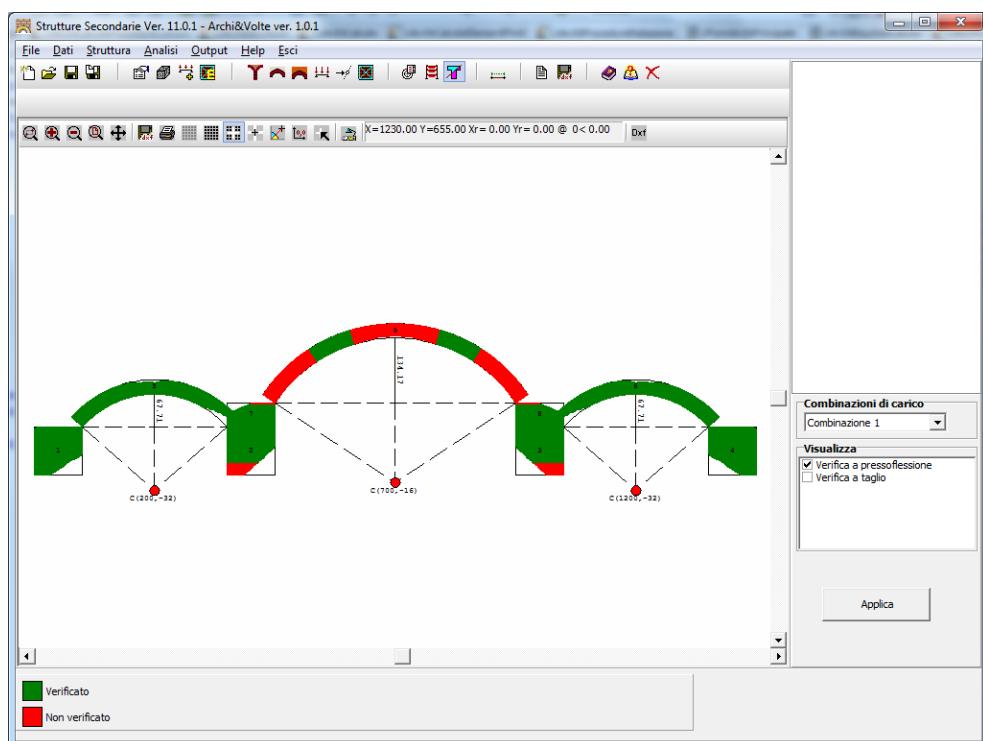
All'atto del click, compare la seguente videata.



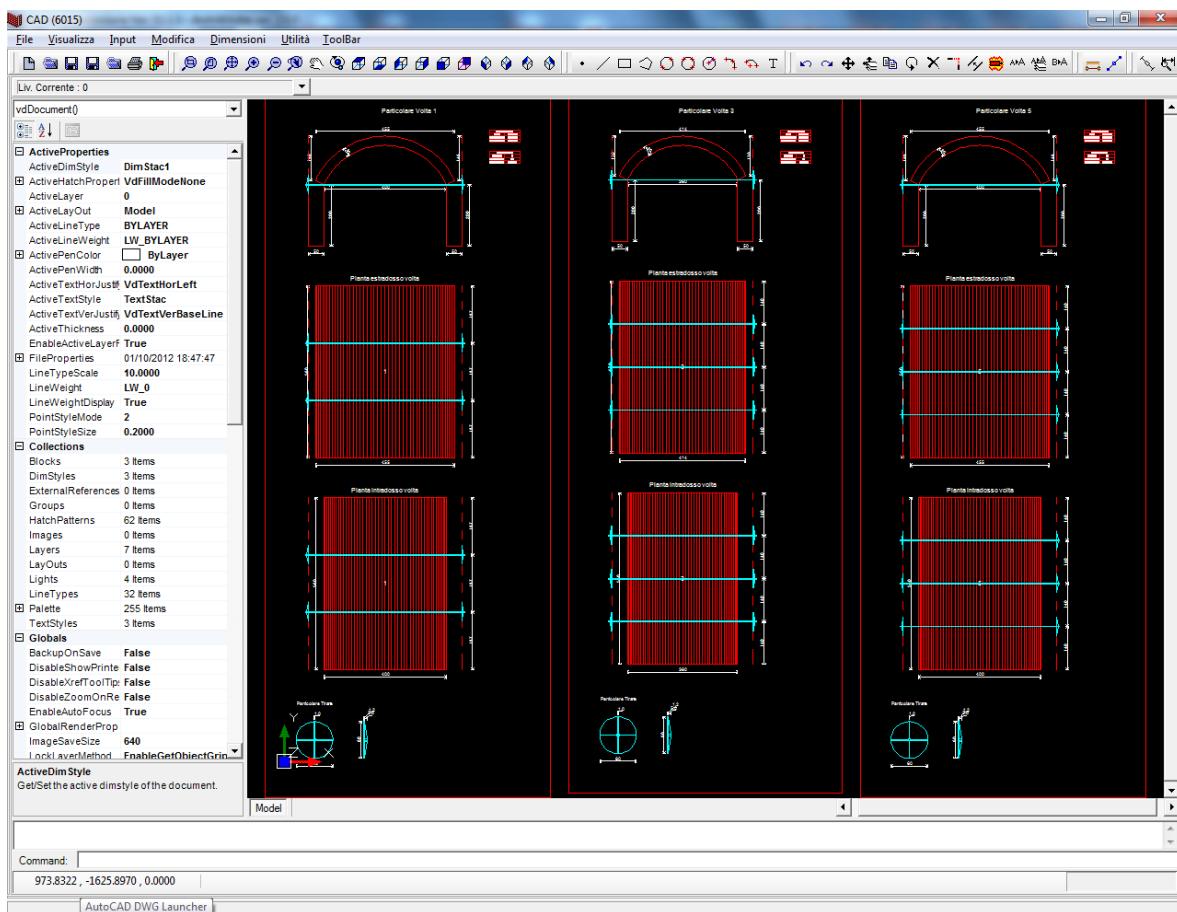
dalla quale è possibile visualizzare:

- Curva delle pressioni;
- Tensioni di calcolo;
- Sforzo normale sollecitante;
- Taglio sollecitante;
- Momento sollecitante;
- Spostamenti orizzontali;
- Spostamenti verticali;
- Cerniere;

Inoltre, cliccando sul comando contrassegnato dalla seguente icona  , è possibile visualizzare le verifiche a pressoflessione e taglio (vedi videata successiva). Le parti di struttura verdi sono verificate, le parti rosse sono non verificate.



Cliccando sul comando  , è possibile determinare visualizzare un file dxf nel quale viene riportato un particolare in pianta e sezione delle volte selezionate.



#### 1.2.4.4.8 – Visualizzazione approfondita dei risultati: pareti in muratura armata

Il significato dei dati relativi alla verifica a **Pressoflessione nel piano** e **Pressoflessione fuori piano** sono:

Slu	
Presso-Flessione n...	
Nsd [daN]	-8451.21
Msd [daNm]	17374.79
Nrd [daN]	8452.09
Mrd [daNm]	18460.46
Armatura necessaria	
Estremi [cmq]	1.3285
Intermedi [cmq]	0.0000
S	1.06

- Nsd:** sforzo normale sollecitante di calcolo in Kg relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- Msd:** momento flettente sollecitante di calcolo in Kg\*cm relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- Nrd :** sforzo normale resistente di calcolo in Kg;
- Msd:** momento flettente sollecitante di calcolo in Kg\*cm;
- Armatura necessaria:** è la quantità di armatura che viene richiesta in fase di progettazione (può essere anche 0). L'armatura realmente inserita può essere maggiore in quanto deve essere conforme con i minimi previste dalle normative.
- Estremi:** armatura richiesta nei fori di estremità della parete ( $\text{cm}^2$ );

- **Intermedi:** armatura richiesta nei fori intermedi della parete ( $\text{cm}^2$ );
- **S:** coefficiente di sicurezza;

Il significato dei dati relativi alla verifica a **taglio** sono:

Taglio	
Vsd [daN]	8572.23
Vtm [daN]	8030.01
Vts [daN]	8457.71
Vrd = Vts + Vtm [daN]	16487.72
Vtc [daN]	14512.50
Bracci	2
Ø [mm]	8
Ricorsi	3
<b>S</b>	<b>1.69</b>

- **Vsd:** taglio sollecitante di calcolo in Kg relativo alla combinazione di carico più gravosa;
- **Vtm:** resistenza a taglio della muratura;
- **Vts:** resistenza a taglio dell'armatura;
- **Vrd:** somma della resistenza a taglio della muratura e dell'armatura ( $Vrd = Vtm + Vts$ );
- **Vtc:** valore del taglio limite sollecitante. Se il  $Vsd > Vtc$  la verifica da esito negativo.
- **Bracci:** bracci di armatura orizzontale in ogni ricorso di muratura.
- **ϕ:** diametro dell'armatura orizzontale;
- **Ricorsi:** passo delle armature orizzontali (misurato in numero di ricorsi di laterizi);
- **S:** coefficiente di sicurezza;

#### Visualizzazione approfondita dei risultati: solai e balconi in c.a.

Nel caso di generazione automatica di solai a trave continua, le verifiche vengono effettuate e riportate per ogni singola campata.

Il significato dei dati relativi alla **Geometria** sono:

- **Lc:** Lunghezza della campata esaminata in cm;
- **H:** Spessore del solaio in cm;
- **Hmin:** Valore minimo dello spessore del solaio (1/25 della luce netta) in cm.

Il significato dei dati relativi alla **Flessione Composta** sono:

- **Afl:** area armature longitudinali in  $\text{cm}^2$ ;
- **Nsd:** sforzo normale di calcolo in Kg;
- **MsdXZ:** momento XZ di calcolo in Kgm;
- **NRd:** sforzo normale resistente in Kg (stati limite);
- **MRdXZ:** momento XZ resistente in Kgm (stati limite);
- **σmax CLS:** tensione massima calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σmax FE:** tensione massima armature longitudinali in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σamm CLS:** tensione ammissibile calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σamm FE:** tensione ammissibile armatura longitudinali in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **S:** coefficiente di sicurezza.

Il significato dei dati relativi alla **Taglio** sono:

- **VsdXZ:** taglio sollecitante di calcolo XZ in Kg;
- **VRdXZ:** taglio resistente XZ in Kg;
- **τmax:** tensione massima di taglio agente in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **τamm:** tensione ammissibile di taglio del calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **S:** coefficiente di sicurezza.

Il significato dei dati relativi allo **Stato Tensionale** sono:

- **Nsd:** sforzo normale sollecitante di calcolo in Kg per gli SLE;
- **MsdXZ:** momento sollecitante di calcolo XZ in Kgm per gli SLE;
- **$\sigma_c$ :** tensione d'esercizio del calcestruzzo in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ;
- **$\sigma_s$ :** tensione d'esercizio dell'acciaio in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ;
- **$\sigma_{clim}$ :** valore limite della tensione d'esercizio del calcestruzzo in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ;
- **$\sigma_{slim}$ :** valore limite della tensione d'esercizio dell'acciaio in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi degli stati tensionali.

Il significato dei dati relativi alla **Fessurazione** sono:

- **MXZ:** momento sollecitante di calcolo XZ per gli SLE in Kgm;
- **Wkmax:** valore massimo dell'apertura delle fessure in cm;
- **Wk:** ampiezza dell'apertura delle fessure in cm;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi della fessurazione;

Il significato dei dati relativi alla **Deformabilità** sono:

- **Lc:** lunghezza dell'asta in cm;
- **f/l:** rapporto tra la freccia e la lunghezza;
- **flim:** valore della freccia limite in cm;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi della deformabilità.

Cliccando sull'elemento voluto è possibile visualizzare i valori (similmente a come vengono stampati nella relazione) delle verifiche strutturali in funzione del tipo selezionato. Per esempio riportiamo la schermata relativa ai solai in c.a.

Solaio a Trave Continua	
<input checked="" type="checkbox"/> Camp1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Dati
Maglia	1
Fili	1, 3, 4, 2
Materiale	SLC_default
<input checked="" type="checkbox"/>	Armatura
<input checked="" type="checkbox"/>	Geometria
<input checked="" type="checkbox"/>	Flessione Composta
<input checked="" type="checkbox"/>	Estremo iniziale
Afl [ $\text{cm}^2$ ]	3.39
Nsd [daN]	0.00
MsdXZ [daNm]	-649.33
MRd [daN]	-0.26
MRdXZ [daNm]	-1414.44
S	2.17
<input checked="" type="checkbox"/>	Mezzeria
Afl [ $\text{cm}^2$ ]	2.26
Nsd [daN]	0.00
MsdXZ [daNm]	1136.33
MRd [daN]	0.99
MRdXZ [daNm]	1484.02
S	1.30
<input checked="" type="checkbox"/>	Estremo finale
Afl [ $\text{cm}^2$ ]	3.39
Nsd [daN]	0.00
MsdXZ [daNm]	-649.33
MRd [daN]	-0.26
MRdXZ [daNm]	-1414.44
S	2.17
<input checked="" type="checkbox"/>	Taglio
<input checked="" type="checkbox"/>	Stato Tensionale
<input checked="" type="checkbox"/>	Fessurazione
<input checked="" type="checkbox"/>	Deformabilità

#### 1.2.4.4.9 – Visualizzazione approfondita dei risultati: platee in c.a.

Il significato dei dati relativi alla Flessione sono:

- **Msd:** momento sollecitante di calcolo estradosso/intradosso [Kgcm];
- **Mrd:** momento resistente estradosso/intradosso [Kgcm];
- **S:** coefficiente di sicurezza nei confronti della flessione.

Il significato dei dati relativi al **Taglio** sono:

- **Vsd:** taglio sollecitante di calcolo in Kg;
- **Vrd:** taglio resistente di calcolo in Kg;
- **Vrd1:** resistenza a taglio di calcolo di una sezione in elementi privi di armatura a taglio in Kg;
- **Vrd2:** massima forza di taglio di calcolo in Kg;
- **Vrd3:** resistenza a taglio di calcolo di una sezione in elementi con armatura a taglio in Kg;
- **Vwd:** taglio di calcolo in Kg relativo al contributo dell'armatura a taglio;
- **A nec:** area di armatura necessaria cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>;
- **Adisp:** area di armatura effettivamente disposta cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi del taglio.

Il significato dei dati relativi allo **Stato tensionale** sono:

- **Msdxz:** momento massimo sollecitante di calcolo XZ per gli SLE in Kgcm;
- **σc:** tensione d'esercizio del calcestruzzo in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **σs:** tensione d'esercizio dell'acciaio in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **σclim:** valore limite della tensione d'esercizio del calcestruzzo in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **σslim:** valore limite della tensione d'esercizio dell'acciaio in Kg/cm<sup>2</sup>;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi degli stati tensionali.

Il significato dei dati relativi alla **Fessurazione** sono:

- **Msd:** momento sollecitante di calcolo per gli SLE in Kgm;
- **Mcr:** momento di prima fessurazione in Kgcm;
- **Wkmax:** valore massimo dell'apertura delle fessure;
- **Wk:** ampiezza dell'apertura delle fessure;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi della fessurazione;

Cliccando sull'elemento voluto è possibile visualizzare i valori (similmente a come vengono stampati nella relazione) delle verifiche strutturali in funzione del tipo selezionato. Per esempio riportiamo la schermata relativa alle platee in c.a.

Platea C.A.	
<input type="checkbox"/>	Dati
Impalcato	0
Fili	1,3,4,2
Spessore [cm]	30
<input type="checkbox"/>	Armatura
<input checked="" type="checkbox"/>	Flessione
<input checked="" type="checkbox"/>	Attorno a X
<input type="checkbox"/>	Intradosso
Msd [daNm]	70743.89
Mrd [daNm]	458864.00
<input type="checkbox"/>	Estradosso
Msd [daNm]	-51494.38
Mrd [daNm]	-458864.00
S	6.49
<input checked="" type="checkbox"/>	Attorno a Y
<input type="checkbox"/>	Intradosso
Msd [daNm]	93795.09
Mrd [daNm]	474296.75
<input type="checkbox"/>	Estradosso
Msd [daNm]	-43748.76
Mrd [daNm]	-474296.75
S	5.06
<input type="checkbox"/>	Taglio
<input type="checkbox"/>	Stato Tensionale
<input type="checkbox"/>	Fessurazione
<input checked="" type="checkbox"/>	Portanza fondazione

#### 1.2.4.4.10 – Visualizzazione approfondita dei risultati: plinti in c.a.

Il significato dei dati relativi alla **PressoFlessione** (per tutti i tipi di plinto) sono:

- **Nsd:** sforzo normale di calcolo in Kg (diverso da zero solo per plinti ad 1 palo);
- **Msd:** momento di calcolo agente sulla sezione resistente in Kgm;
- **B:** base della sezione resistente in cm;
- **H:** altezza della sezione resistente in cm;
- **Aft:** area delle armature tese in  $\text{cm}^2$ ;
- **Afc:** area delle armature compresse in  $\text{cm}^2$ ;
- **NRd:** sforzo normale resistente della sezione di calcolo in Kg (diverso da zero solo per plinti ad 1 palo) (stati limite);
- **MRd:** momento resistente della sezione di calcolo in Kgm (stati limite);
- **σc:** tensione massima del calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σs:** tensione massima dell'acciaio in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σc amm:** tensione ammissibile del calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **σs amm:** tensione ammissibile dell'acciaio in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi della flessione.

Il significato dei dati relativi alla **Taglio** (esclusi i plinti ad 1 palo) sono:

- **Vsd:** taglio sollecitante di calcolo in Kg;
- **VRd:** taglio resistente della sezione di calcolo in Kg;
- **τmax:** tensione massima del calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **τc0:** tensione limite del calcestruzzo in assenza di armature a taglio  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **τc1:** tensione limite del calcestruzzo in presenza di armature a taglio  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **AfTag:** area dell'armatura a taglio in  $\text{cm}^2$ ;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi del taglio.

Il significato dei dati relativi allo **Stato Tensionale** (solo stati limite d'esercizio) sono:

- **Nsd:** sforzo normale sollecitante di calcolo in Kg;
- **Msd:** momento sollecitante di calcolo in Kgm;
- **$\sigma_c$ :** tensione d'esercizio del calcestruzzo in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ;
- **$\sigma_s$ :** tensione d'esercizio dell'acciaio in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ;
- **$\sigma_{clim}$ :** valore limite della tensione d'esercizio del calcestruzzo in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ;
- **$\sigma_{slim}$ :** valore limite della tensione d'esercizio dell'acciaio in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi degli stati tensionali.

Il significato dei dati relativi alla **Fessurazione** (solo stati limite d'esercizio) sono:

- **Msd:** momento sollecitante di calcolo in Kgm;
- **Wkmax:** valore massimo dell'apertura delle fessure in cm;
- **Wk:** ampiezza dell'apertura delle fessure in cm;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi della fessurazione.

Il significato dei dati relativi allo **Slittamento** (solo OPCM 3274 e solo per plinti trapezoidali e massicci) sono:

- **Vd:** azione orizzontale di calcolo in Kg agente sulla superficie di contatto;
- **Nsp:** azione normale alla base del plinto in Kg;
- **$\phi$ :** angolo di attrito interno del terreno in ° al piano di posa;
- **Frd:** azione orizzontale resistente di calcolo in Kg;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi dello slittamento.

Il significato dei dati relativi al **Carico limite** (solo OPCM 3274 e solo per plinti trapezoidali e massicci) sono:

- **Nsp:** azione normale alla base del plinto in Kg;
- **R'**: portanza del terreno di fondazione in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ;
- **Cs:** coefficiente di sicurezza riduttivo della portanza;
- **A'**: superficie efficace in  $\text{cm}^2$  alla base del plinto;
- **Rd:** carico limite di progetto in Kg;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi del carico limite.

La verifica a carico limite viene effettuata per i plinti diretti per le combinazioni A1 e A2 (definite nel D.M. 14/09/2005) a breve e lungo termine.

Cliccando sull'elemento voluto è possibile visualizzare i valori (similmente a come vengono stampati nella relazione) delle verifiche strutturali in funzione del tipo selezionato. Per esempio riportiamo la schermata relativa ai plinti in c.a.

Plinto	
Dati	
Filo	12
Tipo	12 - PLINT...
Vincolo	Cedevole
Pressione Terreno [daN/cmq]	0.24
Armatura	
Plinto	
Flexione	
Direzione X	
Msd [daNm]	-5089.72
B [cm]	260
H [cm]	80
AfI [cmq]	2.00
Afc [cmq]	0.98
Mrd [daNm]	-28800.94
S	5.65
Direzione Y	
Msd [daNm]	-5133.66
B [cm]	260
H [cm]	80
AfI [cmq]	2.00
Afc [cmq]	0.97
Mrd [daNm]	-28800.94
S	5.81
Taglio	
Direzione X	
Vsd [daN]	7757.10
Vrd [daN]	59589.59
AfTag [cmq]	0.00
S	7.88
Direzione Y	
Vsd [daN]	7807.80
Vrd [daN]	59589.59
AfTag [cmq]	0.00
S	7.63
Verifica	
Chiudi	

#### **1.2.4.4.11 – Visualizzazione approfondita dei risultati: pali di fondazione**

Il significato dei dati relativi al **Carico limite** sono:

- **Qsd:** carico verticale di calcolo in t cui corrisponde il minimo coefficiente di sicurezza;
  - **Qb:** portata in t del terreno a contatto con la sezione di base;
  - **Ql:** portata in t per attrito laterale;
  - **Efficienza:** efficienza palificata;
  - **Qu:** carico ultimo verticale del palo in t;
  - **Sq:** coefficiente di sicurezza minimo della sezione a carico verticale;
  - **Hsd:** carico orizzontale di calcolo in t cui corrisponde il minimo coefficiente di sicurezza;
  - **Hult:** carico limite orizzontale del terreno in t;
  - **Sh:** coefficiente di sicurezza minimo della sezione a carico orizzontale.

Il significato dei dati relativi alla **Instabilità** sono:

- **Nsd:** sforzo normale di calcolo in t;
  - **Pk:** carico critico del palo in t;
  - **S:** coefficiente di sicurezza minimo della sezione nei riguardi della stabilità.

Il significato dei dati relativi a **Pressoflessione** sono:

- **Asl:** area dell'acciaio longitudinale strettamente necessaria in  $\text{cm}^2$ ;
  - **Nsd:** sforzo normale sollecitante in Kg della condizione di carico più gravosa;

- **MsdX:** momento flettente X sollecitante di calcolo in Kgm della condizione di carico più gravosa;
- **MsdY:** momento flettente Y sollecitante di calcolo in Kgm della condizione di carico più gravosa;
- **Nrd:** sforzo normale resistente in Kg della condizione di carico più gravosa (stati limite);
- **MrdX:** momento flettente X resistente di calcolo della condizione di carico più gravosa (stati limite);
- **MrdY:** momento flettente Y resistente di calcolo della condizione di carico più gravosa (stati limite);
- **$\sigma_c$ :** tensione massima del calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **$\sigma_s$ :** tensione massima dell'acciaio in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **$\sigma_{c\ amm}$ :** tensione ammissibile del calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **$\sigma_{s\ amm}$ :** tensione ammissibile dell'acciaio in  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **S:** coefficiente di sicurezza minimo della sezione nei riguardi della pressoflessione.

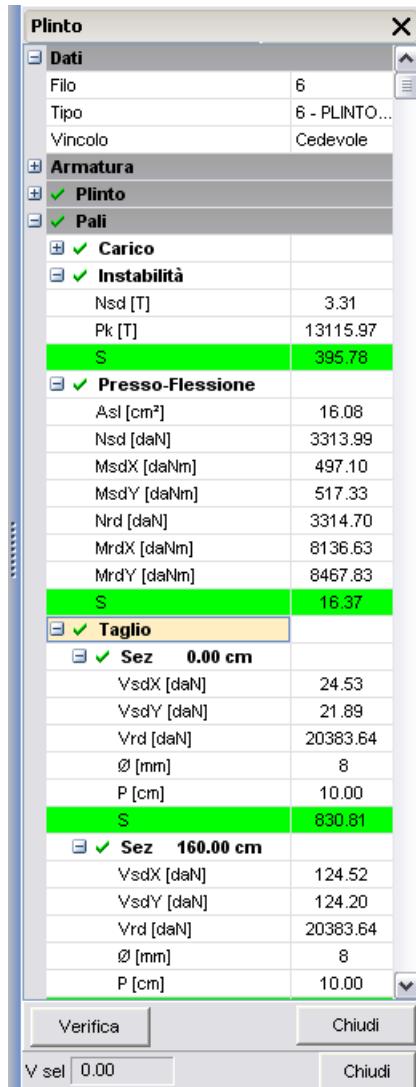
Il significato dei dati relativi al **Taglio** sono:

- **Sez:** ascissa in cm della sezione di verifica rispetto all'estremo superiore de palo;
- **VsdX:** taglio sollecitante di calcolo in Kg agente lungo l'asse X locale del palo;
- **VsdY:** taglio sollecitante di calcolo in Kg agente lungo l'asse Y locale del palo;
- **Vrd:** taglio resistente della sezione in Kg (stati limite);
- **$\emptyset$ :** diametro in mm delle barre d'armatura utilizzata per la spirale;
- **P:** passo in cm della spirale nella sezione considerata;
- **$\tau_{c0}$ :** tensione limite del calcestruzzo in assenza di armature a taglio  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **$\tau_{c1}$ :** tensione limite del calcestruzzo in presenza di armature a taglio  $\text{Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili);
- **S:** coefficiente di sicurezza minimo della sezione nei riguardi del taglio.

Il significato dei dati relativi allo **Stato Tensionale** sono:

- **Nsd:** sforzo normale sollecitante di calcolo per gli SLE in Kg;
- **MsdX:** momento sollecitante intorno ad x locale di calcolo per gli SLE in Kgm;
- **MsdY:** momento sollecitante intorno ad y locale di calcolo per gli SLE in Kgm;
- **$\sigma_c$ :** tensione d'esercizio del calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- **$\sigma_s$ :** tensione d'esercizio dell'acciaio in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- **$\sigma_{clim}$ :** valore limite della tensione d'esercizio del calcestruzzo in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- **$\sigma_{slim}$ :** valore limite della tensione d'esercizio dell'acciaio in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- **S:** coefficiente di sicurezza nei riguardi degli stati tensionali.

Per i plinti su pali, le verifiche descritte effettuate sui pali, vengono visualizzate in un pannello aggiuntivo in cui vengono riportati i risultanti inerenti alle rispettive verifiche.

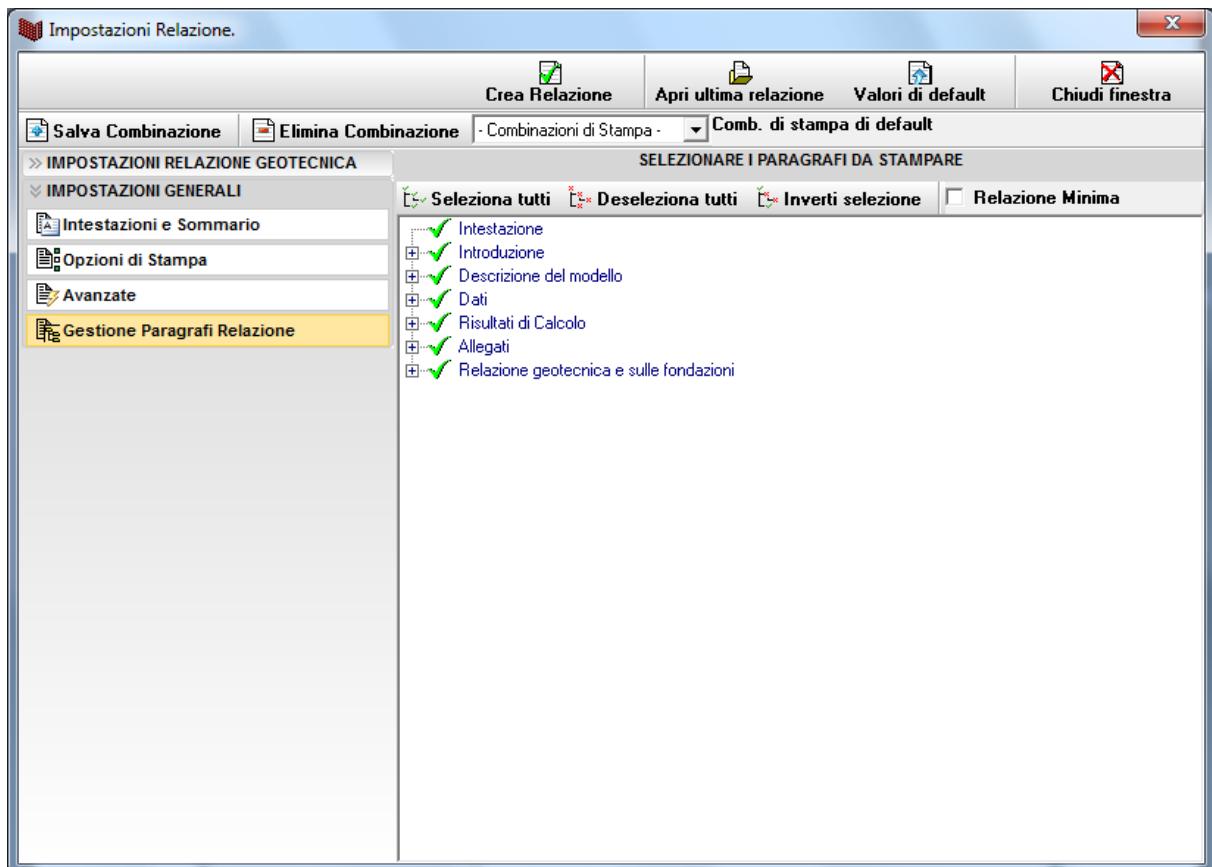


#### 1.2.4.5 – Relazione

Il comando contrassegnato dall'icona consente di definire le opzioni relative alla creazione della "Relazione di Calcolo".

La relazione di calcolo è creata in file formato standard .rtf. In automatico viene richiamato l'editor installato sul pc al quale sono associati i file rtf.

Alla pressione del pulsante corrispondente viene visualizzato il seguente ambiente:



Le opzioni presenti nella schermata di apertura consentono di impostare dei parametri generali della relazione come:

- **Intestazione superiore (differenziati per la prima pagina);**
- **Numeri di pagina;**
- **Sommario.**

l'Intestazione Superiore avrà per dicitura il nome e la versione del programma, i numeri di pagina saranno stampati a piè di pagina e il sommario per una migliore ricerca del capitolo o paragrafo che interessa.

Nel caso di inserimento del sommario, nella relazione verrà stampata una riga la cui dicitura sarà "*Premi tasto destro del mouse e seleziona 'aggiorna campo'*", ebbene bisognerà fare proprio ciò che c'è scritto per poter visualizzare correttamente il sommario.

Inoltre sarà possibile scegliere se effettuare o meno la stampa dell'immagine della struttura, la quale verrà inserita nell'intestazione, e la stampa di tutte le altre immagini generate in automatico dalla Relazione. In entrambi i casi si decida di non inserire le immagini la creazione della Relazione risulterà più veloce.

Il parametro relazione minima consente di scegliere un default di stampa dei capitoli da inserire. La scelta di questi capitoli è stata effettuata pensando alle richieste effettuate dai Servizi Tecnici Provinciali.

Il pannello denominato "Opzioni Stampa" consente di impostare i valori dei margini del foglio e le dimensioni dei caratteri differenziate in:

- **Capitolo;**
- **Paragrafo;**
- **Corpo del testo.**

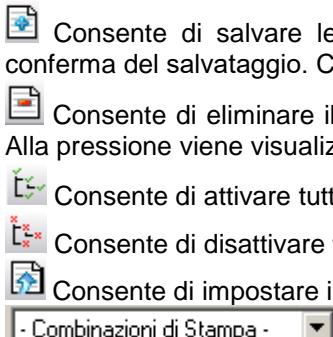
Ulteriori opzioni sono relative al formato dell'immagine della struttura da stampare in copertina:

- **Immagine struttura** : presenza o meno della struttura nell'intestazione;

- **Visione solida** : consente di stampare la visione solida della struttura;
- **Usa colori per** : consente di scegliere la definizione dei colori per materiale, elemento, piano e telai;
- **Escludi dall'immagine** : consente di escludere dalla visualizzazione alcuni elementi come aste, muri, plinti, solai, balconi, platee;

L'elemento di versatilità più utile e importante è lo schema ad albero (presente in "combinazioni di stampa") da cui si possono scegliere i capitoli da stampare. Ciò avviene cliccando sulla voce interessata in modo da contrassegnarla con una "V" di colore verde. Contrassegnando un capitolo vengono associati anche i paragrafi contenuti, espandendo lo schema è possibile differenziare ulteriormente i paragrafi.

Sopra lo schema appena descritto è presente una toolbar per velocizzare e salvare le impostazioni correnti. I pulsanti della toolbar contengono i seguenti comandi:

- 
- Consente di salvare le impostazioni correnti. Alla pressione viene visualizzata la richiesta di conferma del salvataggio. Cliccando su "Sì" verrà visualizzato il campo per l'inserimento del nome.
  - Consente di eliminare il file .opz in cui sono contenute le impostazioni precedentemente salvate. Alla pressione viene visualizzata la richiesta di conferma della cancellazione.
  - Consente di attivare tutti i capitoli presenti nello schema ad albero.
  - Consente di disattivare tutti i capitoli presenti nello schema ad albero.
  - Consente di impostare i parametri ai valori dei default.
  - Combinazioni di Stampa - Consente la scelta della configurazione precedentemente salvata.
  - Avvia la creazione della relazione e l'apertura dell'editor associato.
  - Consente di aprire la relazione precedentemente creata.
  - Consente di uscire dalla maschera.

Nella pagina "Avanzate" sono presenti le opzioni riguardanti la stampa dei fattori di portanza nelle parti di relazione relative alla verifica a carico limite delle fondazioni, e del numero della combinazione che origina i valori massimi e minimi negli inviluppi.

In presenza del modulo "Portanza terreno di fondazione" di StruSec è possibile comporre automaticamente la Relazione Geotecnica e sulle fondazioni. I dati da aggiungere sono:

- **Relazione Geologica e piante fondazioni** : Le piante di fondazione vengono create automaticamente utilizzando la grafica dell'input grafico. È possibile, inoltre, inserire immagini o dxf delle piante da utilizzare;
- **Descrizione generale**;
- **Problemi geotecnici e scelte tipologiche**;
- **Descrizione del programma delle indagini**;
- **Scelta del tipo di fondazione**;
- **Ipotesi assunte ed analisi dei risultati**.

Le voci vengono riempite automaticamente utilizzando le caratteristiche del calcolo corrente. Modificando il testo presente nei vari campi non verranno utilizzate le caratteristiche di automazione.

#### 1.2.4.6 – Computi dei materiali

Questo ambiente crea elaborati in formato rtf sul computo dei materiali di cui è composta la struttura. Vengono computati i quantitativi di acciaio, calcestruzzo, legno, solai, pali e consolidamenti.

 **Computo acciaio per c.a.:** consente la creazione in formato rtf, con richiamo automatico all'editor presente sul pc, del computo delle armature presenti. Il computo è differenziato per piano, tipo di materiale, diametro, sviluppo in metri, peso in Kg.

 **Computo calcestruzzo:** Consente la creazione in formato rtf, con richiamo automatico all'editor presente sul pc, del computo del calcestruzzo utilizzato. Il computo è differenziato per piano, tipo di materiale, luce degli elementi strutturali, volume in m<sup>3</sup>, superficie delle carpenterie. Nel caso siano presenti travi di fondazione viene computata anche la quantità di magrone in m<sup>3</sup>.

 **Computo solai:** Consente la creazione in formato rtf, con richiamo automatico all'editor presente sul pc, del computo dei solai utilizzati. Il computo è differenziato per piano e superficie.

 **Computo acciaio da carpenteria:** Consente la creazione in formato rtf, con richiamo automatico all'editor presente sul pc, del computo dell'acciaio da carpenteria usato. Il computo è differenziato per piano, tipologia di travatura, tipologia delle aste, peso unitario, sviluppo in metri, peso in Kg.

 **Computo legno:** Consente la creazione in formato rtf, con richiamo automatico all'editor presente sul pc, del computo del legno utilizzato. Il computo è differenziato per piano, tipologia dell'elemento strutturale, tipo di materiale, sviluppo in metri, volume in m<sup>3</sup>.

 **Computo pali:** Consente la creazione in formato rtf, con richiamo automatico all'editor presente sul pc, del computo del calcestruzzo e delle armature utilizzate.

 **Computo consolidamenti:** Consente la creazione in formato rtf di un file in cui viene riportata la contabilità di tutti materiali di cui sono composti i consolidamenti utilizzati nella struttura.

 **Distinta armature:** Consente la visualizzazione e la creazione in formato dxf, del resoconto delle armature presenti nella struttura. La distinta viene creata ordinando le armature per tipologia: diritti (travi e pilastri), sagomati, monconi, orizzontali e verticali da parete, staffe (travi e pilastri). Il documento è utile in fase di costruzione per computare e realizzare le armature da cantiere.

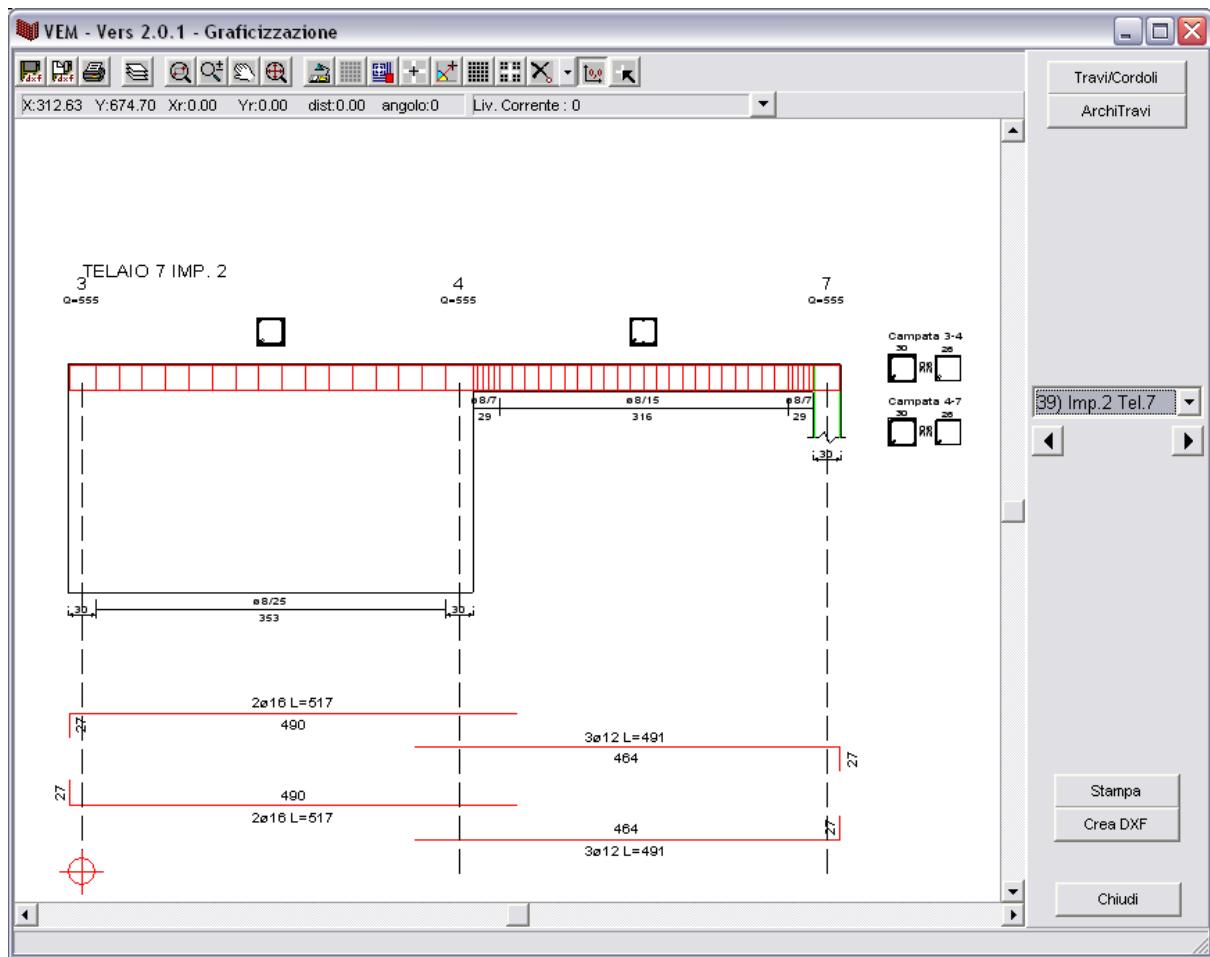
#### 1.2.4.7 – Graficizzazione

Il comando contrassegnato dall'icona  avvia la creazione dei disegni esecutivi di pilastrate e travate.

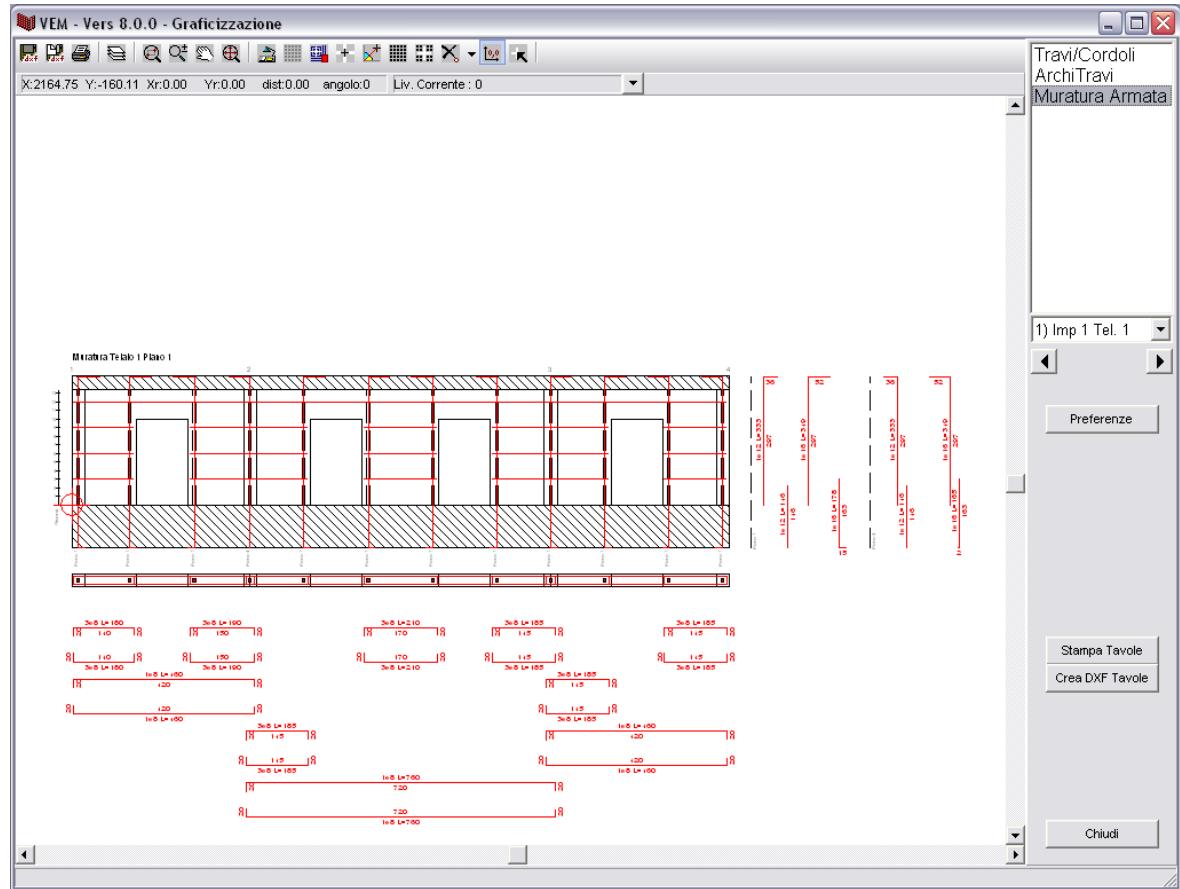
Oltre alle visualizzazione a schermo e alla relazione di calcolo, in VEM<sub>NL</sub> è possibile avere come materiale d'uscita, i disegni esecutivi della struttura calcolata.

Per poter visualizzare e scegliere le opzioni di stampa di telai, travi, cordoli, pilastri, plinti, pali, architravi, basta cliccare sul pulsante corrispondente.

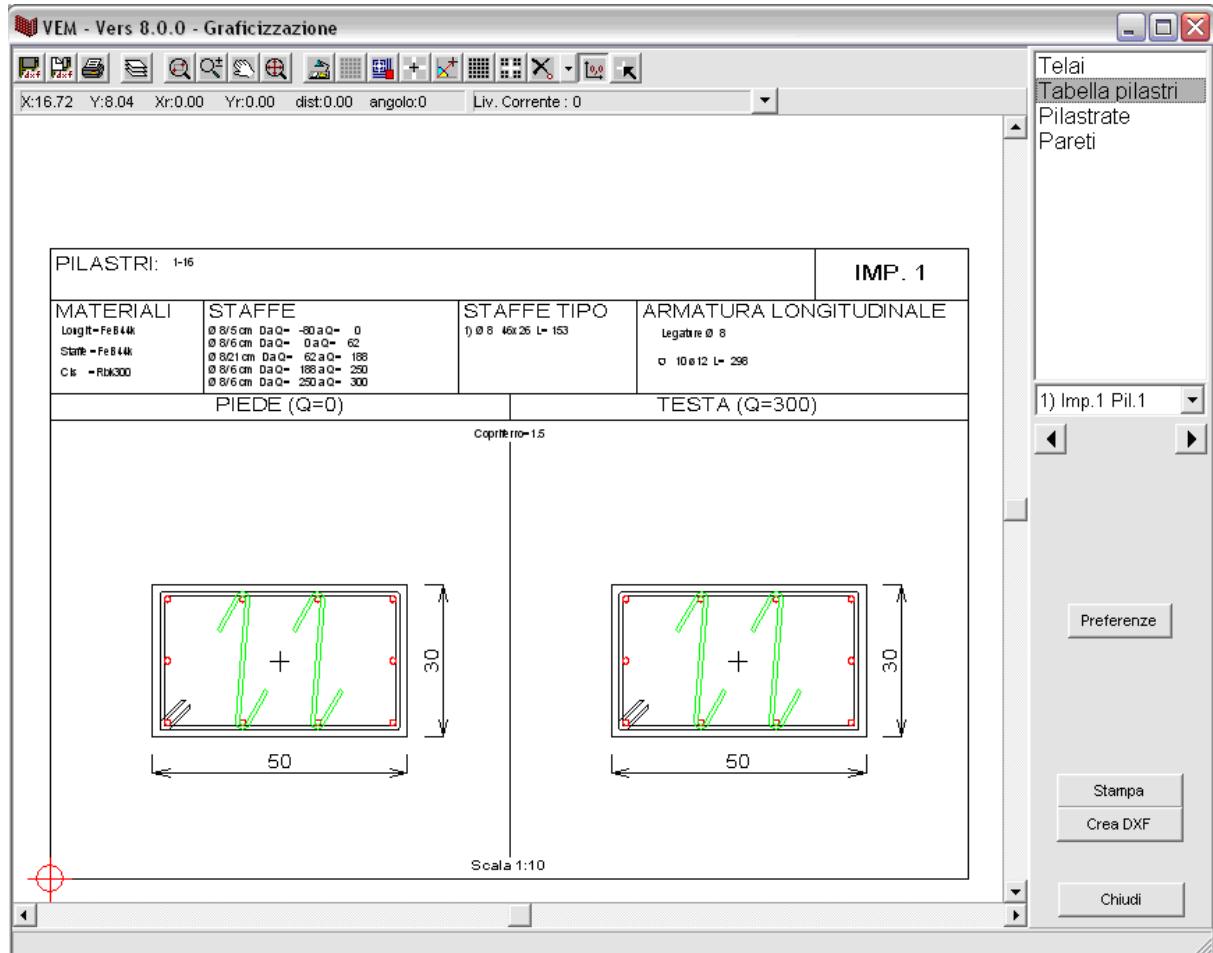
Cliccando il tasto “**Travi/Cordoli c.a.**” e avanzando o indietreggiando utilizzando le frecce, è possibile visionare i telai definiti dall'input attraverso il comando “definizione telai”. Se non viene definito nessun telaio il programma genera gli elaborati esecutivi per ogni trave o cordolo c.a.. Nel caso in cui una stessa campata (da appoggio a appoggio) realizzata con più aste non presenta discontinuità (sezione diverse o innesti laterali di altre travi), viene automaticamente graficizzata come unica trave.



Cliccando su “**Muratura Armata**” è possibile visionare gli elaborati relativi alle armature della muratura armata. Negli elaborati viene riportato il quantitativo ed il posizionamento dell’armatura verticale ed il quantitativo ed il posizionamento delle armature orizzontali. Il posizionamento di quest’ultimo tipo avviene in termini di ricorsi di mattoni.

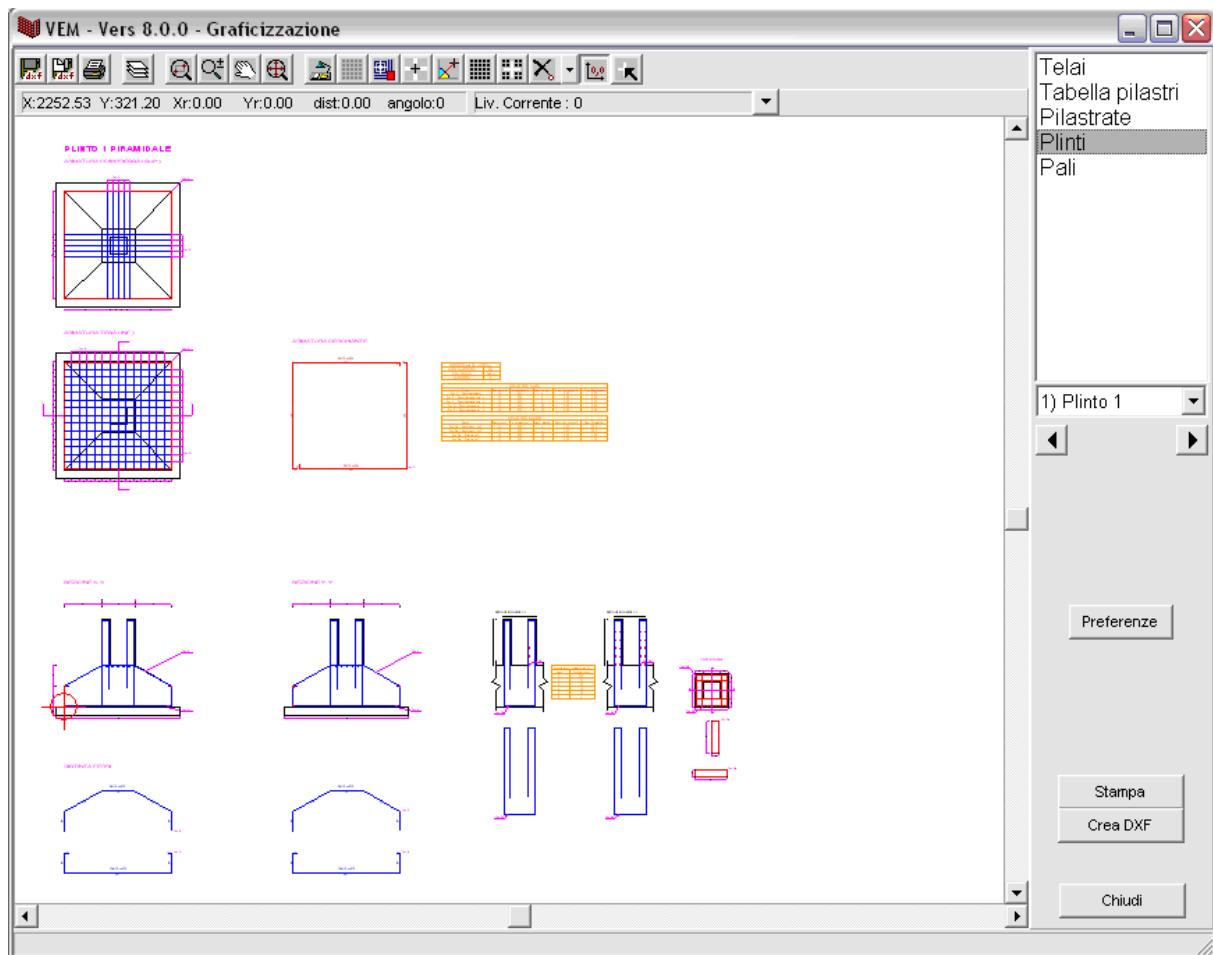


Cliccando su “**Tabella Pilastri**” è possibile visionare i dati relativi alle sezioni dei pilastri, posti sotto forma di tabella. Nella tabella sono contenuti tipo di materiale, diametri armature longitudinale e staffe, legature, ecc.

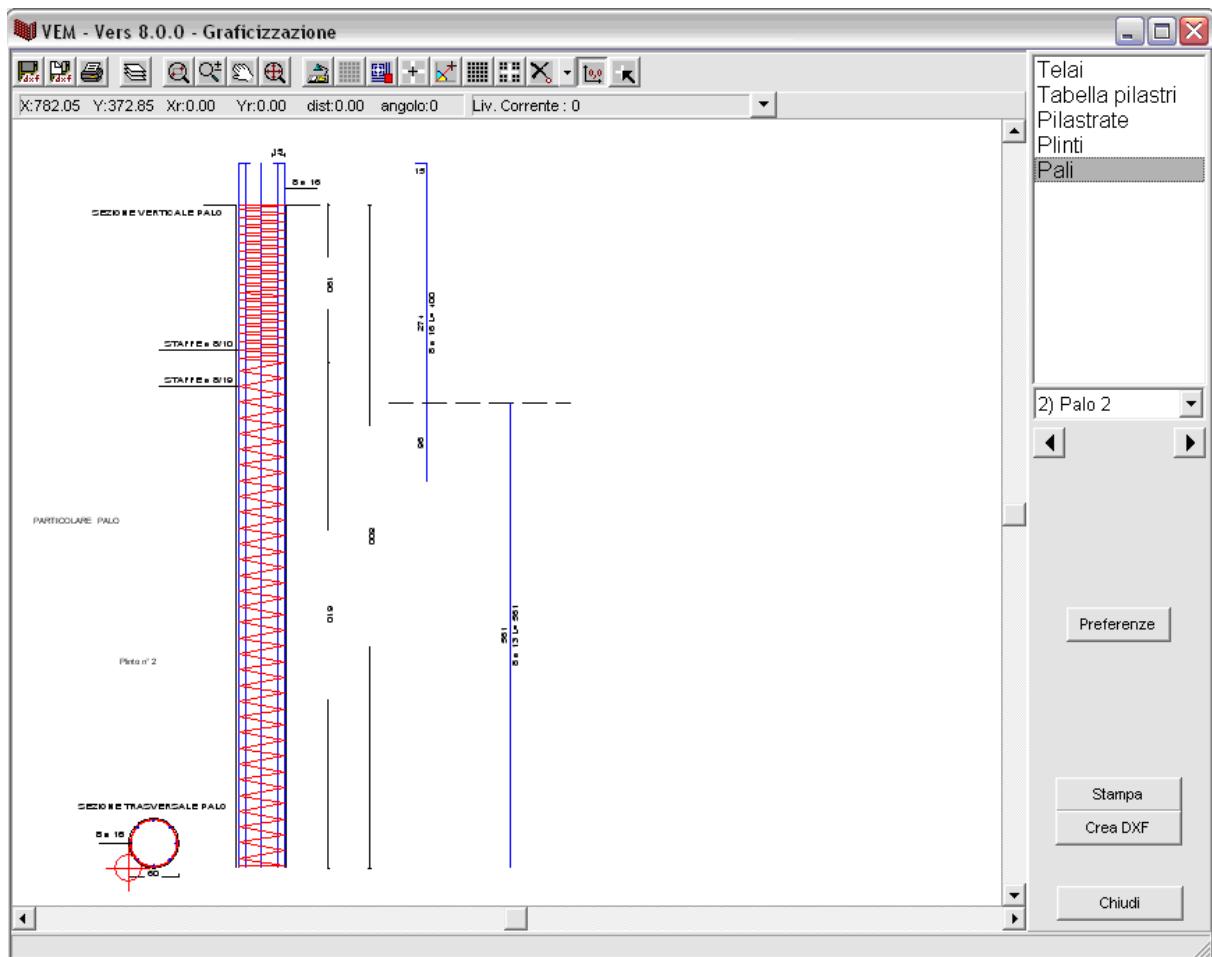


Cliccando su “**Plinti**” è possibile visionare i dati relativi ai Plinti:

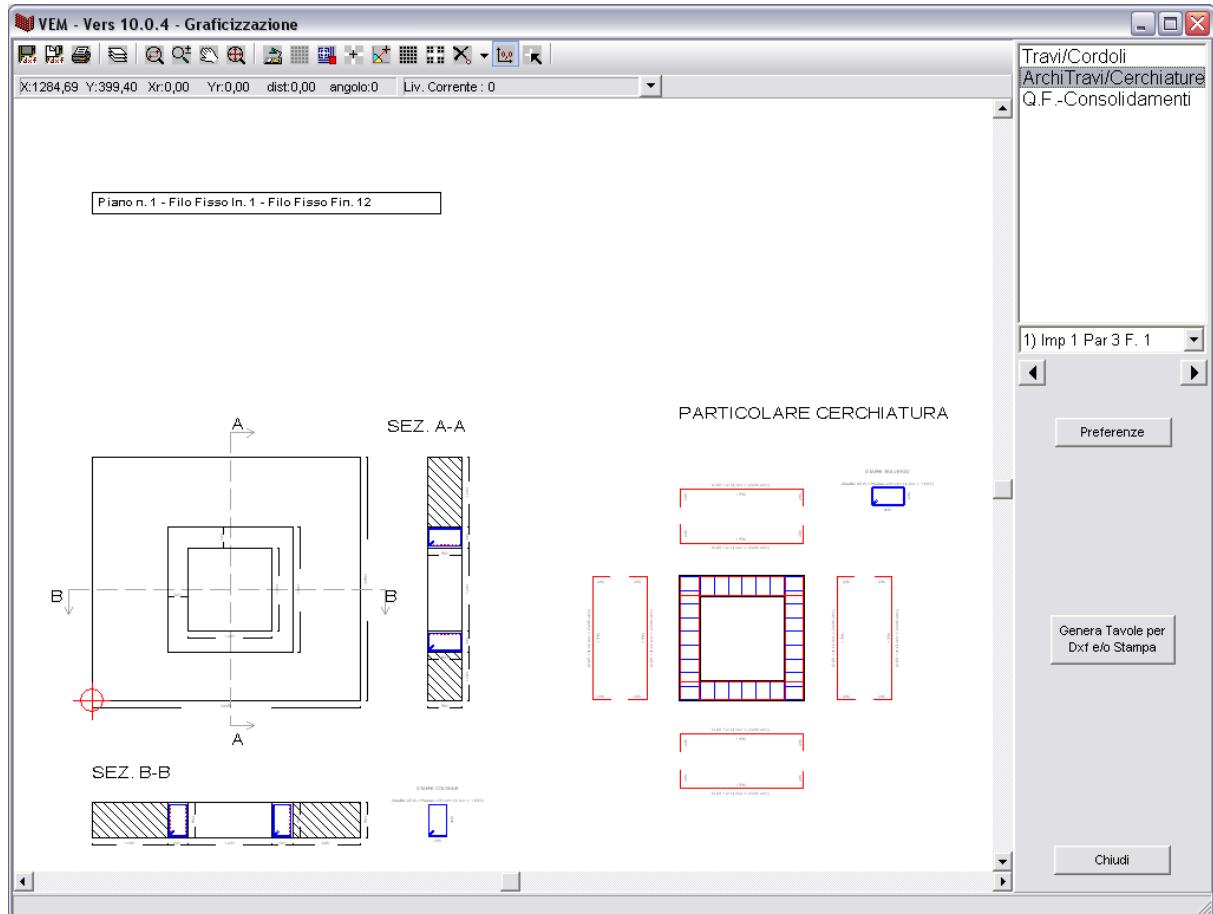
Se presenti, è possibile visionare, stampare ed esportare in dxf gli elaborati grafici esecutivi dei plinti, cliccando sul pulsante “Plinti”.



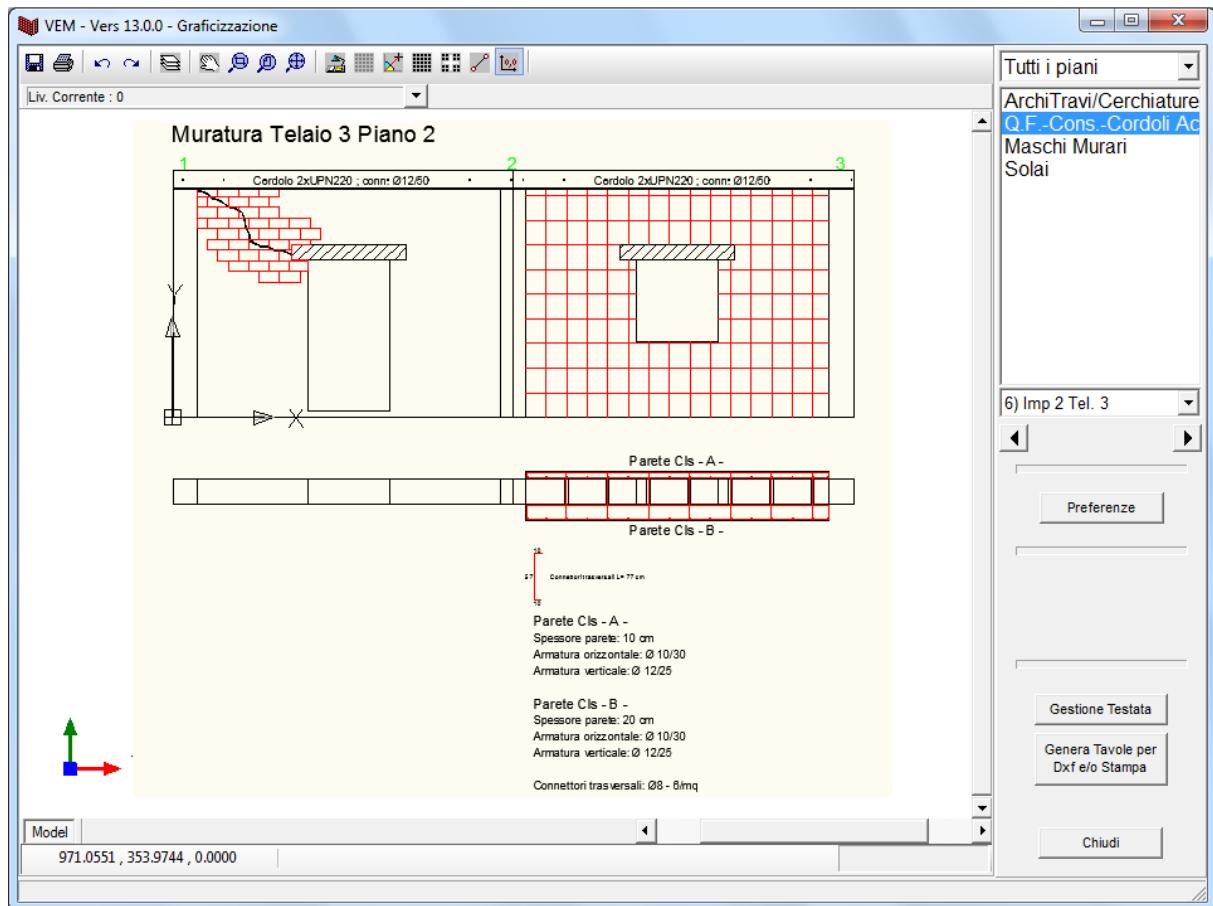
Cliccando su “**Pali**” è possibile visionare i dati relativi ai Pali : Se presenti, è possibile visionare, stampare ed esportare in dxf gli elaborati grafici esecutivi dei plinti, cliccando sul pulsante “Pali”.



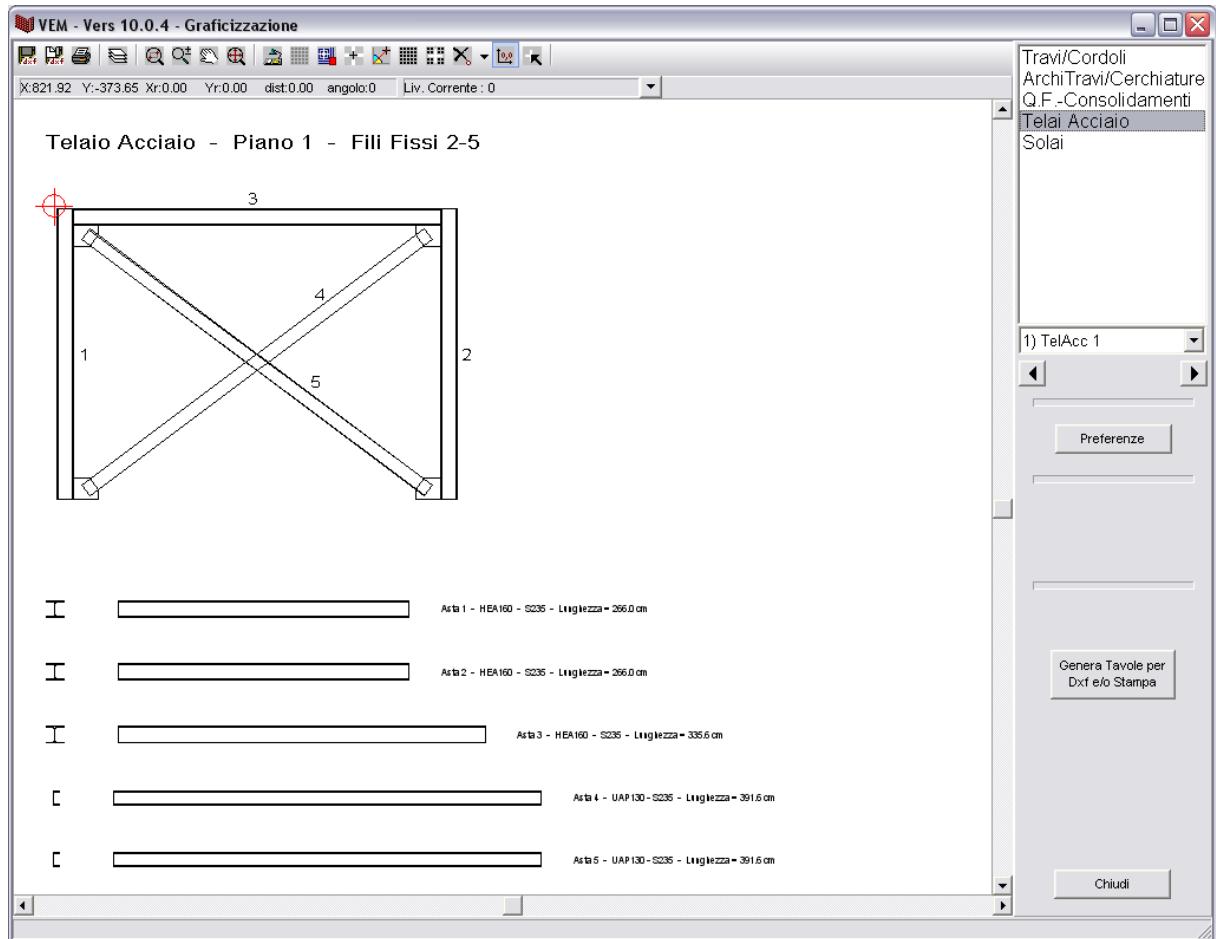
Cliccando il tasto “**Architravi/Cerchiature**” e avanzando o indietreggiando utilizzando le frecce, è possibile visionare eventuali architravi o cerchiature. Per visualizzare le architravi e le cerchiature occorre l'apposito modulo che li calcola.



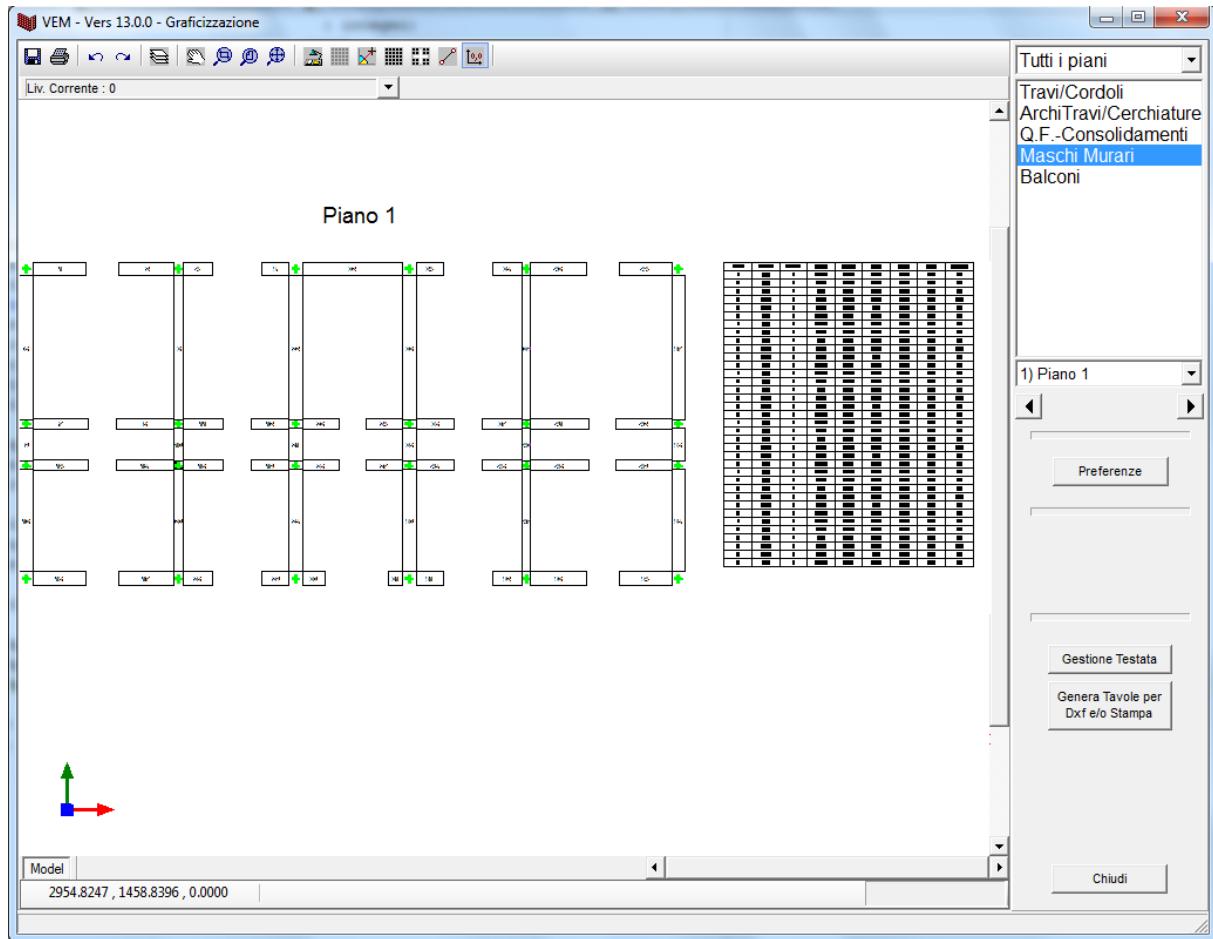
Cliccando il tasto “Q.F. – Cons. – Cordoli Acc” e avanzando o indietreggiando utilizzando le frecce, è possibile visionare il quadro fessurativo, gli eventuali interventi di consolidamento applicati sulla struttura ed i cordoli in acciaio e legno. Per visualizzare i consolidamenti occorre l'apposito modulo CoS – Consolidamento Strutturale.



Cliccando il tasto “**Telai acciaio**” e avanzando o indietreggiando utilizzando le frecce, è possibile visionare il particolare di tutti i telai metallici utilizzati per il consolidamento strutturale.

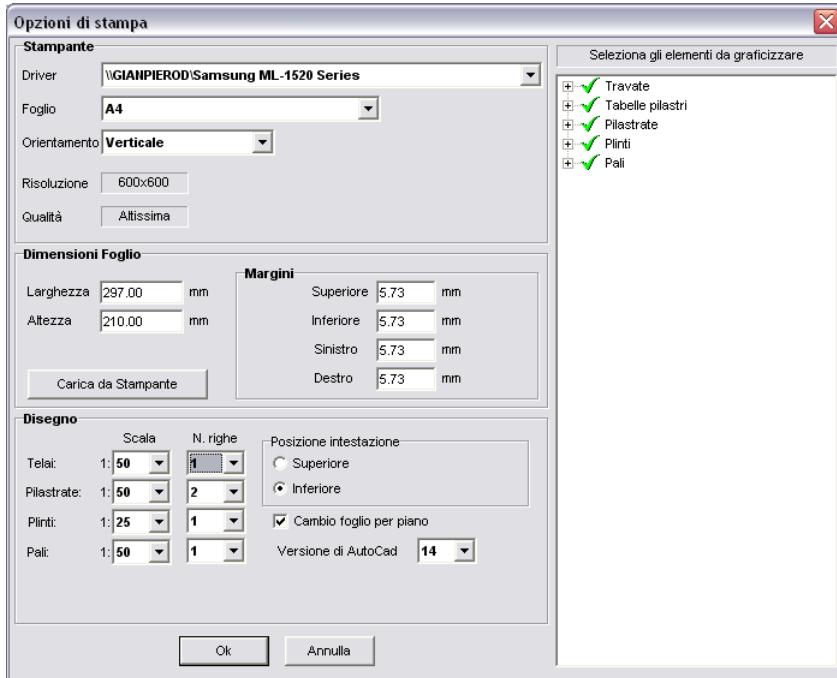


Cliccando il tasto “**Maschio murari**” e avanzando o indietreggiando utilizzando le frecce, è possibile visionare il posizionamento di tutti i maschi murari in pianta per ogni piano della struttura. Nella tabella vengono riportati tutti i dati necessari per individuare univocamente la geometria dei maschi stessi.



## Stampa su file dxf o stampante

Per scegliere i parametri di stampa basta cliccare sul pulsante “Stampa”. Alla pressione del pulsante corrispondente viene visualizzata la seguente schermata:



Le impostazioni presenti in tale ambiente sono le seguenti:

Stampante:

- **driver** : impostazione della stampante da utilizzare per la stampa;
- **foglio** : dimensioni del foglio da utilizzare;
- **orientamento** della stampa;
- **risoluzione** : risoluzione di stampa definita dal driver della stampante;
- **qualità** : qualità di stampa definita dal driver.

Dimensioni foglio:

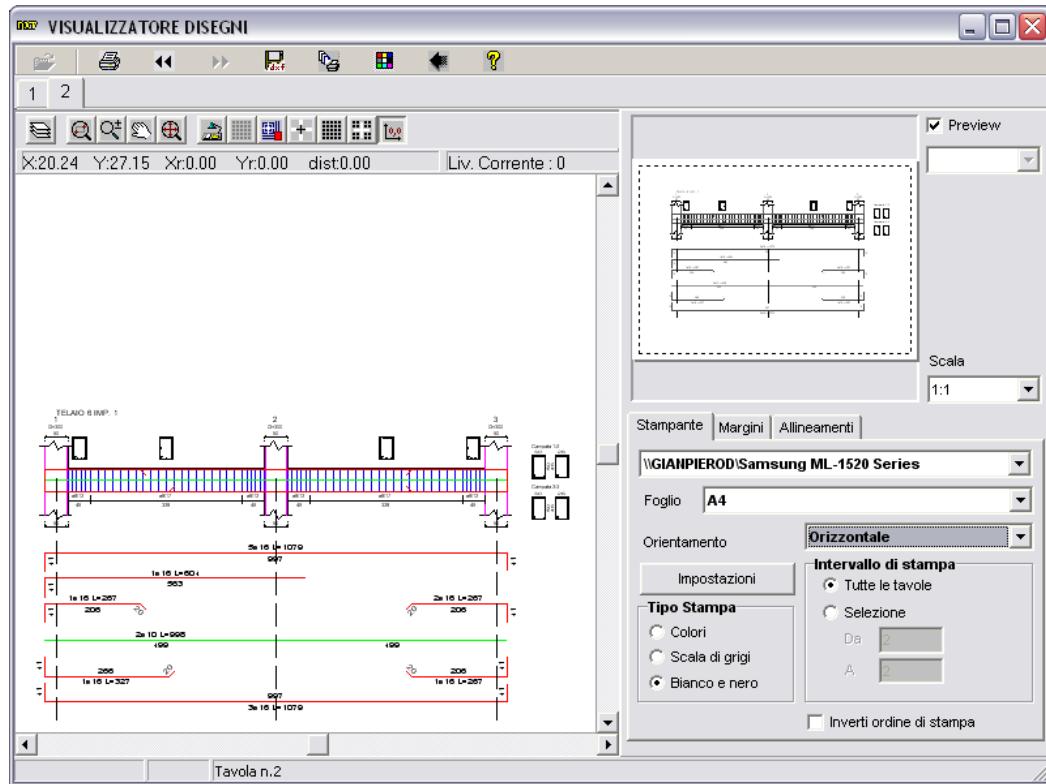
- **larghezza**;
- **altezza**;
- **carica da stampante** : se cliccato carica le dimensioni del foglio direttamente dal driver della stampante;
- **margini** superiore, inferiore, sinistro, destro.

Disegno:

- **scala di stampa** di telai, pilastrate, plinti, pali di fondazione;
- **n. righe** : consente di dividere il foglio in più righe per impaginare automaticamente i disegni;
- **posizione intestazione** : utile a posizionare l'intestazione rispetto agli angoli del foglio;
- **cambio fogli** : organizza gli elaborati in base al piano di appartenenza degli elementi;
- **versione di Autocad** : consente di definire il formato di salvataggio rispetto alla versione di Autocad scelta.

Nello stesso ambiente è possibile scegliere, attraverso il diagramma ad albero, gli elementi da graficizzare.

Alla fine della generazione dei disegni, verrà aperto l'ambiente in cui è possibile gestire i fogli da elaborare:



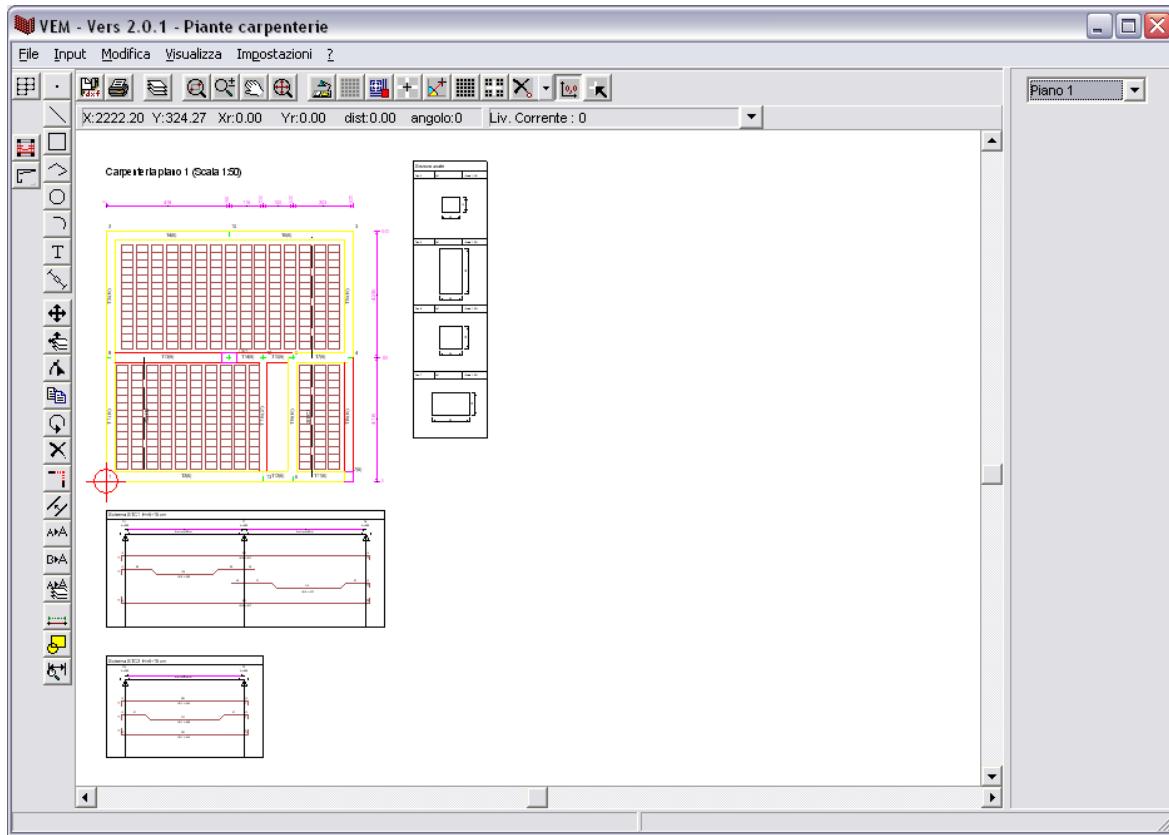
Nella sezione a sinistra della maschera è presente l'ambiente di visualizzazione dove è possibile visionare gli elaborati prima che vengano stampati. Attraverso il tasto "Impostazioni" è possibile settare la stampante direttamente dal driver. È possibile invertire l'ordine di stampa, settare i margini e il posizionamento rispetto all'origine del disegno.

Lo stesso ambiente viene aperto anche se viene cliccato il tasto "Crea Dxf", utile a creare i file di tipo dxf utilizzati dalle varie versioni di Autocad.

#### 1.2.4.8 – Carpenterie

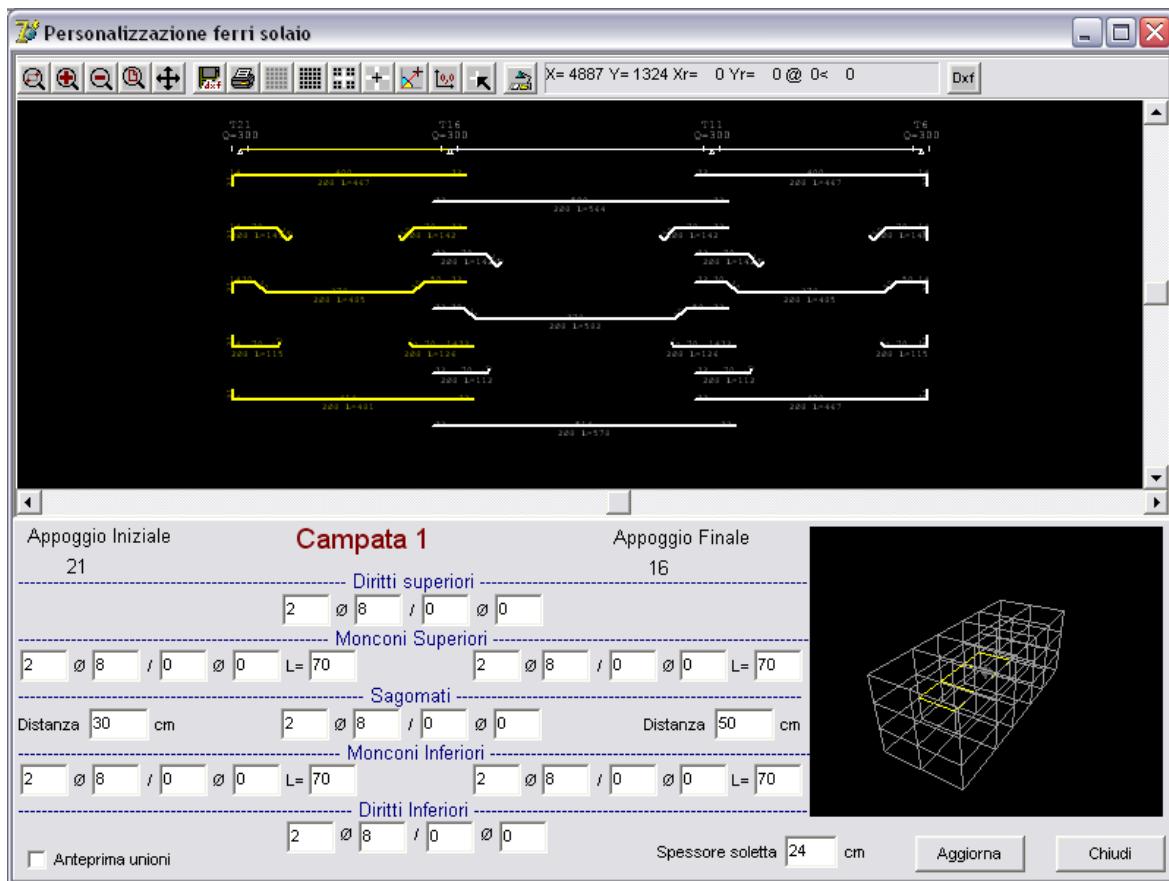
Il comando contrassegnato dall'icona consente la creazione delle piante di impalcato della struttura nonché gli elaborati esecutivi dei solai a trave continua nel caso in cui si fossero utilizzati dei solai a trave continua. Quest'ultima funzionalità è subordinata alla presenza del modulo n.° 12 "Solai a trave continua con diagrammi e deformate".

L'ambiente "Carpenterie" contiene tutte le funzionalità presenti nel modulo CAD di STACEC: inserimento di punti, linee, box, polilinee, circonferenze, archi, testi, quote, e tutte le funzioni di editing presenti in un qualsiasi CAD.



 Consente di caricare le impostazioni originali e creare la carpenteria originale del piano in cui non sono presenti le modifiche effettuate da CAD. Alla pressione del pulsante viene visualizzata una finestra molto intuitiva in cui vengono impostate la scala di stampa, opzioni di presentazione delle sezioni di travi e pilastri, presenza o meno della disposizione delle pignatte di balconi e solai e degli schemi a trave continua con le armature del travetto.

 Consente di creare un modello di carpenteria sui solai di tipo utente. La forma dei ferri inseriti non è legata a nessun calcolo statico effettuato dal programma. Per accedere alla schermata delle impostazioni dei ferri cliccare sulla maglia di solaio interessato e successivamente cliccare sul foglio nella posizione desiderata, la schermata si presenta nel seguente modo:



I campi presenti consentono di impostare, per ogni tipologia di ferro, il numero ed il diametro da utilizzare, le lunghezze di sagomatura dei ferri. E' possibile utilizzare per la stessa tipologia di ferro due diametri diversi. Per i sagomati è possibile intervenire anche sulla lunghezza delle sagomature all'estradosso del solaio. La casella 'Anteprima unioni' consente di considerare le travate continue in modo da ottimizzare i ferri.

 Consente di creare un modello di carpenteria sui balconi di tipo utente. La forma dei ferri inseriti non è legata a nessun calcolo statico effettuato dal programma. Per accedere alla schermata delle impostazioni dei ferri cliccare sulla sagoma del balcone interessato e successivamente cliccare sul foglio nella posizione desiderata. Viene visualizzata una schermata in cui inserire il numero ed il diametro dei ferri presenti nel balcone.

### 1.2.5 – Menu Help

Il menu "Help" contiene la guida di utilizzo di VEM<sub>NL</sub> con sommario, indice, funzioni di "cerca". Una importante funzionalità presente in VEM<sub>NL</sub> è il richiamo della guida da ogni ambiente in cui ci si trova. Infatti premendo il pulsante della tastiera "F1" verrà automaticamente visualizzata la guida in linea posizionata all'argomento inherente all'ambiente che si sta visualizzando. Ciò consente un notevole risparmio di tempo nella ricerca dell'argomento che si vuole approfondire.

Nello stesso menu, alla voce "Informazioni su VEM<sub>NL</sub>", sono contenuti dati del produttore, il nome di intestazione della licenza e la versione di VEM<sub>NL</sub> che si sta utilizzando.

La terza voce presente nel menu riguarda le novità inserite nella versione corrente rispetto alla precedente versione.

### 1.3 – La visualizzazione 3D.

Come accennato in precedenza la struttura viene visualizzata (e “modellata”) in ambiente tridimensionale. I richiami ai comandi del “Mondo 3D” sono contenuti nei seguenti ambienti:

- **Visione 3D;**
- **Modellazione 3D;**
- **Diagrammi e deformate;**
- **Visualizza risultati verifiche;**
- **Unioni di forza.**

Il motore grafico utilizzato per la creazione del “Mondo 3D” è basato sulle librerie grafiche OpenGL. Negli argomenti che seguiranno verranno affrontati i comandi comuni a tutti gli ambienti di visualizzazione tridimensionale.

#### Comandi di visualizzazione

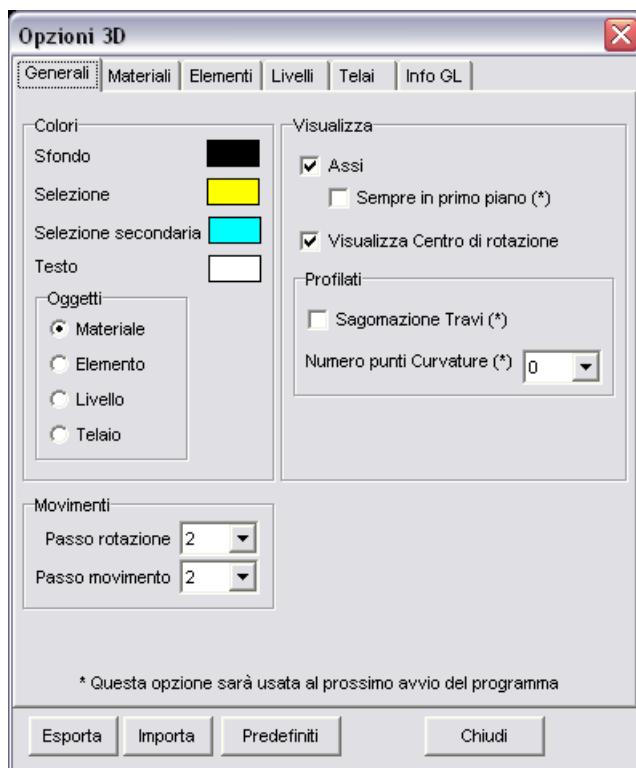
Tutti comandi descritti sono attuabili, oltre che nelle modalità descritte, anche spostando il puntatore e contemporaneamente mantenendo cliccato il tasto sinistro del mouse.

-  Sposta verso sinistra il punto di vista. La stessa funzione è associata al “tasto cursore” “freccia sinistra”.
-  Sposta verso destra il punto di vista. La stessa funzione è associata al “tasto cursore” “freccia destra”.
-  Sposta in alto il punto di vista. La stessa funzione è associata al “tasto cursore” “freccia sù”.
-  Sposta in basso il punto di vista. La stessa funzione è associata al “tasto cursore” “freccia giù”.
-  Sposta il punto di mira ruotando in senso antiorario (sulla sinistra della struttura). La stessa funzione è associata al “tasto cursore” “freccia sinistra” premuto contemporaneamente a “SHIFT”.
-  Sposta il punto di mira ruotando in senso orario (sulla destra della struttura). La stessa funzione è associata al “tasto cursore” “freccia destra” premuto contemporaneamente a “SHIFT”.
-  Sposta in alto il punto di mira. La stessa funzione è associata al “tasto cursore” “freccia sù” premuto contemporaneamente a “SHIFT”.
-  Sposta in basso il punto di mira. La stessa funzione è associata al “tasto cursore” “freccia giù” premuto contemporaneamente a “SHIFT”.
-  Consente di avvicinare il punto di vista rispetto alla posizione della struttura. La stessa funzione è associata al tasto “Pag. sù”.
-  Consente di allontanare il punto di vista rispetto alla posizione della struttura. La stessa funzione è associata al tasto “Pag. giù”.
-  Consente di ingrandire ciò che viene racchiuso nell'apposito box.
-  Consente di posizionare il punto di vista in modo che si abbia la vista dell'intera struttura.



Consentono di visualizzare la struttura da diversi punti di vista

Consente di settare le impostazioni di visualizzazione. Alla pressione del tasto viene visualizzata la seguente maschera:



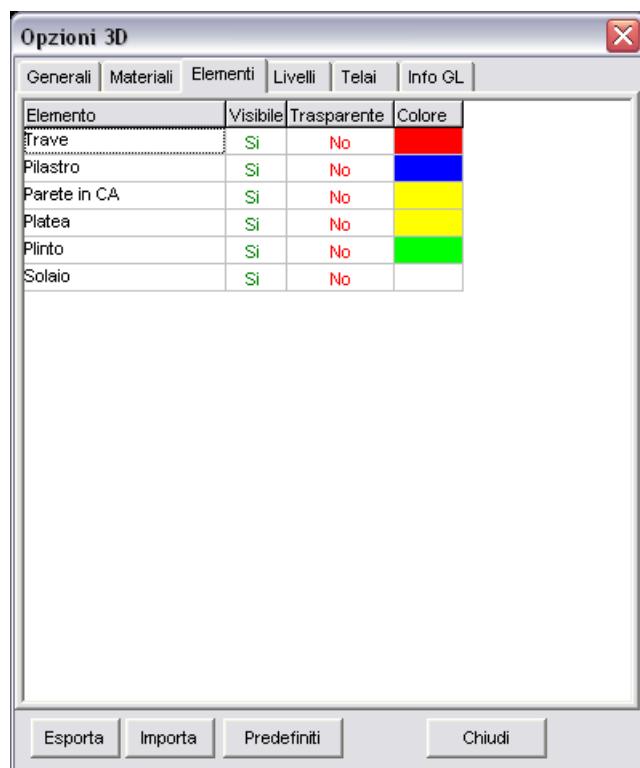
Il pannello “**Generali**” contiene le impostazioni relative a:

- **Visualizzazione degli assi** (con opzione **sempre in primo piano**);
- **Visualizzazione del centro di rotazione**;
- **Opzioni di visualizzazione dei profili** (con o senza **curvatura e sagomazioni**)
- **Impostazione del passo di rotazioni e movimenti**;
- **Criterio di visualizzazione dei colori** (**Materiale**, **Elemento**, **Livello**, **Telaio**);
- **Scelta dei colori dello sfondo, della selezione (primaria e secondaria), del testo**;
- **Scelta del livello dei dettagli**.

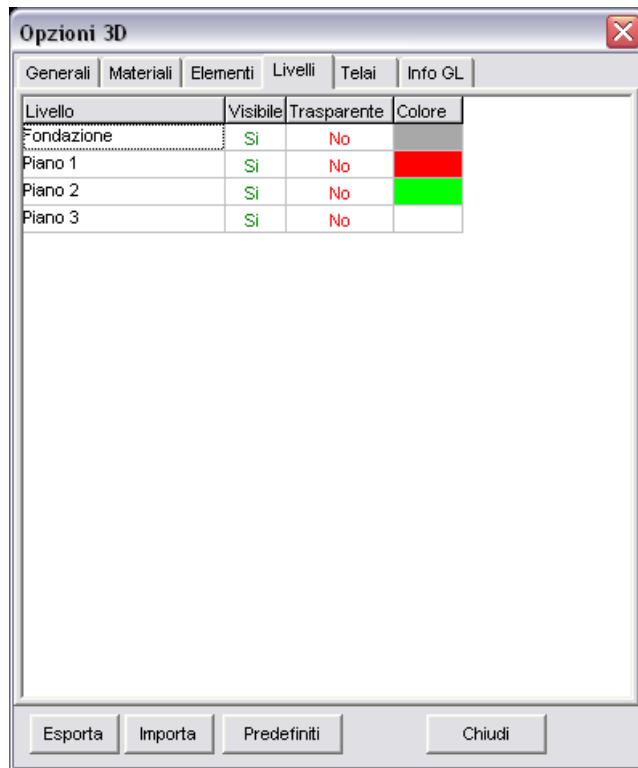
Il pannello “**Materiali**” contiene le impostazioni relative alla visibilità, la trasparenza e il colore dei materiali presenti nell’archivio corrente. I materiali non usati non verranno visualizzati nella lista.



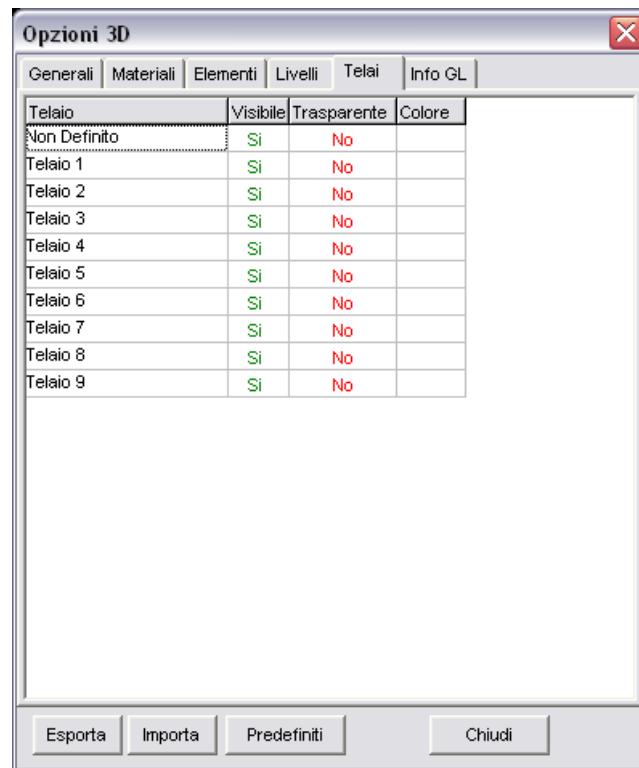
Il pannello “**Elementi**” contiene le impostazioni relative alla visibilità, la trasparenza e il colore dei di nodi, aste, piastre. Anche questa lista viene automaticamente riempita con gli elementi presenti.



Il pannello “**Livelli**” contiene le impostazioni relative alla visibilità, la trasparenza e il colore dei piani della struttura.



Il pannello “**Telai**” contiene le impostazioni relative alla visibilità, la trasparenza e il colore dei telai precedentemente definiti. Alla voce “non definiti” appartengono tutti gli elementi che non appartengono a nessun telaio già definito.



Il cambio di tutti i valori di settaggio delle tabelle si effettua con il doppio clic sulla casella voluta. L'ultimo pannello “**Info GL**” contiene le informazioni sul produttore dei driver OpenGL , la versione delle librerie utilizzate e il tipo di accelerazione grafica utilizzata (software o hardware).

In fondo alla maschera sono presenti le funzioni relative a:

- **Esporta** (consente di salvare su file le impostazioni correnti);
- **Importa** (consente di aprire da file le impostazioni);
- **Predefiniti** (ripristina le impostazioni di default);
- **Chiudi** (chiude la maschera).



Consente di salvare l'immagine corrente in formato bitmap;



Consente di salvare la struttura in formato tridimensionale dxf di Autocad;



Consente di stampare la visualizzazione corrente della struttura;

## 1.4 – L'Input Grafico.

L'input principale di VEM<sub>NL</sub> è basato secondo la logica ad impalcati. La struttura viene percorsa verticalmente selezionando l'impalcato attivo dal menu a tendina presente nella toolbar in alto. L'input grafico si raggiunge cliccando sul menù “Struttura” (Alt + S) e scegliendo la voce “Input Grafico” oppure cliccando sulla seguente icona:



Oltre ai menu presenti anche nell'interfaccia principale, possiamo trovare la barra dei comandi generali di gestione della schermata dell’“Input Grafico”, che verrà illustrata nel capitolo seguente.

### 1.4.1 – Comandi generali dell’“Input Grafico”.

L'input grafico è corredata da comandi generali utili alla migliore visualizzazione di dettaglio delle parti di input. La toolbar in cui sono contenuti i comandi generali è la seguente:



Consente di ingrandire una zona dello schermo racchiusa nell'apposita finestra.



Consente di ingrandire la struttura (zoom positivo).



Consente di ridurre la struttura (zoom negativo).



Effettua il calcolo dello zoom in modo da contenere sullo schermo tutta la struttura.



Consente di spostare la posizione a video della struttura.



Consente di salvare in formato dxf tutto ciò che è contenuto nella finestra “input grafico”.



Consente di stampare tutto ciò che è contenuto nella finestra “input grafico”.

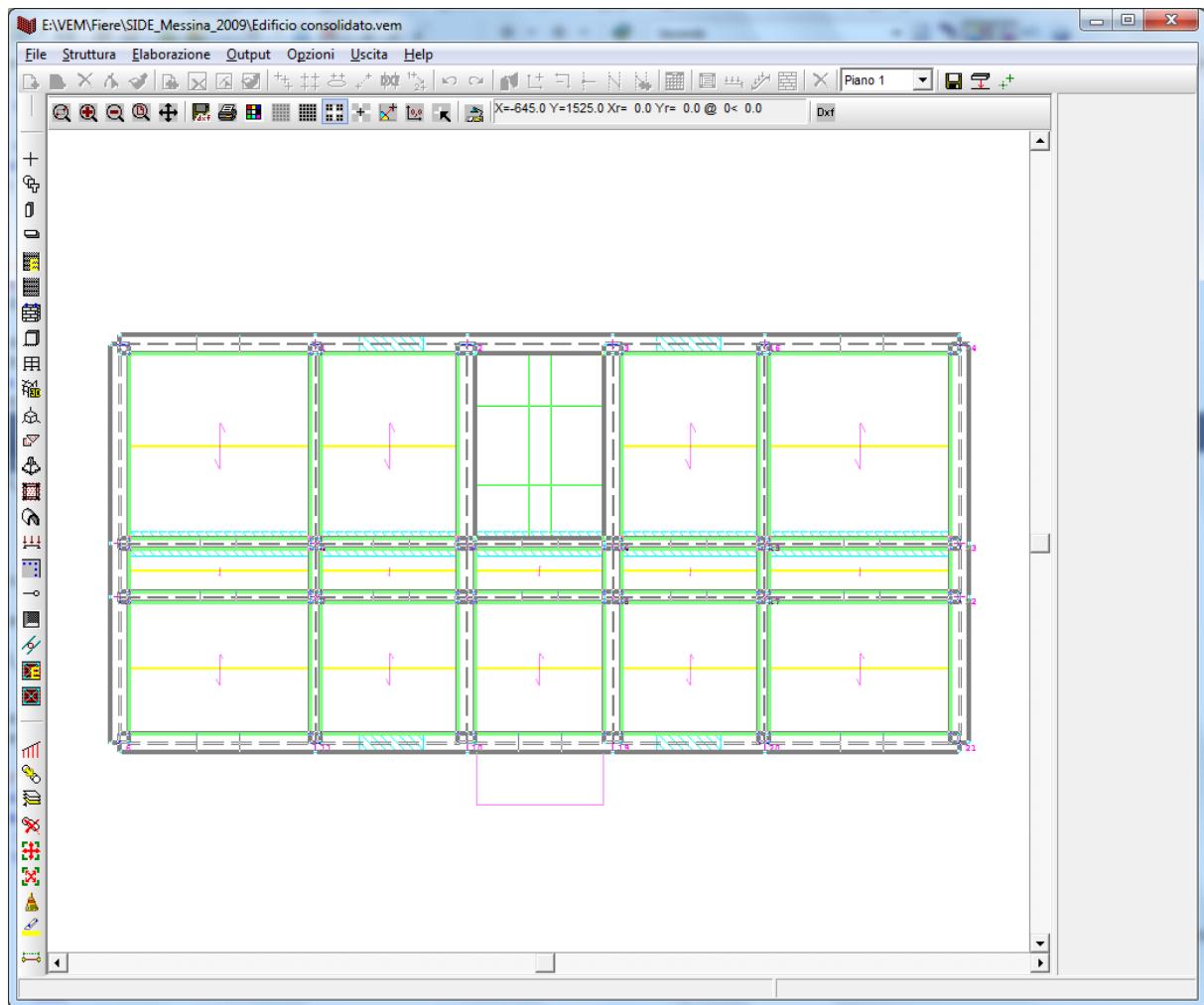
-  Consente di modificare il passo di spostamento del cursore.
-  Abilita o meno la visualizzazione della griglia sullo schermo.
-  Consente di avere posizioni del cursore sempre coincidenti con la griglia.
-  Visualizza permanentemente il cursore a tutto schermo in luogo del puntatore a croce. La stessa funzione può essere attivata temporaneamente tenendo premuto il tasto "control" sulla tastiera.
-  Consente il tracciamento di allineamenti rispetto agli assi ortogonali principali.
-  Abilita o meno la visualizzazione dell'origine degli assi di riferimento.
-  Marca sullo schermo il punto cliccato con il mouse.
-  Effettua il refresh della finestra grafica.
-  Consente di visualizzare un file DXF come sfondo dell'input.

Nella stessa toolbar sono contenute le informazioni sulle coordinate cartesiane (assolute e relative) e polari nel piano di lavoro.

#### 1.4.2 – Funzionamento dell'input.

La logica di inserimento degli elementi strutturali è agevolata dalla sequenza (dall'alto verso il basso) dei pulsanti sulla toolbar dei comandi e dalla praticità resa dall'abilitazione delle sole icone utili all'introduzione e modifica degli elementi.

In questa sezione del manuale verrà spiegato la funzionalità e l'utilizzo delle funzioni grafiche di input nell'ordine indicato dalla toolbar verticale dell'Input Grafico.



#### 1.4.2.1 – Fili Fissi

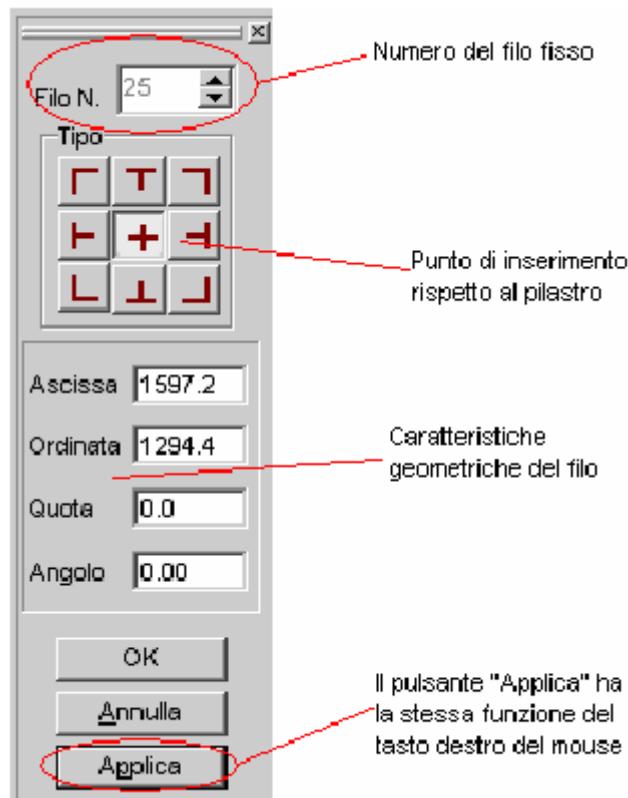
I fili fissi sono lo strumento utile alla definizione degli allineamenti verticali della struttura. Tra i fili fissi vengono inserite le pareti e le travi (ne indicano l'inizio e la fine), inoltre vengono inseriti gli eventuali pilastri.

Non si può realizzare nessun input prescindendo dalla presenza fili fissi.

L'introduzione dei fili fissi, viene abilitata dalla pressione del pulsante con la seguente icona:

La pressione di tale pulsante abilita i seguenti comandi:

**Introduci:** consente l'introduzione singola dei fili fissi cliccando con il puntatore direttamente sul piano di lavoro di VEM<sub>NL</sub>. L'introduzione del filo fisso viene confermato cliccando con il tasto destro sul piano di lavoro. Sul lato destro della schermata compare la maschera riassuntiva delle proprietà del filo, qui riportata:



La conferma dell'inserimento avviene, oltre che dalle modalità prima descritte, anche dalla pressione del pulsante “OK” posto nella maschera riassuntiva delle proprietà.

**Cancella:** abilita la cancellazione del filo fisso selezionato tramite il puntatore del mouse sul piano di lavoro. Il filo fisso selezionato si presenta circoscritto da un quadrato giallo:



La conferma di cancellazione avviene cliccando sul tasto “cancella” posto nella mascherina delle proprietà del filo. Non essendo presente il comando “Annulla”, dopo la cancellazione non si può ripristinare la situazione dopo l'avvenuta cancellazione.

**Modifica:** abilita la modifica delle proprietà del filo fisso. La modifica può essere grafica (riposizionando il filo selezionato in un altro punto) o numerica (modificando i valori delle caselle). La conferma delle modifiche è subordinata alla pressione del tasto destro del mouse o del tasto “Applica”.

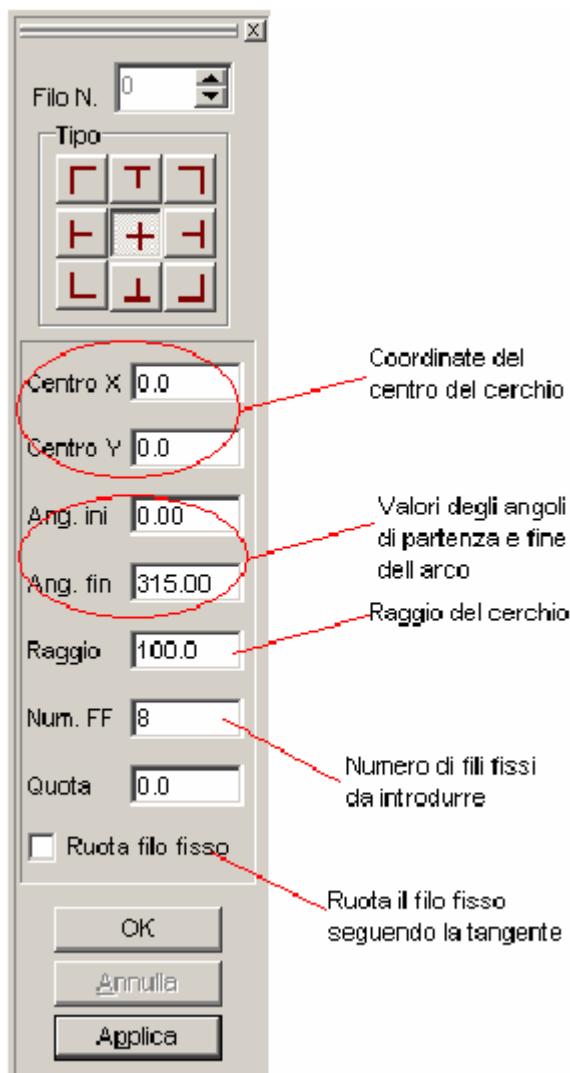
**Copia Proprietà:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente all'elemento destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Cliccando sugli altri elementi verrà effettuata l'operazione di copia. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente cliccare con il tasto destro del mouse.

**Cancella box:** abilita la cancellazione di più fili fissi. I fili fissi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il “box di selezione” si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. La cancellazione avviene cliccando una seconda volta con il tasto sinistro del mouse.

**Modifica box:** abilita la modifica di più fili fissi contemporaneamente. Tale funzione è utile per spostare i fili fissi di quantità desiderate ("Delta X" e "Delta Y"), modificarne la quota o l'angolo di rotazione. La scelta dei fili fissi da modificare avviene tramite il "box di selezione".

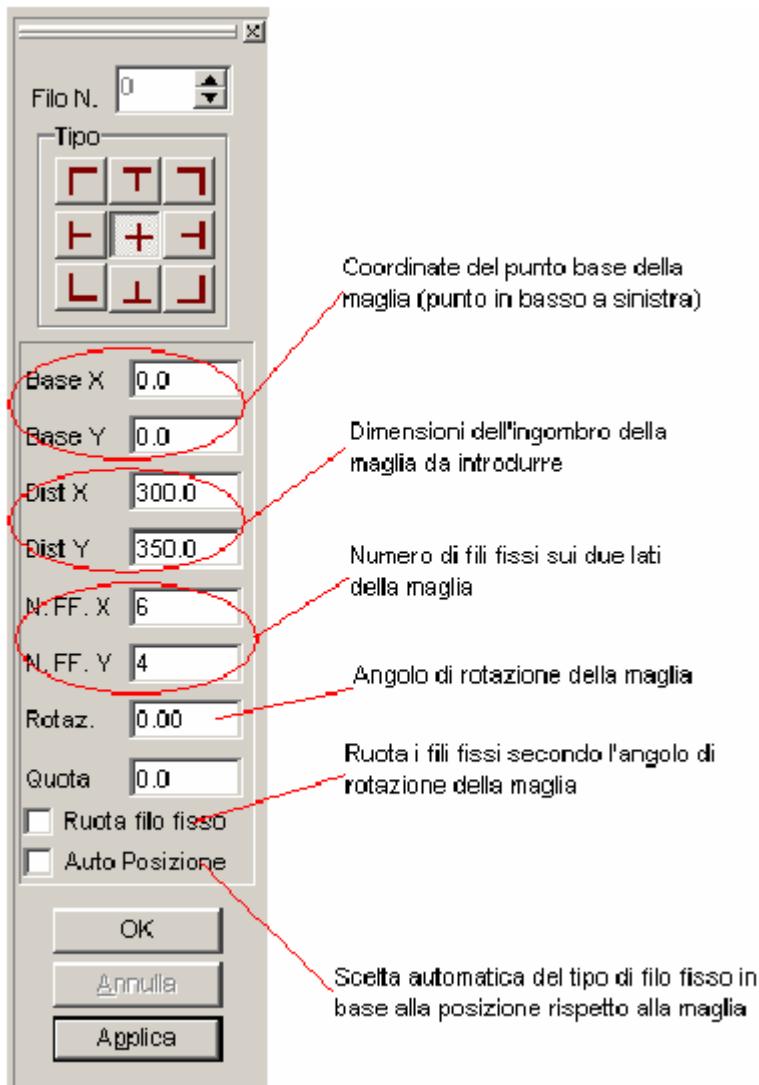
**Copia Proprietà multiplo:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente a più elementi di destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Gli elementi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente bisogna cliccare con il tasto destro del mouse.

**Fili fissi arco:** consente di introdurre un set di fili fissi posti a distanza costante lungo un arco di circonferenza. I parametri vengono immessi attraverso la seguente maschera:



L'inserimento avviene cliccando sul tasto "Applica".

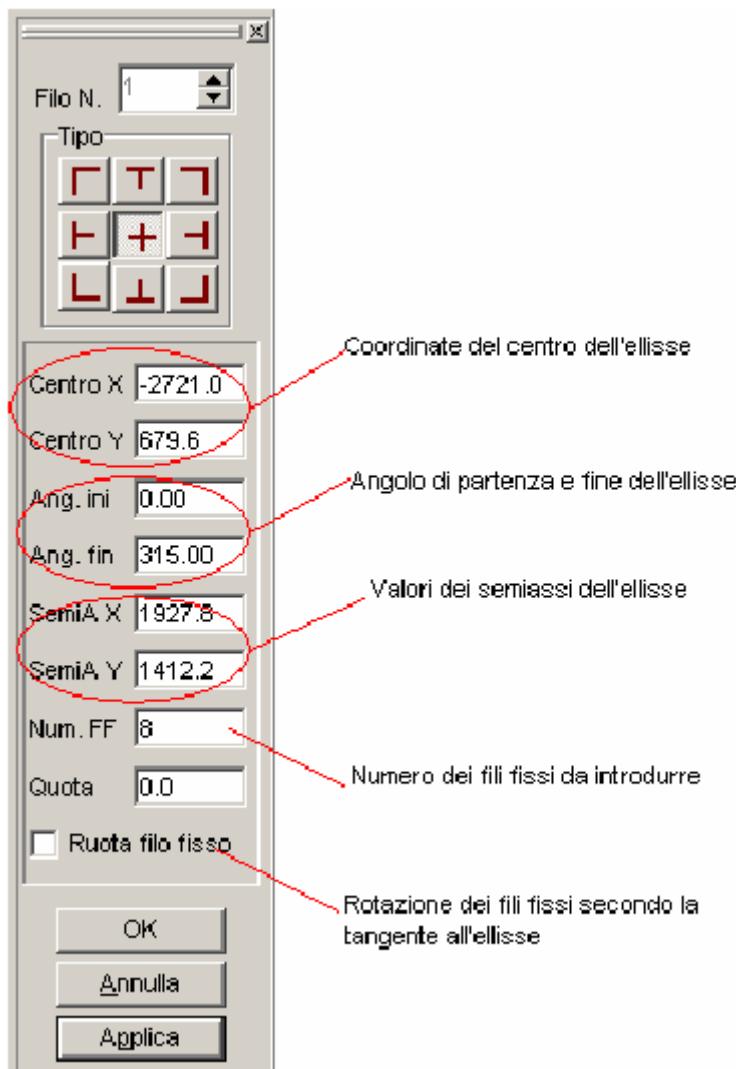
**Fili fissi maglia:** Consente l'introduzione di un set di fili fissi disposti secondo una maglia comunque orientata nel piano. Le distanze di ripetizione possono essere diverse nelle due direzioni. I parametri vengono immessi attraverso la seguente maschera:



L'inserimento avviene cliccando sul tasto "OK". Il tasto "Applica" è relativo alla visualizzazione in anteprima dell'inserimento da realizzare.



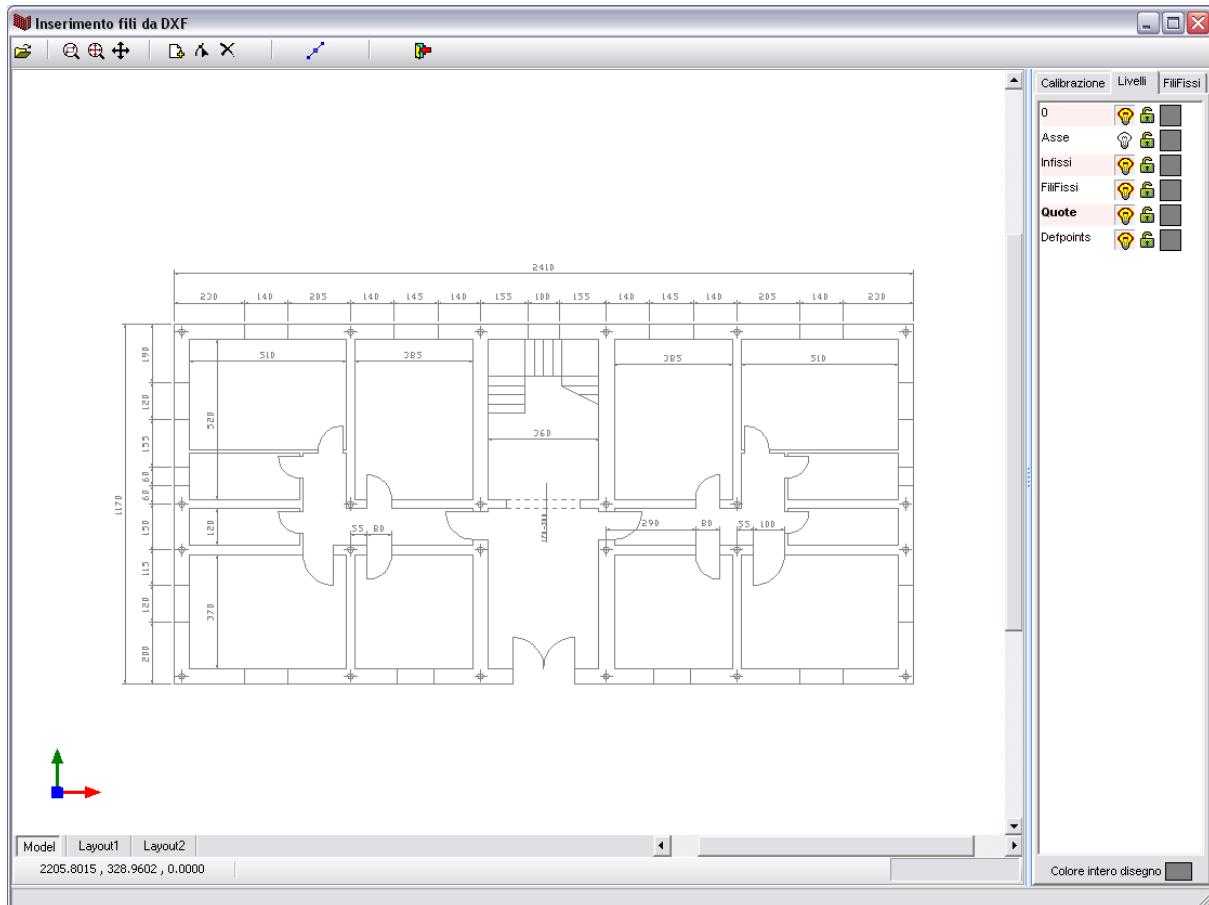
**Fili fissi ellisse:** Consente l'introduzione di un set di fili fissi disposti secondo un'ellisse. I parametri vengono immessi attraverso la seguente maschera:



L'inserimento avviene cliccando sul tasto "OK". Il tasto "Applica" è relativo alla visualizzazione in anteprima dell'inserimento da realizzare.



**Fili fissi da dxf/dwg (versione VectorDraw)** : dalla versione 9.0.0 è possibile utilizzare l'ambiente avanzato di inserimento dei fili. La presenza dell'ambiente è subordinata al modulo di installazione "VdrawDevFrameWork". Inoltre, installando anche il componente aggiuntivo "vdLiteFileConverter", sarà possibile importare anche file dwg di Autocad compresa la versione 2007.



La “**Calibrazione**” del rapporto di scala avviene utilizzando il comando “Distanza Riferimento”, misurando una qualsiasi distanza conosciuta. Una volta visualizzata la dimensione letta dal comando (nel campo “Disegno” del pannello “Calibrazione”) si inserisce la lunghezza reale confermando con il pulsante “**Applica**”.

Il dxf (o dwg) visualizzato può essere ruotato cliccando sul pulsante “Ruota” e disegnando direttamente sull'input la direzione dell'asse X. Allo stesso modo è possibile spostare l'origine del dxf. Lo spostamento avviene selezionando il comando “Sposta origine”, cliccando direttamente sul punto dove impostare la nuova origine, con la possibilità di spostare anche i fili fissi precedentemente inseriti. Per visualizzare meglio il dxf inserito è possibile sceglierne il colore e impostare i colori dei fili fissi esistenti (già inseriti dall'input grafico) e aggiunti.

Una volta effettuate queste operazioni si passa al pannello **“Livelli”** in cui si scelgono i layer da visualizzare tra quelli presenti nel file dxf.

I comandi utili ad effettuare le operazioni sono presenti nella barra degli strumenti posta in alto:



Consente di aprire un file dxf da utilizzare come file di background.



Consentono di gestire i comandi di zoom (box, automatico, pan).



Consente l'introduzione dei fili fissi direttamente sul file dxf di background.



Consente la modifica delle proprietà dei singoli fili fissi precedentemente inseriti.



Consente la cancellazione dei fili fissi precedentemente inseriti.

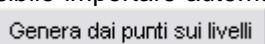
 Attiva la funzionalità di snap sulle linee presenti nel dxf. Al click sul pulsante viene visualizzato l'elenco dei possibili snap nella seguente maschera:



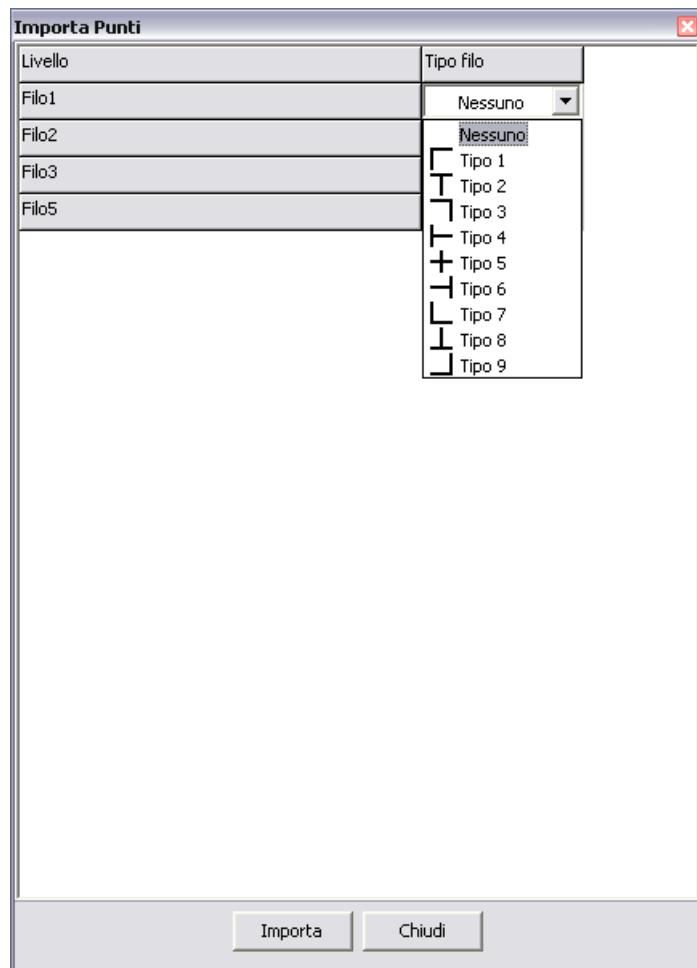
Il significato dei vari snap è analogo alla simbologia classica dei software CAD.

I tipi di filo fisso inseribile sono, come precedente descritti, relativi all'allineamento cercato. Ciò viene riassunto nelle proprietà del filo fisso:



Oltre alle coordinate è possibile definire l'angolo del filo fisso come valore numerico o attraverso il pulsante  indicando sul disegno la direzione del filo fisso. Inoltre è possibile assegnare un colore diverso ai fili fissi già presenti e a quelli inseriti in questa sezione di input.  
L'utente può anche impostare la dimensione del simbolo dei fili fissi.  
Inoltre è possibile importare automaticamente i fili fissi dal file CAD d'origine. Tale funzione è attivata dal pulsante 

Al click viene visualizzata la seguente maschera:



Affinché sia possibile importare automaticamente i fili, nel file dxf/dwg devono essere inseriti oggetti “punto” alle coordinate in cui introdurre i fili fissi, e associati a layer diversi in funzione del tipo di allineamento da seguire. VEM<sub>NL</sub> automaticamente creerà l’elenco dei layer che contengono i punti e darà la possibilità di associare al nome del layer il tipo di filo fisso voluto, in base al menu a tendina riportato nella precedente figura.

Infine cliccando sul comando “Importa” verranno inseriti i fili fissi automaticamente senza passare dal comando “Introduci”. Il corretto posizionamento automatico dei fili fissi è sempre subordinato alle procedure di calibrazione riportate precedentemente.

<sup>1+</sup>

**Rinumerazione dei fili fissi:** consente la rinumerazione dei fili fissi secondo le seguenti logiche:

1. Per telaio;
2. Orizzontale da sinistra verso destra e dal basso verso l’alto;
3. Orizzontale da sinistra verso destra e dall’alto verso il basso;
4. Verticale da sinistra verso destra e dal basso verso l’alto;
5. Verticale da sinistra verso destra e dall’alto verso il basso;
6. Manuale.

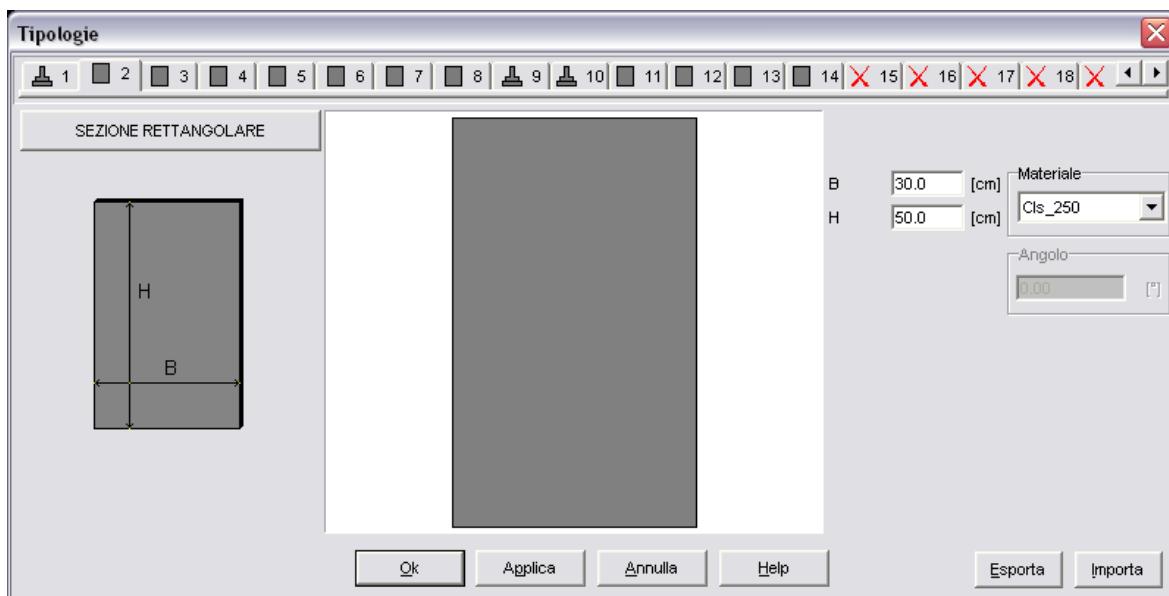
Nel caso di impostazione “Manuale”, l’utente dovrà cliccare sui fili fissi secondo l’ordine di numerazione voluta. Il parametro “Fascia tolleranza” è utilizzato per le modalità di rinumerazione automatica.

### 1.4.2.2 – Tipologie sezioni

La definizione delle sezioni da utilizzare avviene tramite il tasto che presenta la seguente icona:



Alla pressione del pulsante viene la maschera di definizione delle tipologie:



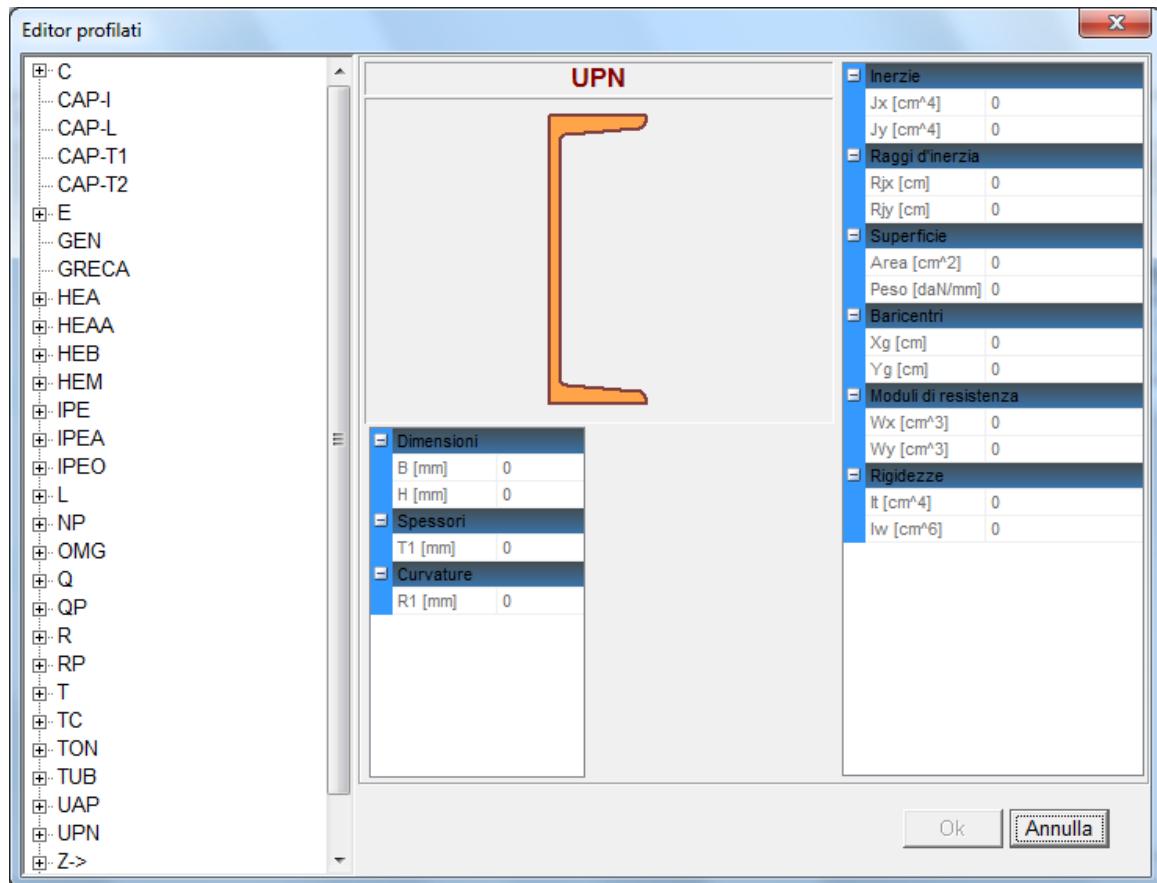
Le tipologie utilizzabili in VEM<sub>NL</sub> sono le seguenti:

- **rettangolare in c.a. o legno**
- **T in c.a.**
- **“di fondazione in c.a.”**
- **“di fondazione non armata in muratura o cls”**
- **in acciaio**
- **composta con doppio profilo in acciaio UAP o UPN con connettori trasversali**

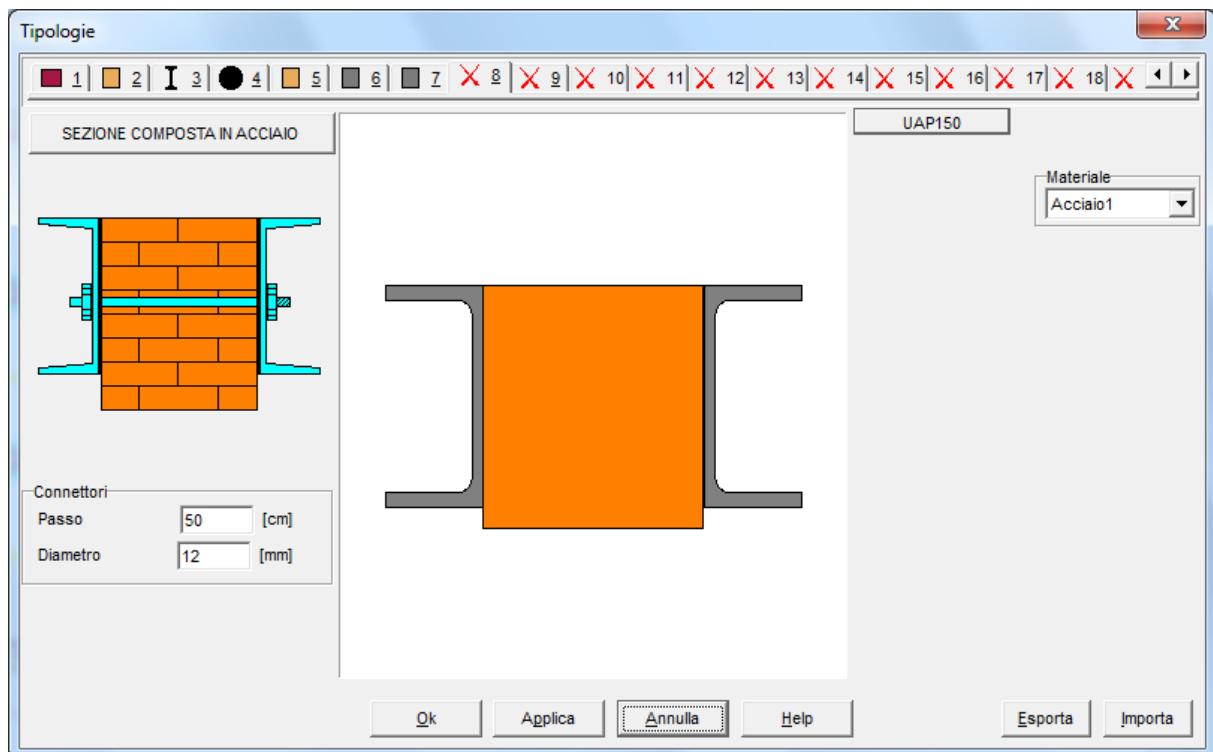
I numero massimo di tipologie inseribili è posto pari a 100.

Le sezioni rettangolare, a T, di fondazione armata e non armata si definisce inserendo i dati relativi alla geometria della sezione trasversale e la tipologia del materiale (come si può vedere dalla precedente immagine).

La sezione in acciaio si definisce semplicemente scegliendo la sezione dal profilatario che compare al momento della scelta della sezione in acciaio (Editor Profilati). Il profilatario prevede un numero elevato di sezioni trasversali. In ogni caso, da apposito ambiente è possibile aggiungere ulteriori sezioni trasversali. Scelta la sezione, bisogna associare il materiale ed un eventuale angolo di rotazione intorno all'asse della trave stessa (vedi immagine successiva). Si rimanda alla sezione "Editor Profilati" per la lista dei profilati presenti e per la gestione degli stessi.



La sezione composta con doppio profilo in acciaio si definisce scegliendo i due profili metalli come visto nel caso precedente per le sezioni in acciaio. Stabilito il profilo bisogna associare un materiale. Infine occorre definire il diametro ed il passo dei connettori trasversali che collegano i due profili metallici.



La conferma dei dati immessi, che avviene attraverso il tasto “Applica”, compare accanto al numero della tipologia il simbolo relativo al tipo di sezione introdotta.

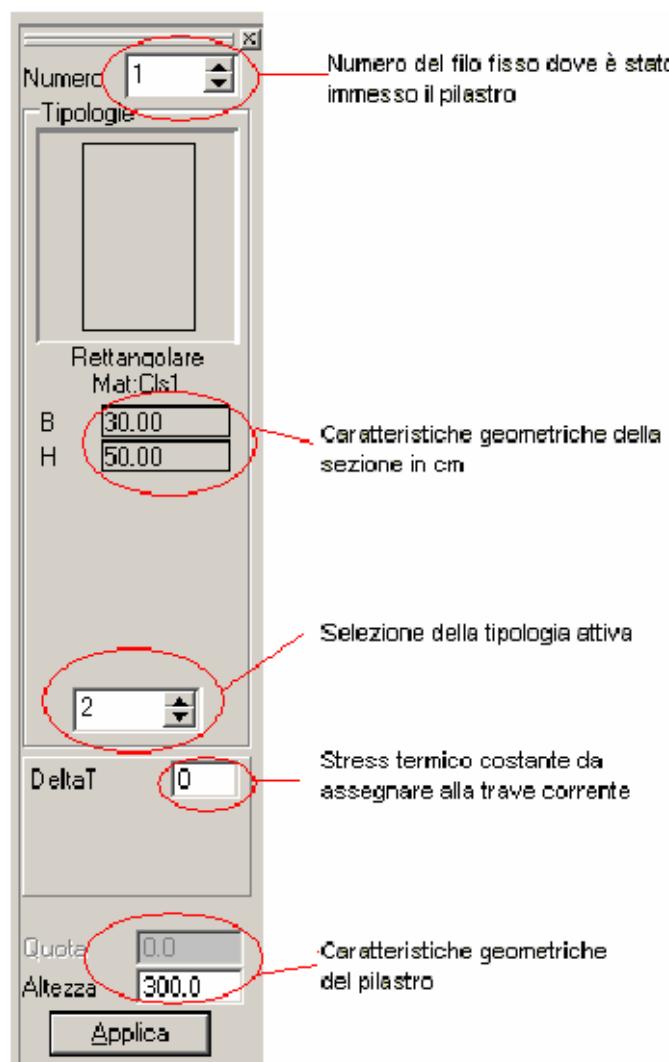
#### 1.4.2.3 – Pilastri

L'introduzione dei pilastri è subordinata alla presenza dei fili fissi (vedi “Introduzione dei fili fissi”) e viene abilitata dalla pressione del pulsante con la seguente icona:



Si ricorda che i pilastri immessi sono riferiti al piano che sta sotto quello attivo, per cui al livello “**fondazione**” tale icona è disabilitata. Questo strumento è utile anche per modellare l'altezza delle pareti. È possibile inserire pilastri in cls, acciaio, legno e muratura.

Alla pressione di tale pulsante compare la maschera riassuntiva delle proprietà del pilastro, qui riportata:



Inoltre vengono abilitate le seguenti funzioni:



**Introduci:** consente l'introduzione singola dei pilastri cliccando con il puntatore direttamente sul piano di lavoro, in corrispondenza del filo fisso selezionato.  
Il filo fisso risulta selezionato quando il puntatore si presenta nel seguente modo:



L'introduzione del pilastro avviene cliccando con il tasto sinistro.



**Cancella:** consente la cancellazione del pilastro selezionato tramite il puntatore del mouse sul piano di lavoro. Il pilastro selezionato si presenta circoscritto dal puntatore appena descritto. La cancellazione avviene cliccando con il tasto sinistro del mouse.



**Modifica:** consente la modifica delle proprietà del pilastro. La modifica avviene selezionando il pilastro desiderato per poi cambiare la tipologia della sezione (selezionando la tipologia attiva mediante l'apposito campo), il delta termico o l'altezza. La conferma delle modifiche è subordinata alla pressione del tasto "Applica".



**Copia Proprietà:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente all'elemento destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Cliccando sugli altri elementi verrà effettuata l'operazione di copia. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente cliccare con il tasto destro del mouse.



**Introduci multiplo:** consente l'introduzione multipla di pilastri aventi la stessa sezione. Ciò avviene racchiudendo i fili fissi desiderati nel "**box di selezione**". Tale azione si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del "box di selezione". L'introduzione avviene al momento di un secondo clic del tasto sinistro del mouse.



**Cancella box:** consente la cancellazione di più pilastri contemporaneamente. I pilastri da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il "box di selezione". Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. La cancellazione avviene cliccando una seconda volta con il tasto sinistro del mouse.



**Modifica box:** abilita la modifica di più pilastri contemporaneamente ridefinendo la sezione e le altre proprietà del pilastro. La scelta dei pilastri da modificare avviene tramite il "box di selezione".



**Copia Proprietà multiplo:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente a più elementi di destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Gli elementi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente bisogna cliccare con il tasto destro del mouse.



**Visualizza risultati:** consente di visionare i risultati di verifica direttamente cliccando sul pilastro desiderato. Al clic, con il tasto sinistro del mouse, si apre una maschera in cui vengono riassunti i risultati in base al tipo di verifica. Si rimanda alla sezione "Visualizzazione risultati" per i dettagli dei dati visualizzati nella finestra.

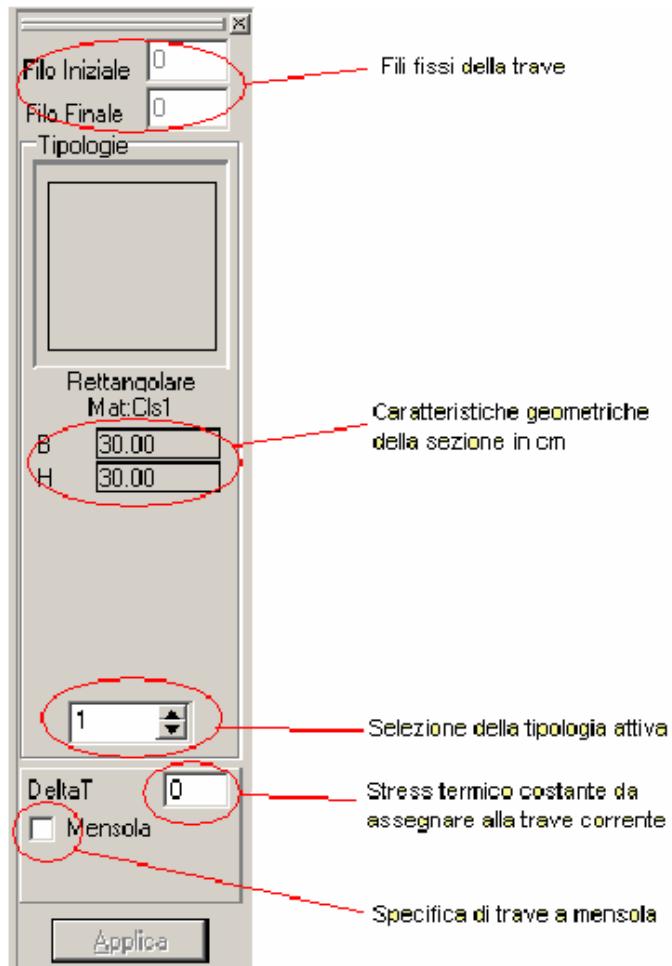
La funzione è attiva solo se le verifiche sono già state effettuate.

#### 1.4.2.4 – Travi/Cordoli

L'introduzione delle travi è subordinata alla presenza dei fili fissi (vedi "Introduzione dei fili fissi") e viene abilitata dalla pressione del pulsante con la seguente icona:



Si ricorda che le travi immesse sono riferite al piano attivo, selezionabile dall'apposito menu a tendina. Alla pressione del pulsante corrispondente compare la maschera riassuntiva delle proprietà della trave, qui riportata:



La scelta di trave tipo "mensola" è utile per generare il carico associato al sisma verticale. Inoltre la trave tipo mensola viene verificata e graficizzata (generazione delle armature longitudinali e delle staffe) in maniera particolare rispetto ad una trave di campata.

Inoltre vengono abilitati le seguenti funzioni:



**Introduci:** consente l'introduzione singola delle travi cliccando con il puntatore direttamente sul piano di lavoro, in corrispondenza dei fili fissi iniziale e finale.

L'introduzione delle travi avviene confermando, con la pressione del tasto destro del mouse, alla fine della polilinea realizzata. Le travi immesse avranno la sezione attiva identificata nell'apposito campo.



**Cancella:** consente la cancellazione della trave desiderata cliccando, con il tasto sinistro del mouse, direttamente sulla stessa.



**Modifica:** abilita la modifica delle proprietà della trave. La modifica avviene selezionando la trave desiderata per poi cambiare la tipologia della sezione (selezionando la tipologia attiva mediante l'apposito campo). La conferma delle modifiche è subordinata alla pressione del tasto "Aplica".

 **Copia Proprietà:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente all'elemento destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Cliccando sugli altri elementi verrà effettuata l'operazione di copia. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente cliccare con il tasto destro del mouse.

 **Introduci multiplo:** consente l'introduzione multipla di travi aventi la stessa sezione. Ciò avviene racchiudendo i fili fissi desiderati nel "box di selezione". Tale azione si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del "box di selezione".

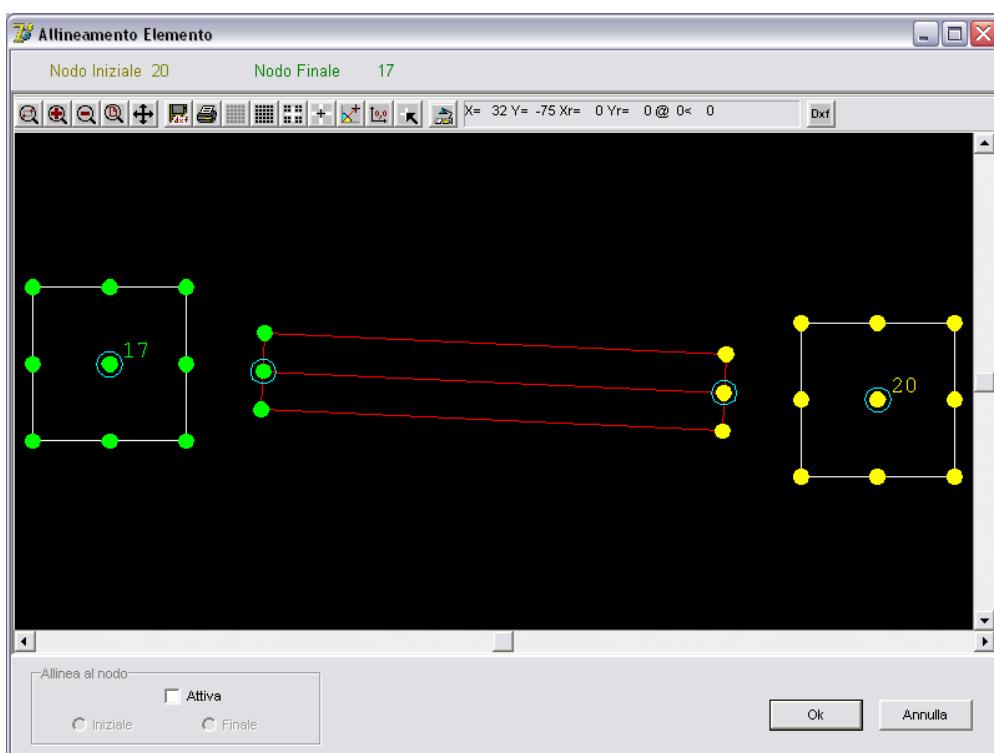
L'introduzione avviene al momento di un secondo clic del tasto sinistro del mouse.

 **Cancella box:** consente la cancellazione di più travi contemporaneamente. Le travi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. La cancellazione avviene cliccando una seconda volta con il tasto sinistro del mouse.

 **Modifica box:** abilita la modifica di più travi contemporaneamente ridefinendo la sezione. L'operazione si effettua selezionando la tipologia della sezione attiva dalla maschera presente sul lato destro della videata. La scelta delle travi da modificare avviene tramite il "box di selezione".

 **Copia Proprietà multiplo:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente a più elementi di destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Gli elementi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente bisogna cliccare con il tasto destro del mouse.

 **Allineamenti:** Consente l'allineamento delle travi ai pilastri di estremità. Attivandolo è possibile cliccare su la trave voluta e, attraverso la seguente maschera, scegliere l'allineamento voluto:



È possibile scegliere i punti di ancoraggio di travi e pilastri cliccando sui punti contrassegnati dal colore giallo. L'allineamento voluto si attua con la corrispondenza dei punti scelti, i quali si presentano circoscritti da cerchietti di colore azzurro.

La funzione “allinea al nodo” consente di allineare la trave ad uno solo dei pilastri di estremità, in modo da creare disassamenti in pianta che non sarebbero realizzabili utilizzando i punti di ancoraggio della maschera appena descritta.



**Copia Allineamenti:** consente di copiare gli allineamenti da una trave ad un'altra. Alla pressione del tasto la scelta della trave sorgente avviene cliccando indifferentemente con uno dei tasti del mouse. Successivamente si utilizza il tasto sinistro per la scelta della trave di destinazione e il tasto destro per la scelta di una nuova trave sorgente.



**Sposta +:** consente di spostare parallelamente alla giacitura iniziale (verso positivo) la trave selezionata.



**Sposta -:** consente di spostare parallelamente alla giacitura iniziale (verso negativo) la trave selezionata.



**Default:** consente di collegare la trave ai fili fissi di estremità anche dopo aver effettuato spostamenti in modo da ripristinare la condizione iniziale.



**Visualizza risultati:** Consente di visionare i risultati di verifica direttamente cliccando sulla trave desiderata. Al clic, con il tasto sinistro del mouse, si apre una maschera in cui vengono riassunti i risultati in base al tipo di verifica. Si rimanda alla sezione “Visualizzazione risultati” per i dettagli dei dati visualizzati nella finestra. La funzione è attiva solo se le verifiche sono già state effettuate.

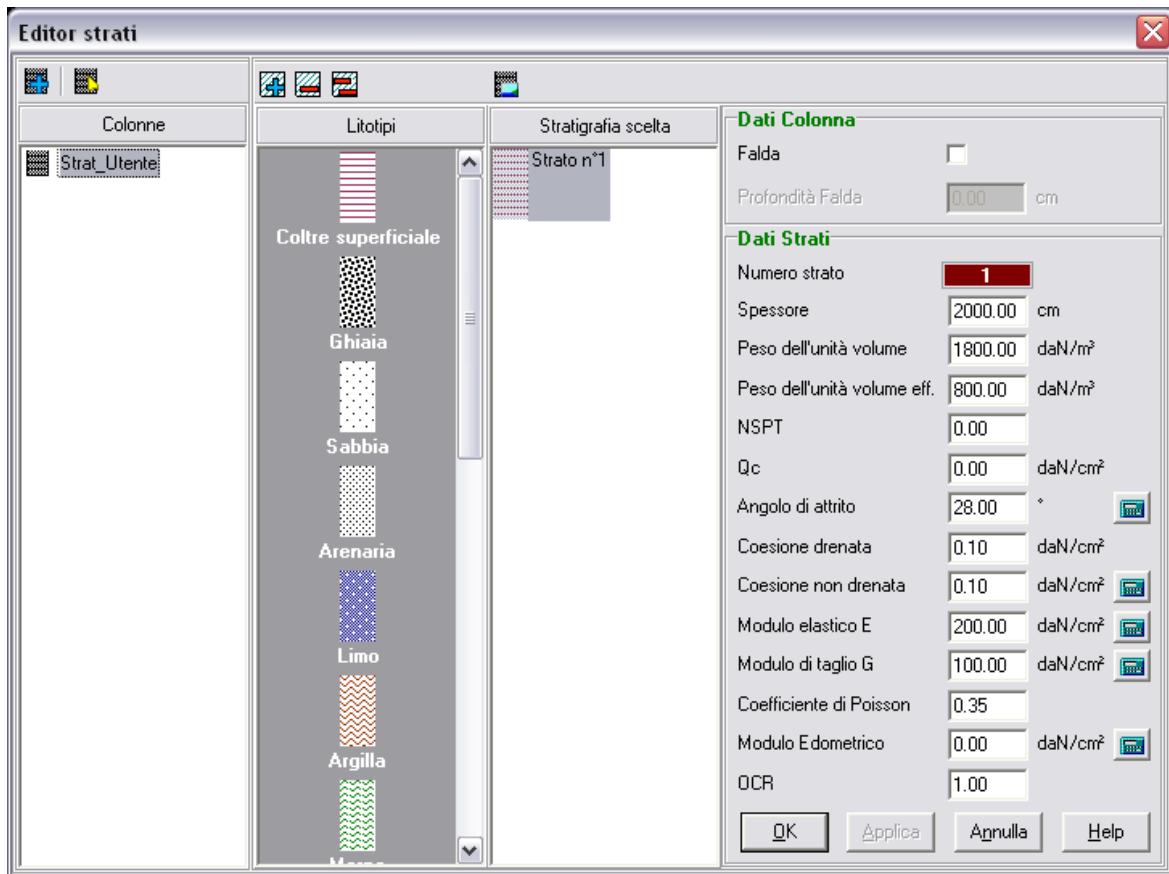
#### 1.4.2.5 – Tipologie colonne stratigrafiche

La definizione delle tipologie di colonne stratigrafiche da utilizzare avviene tramite il tasto che presenta la seguente icona:



I dati da inserire sono compatibili con i valori dei parametri geotecnici forniti nella Relazione Geologica e Geotecnica.

Al click del pulsante viene visualizzata la seguente maschera:



Per quanto riguarda le funzioni di gestione delle colonne stratigrafiche abbiamo le seguenti funzioni:

**Aggiungi colonna:** consente di aggiungere una nuova colonna stratigrafica assegnando il nome generico "Colonna" seguito dalla numerazione progressiva.

**Modifica nome colonna:** consente di modificare il nome da assegnare ad una colonna stratigrafica.

Una volta selezionata la colonna stratigrafica da comporre, si utilizzano le seguenti funzioni:

**Aggiungi Strato:** consente di aggiungere uno strato tra i tipi preimpostati presenti nell'apposita area "Litotipi". La stessa funzione di inserimento si ha cliccando due volte sul litotipo scelto. Il nome del litotipo può essere modificato cliccando una sola volta sul nome del litotipo già inserito in "Stratigrafia scelta".

**Elimina Strato:** consente di eliminare uno strato precedentemente inserito scegliendolo tra quelli presenti in "Stratigrafia scelta". Nel caso non venisse scelto nessun strato viene eliminato l'ultimo.

**Elimina tutti gli strati:** consente di eliminare tutti gli strati inseriti nella colonna stratigrafica corrente.

**Visualizza stratigrafia:** consente di visualizzare, stampare e salvare come bitmap il profilo della stratigrafia creata.

I parametri di definizione di ogni singolo strato sono i classici parametri della geotecnica. Per alcuni parametri, stimabili da prove sperimentali, possono essere calcolati in funzione dell'NSPT e di Qc

(resistenza alla punta) cliccando sul pulsante . In particolare si riportano di seguito le varie formulazioni implementate:

#### 1.4.2.5.1 – Metodi di correlazione diretta per la stima di parametri geotecnici di ogni strato

Nel seguito si riportano alcune teorie per la valutazione dei parametri geotecnici del terreno in funzione degli N<sub>spt</sub> (Number of standard penetration test).

##### Stima dell'angolo di resistenza a taglio $\phi$ attraverso correlazioni dirette con i valori di N<sub>spt</sub>

###### 1. Road Bridge Specification

Il metodo risulta valido per sabbie fini o limose e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova superiori a 8-10 m per terreni sopra falda e superiori a 15 m per terreni in falda ( $\sigma > 10 \div 20$  t/mq)

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = \sqrt{15 \cdot N_{spt}} + 15$$

dove N<sub>spt</sub> è il numero di colpi medio dello strato.

###### 2. Japanese National Railway

Il metodo risulta valido per sabbie medie-grosse fino a sabbie ghiaiose e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità superiori a 8-10 m nel caso di terreni sopra falda e di 15 m per terreni immersi in falda ( $\sigma > 10 \div 20$  t/mq).

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = 0.3 \cdot N_{spt} + 27$$

dove N<sub>spt</sub> è il numero di colpi medio dello strato.

###### 3. De Mello Sabbie

Il metodo di De Mello risulta valido per le sabbie in genere e per qualunque profondità (tranne che per i primi 2 m sotto il piano di campagna).

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = 19 - 0.38 \cdot \sigma + 8.73 \cdot \text{Log}(N_{spt})$$

dove

$\sigma$  è la pressione litostatica efficace a metà strato;  
N<sub>spt</sub> è il numero di colpi medio dello strato.

###### 4. Owaski & Iwasaki

Il metodo risulta valido per sabbie da medie a grossolane fino a debolmente ghiaiose. Anche questo metodo trova le condizioni ottimali di applicabilità per profondità e condizioni al contorno simili ai metodi precedenti.

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = \sqrt{20 \cdot N_{spt}} + 15$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

## 5. Malcev

Il metodo di Malcev(1964) risulta valido per le sabbie in genere e per qualunque profondità (tranne che per i primi 2 m sotto il p .c.).

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = 20 - 5 \cdot \text{Log}(\sigma) + 3.73 \cdot \text{Log}(N_{spt})$$

dove

$\sigma$  è la pressione litostatica efficace a metà strato;  
 $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

## 6. Meyerhof

Il metodo di Meyerhof (1965) che correla  $N_{spt}$  medio dello strato in funzione della granulometria, risulta valido per le sabbie in genere e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità nel caso di terreni sopra falda e inferiori a 8 m e per terreni sotto falda (pressione efficace inferiore a 5/8 t/mq)

Il metodo si basa sulle seguenti relazioni:

$$\phi = 29.47 + 0.46 \cdot N_{spt} - 0.004 \cdot N_{spt}^2 \quad (< 5\% \text{ di limo})$$

$$\phi = 23.70 + 0.57 \cdot N_{spt} - 0.006 \cdot N_{spt}^2 \quad (> 5\% \text{ di limo})$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

## Stima dell'angolo di resistenza a taglio $\phi$ attraverso correlazioni dirette con i valori di $Q_c$

### 7. Mitchell-D.

Il metodo è valido per sabbie N.C., non cementate(per sabbie S.C. si può aumentare il valore ottenuto di 1°-2°)

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = 14.4 + 4.8 \cdot \ln(Q_c) - 4.5 \cdot \ln(\sigma_n)$$

dove

$\sigma$  è la pressione litostatica efficace a metà strato;  
 $Q_c$  è la resistenza di punta media dello strato.

### 8. Meyerhof

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = 17 + 4.49 \times Q_c$$

dove  $Q_c$  è la resistenza di punta media dello strato.

La relazione risulta valida principalmente per  $32 < \phi < 46$ . Nel Caso di sabbie S.C. si può aumentare il valore di  $\phi$  di  $1^{\circ}$ - $2^{\circ}$ . In sabbie cementate va considerato che ad un aumento di  $Q_c$  può non corrispondere automaticamente un aumento di  $\phi$  per cui in questi casi i risultati devono essere valutati attentamente. La relazione non mette in conto la correlazione  $Q_c-\sigma$ , e quindi l'influenza della pressione efficace. Quindi i valori dell'angolo di resistenza a taglio ottenuti con questa relazione risulteranno:

- per modeste profondità ( $H < 5$ - $6$  m) più bassi del reale;
- per elevate profondità ( $H > 14$ - $15$  m) più alti del reale.

## 9. Caquot

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = 9.8 + 4.96 \cdot \ln\left(\frac{Q_c}{\sigma}\right)$$

dove

- $\sigma$  è la pressione litostatica efficace a metà strato;  
 $Q_c$  è la resistenza di punta media dello strato.

La relazione trova le sue condizioni ottimali di applicabilità in sabbie N.C.(normalmente consolidate) e non cementate per profondità maggiori di 2 m (terreni saturi) o maggiori di 1 m (terreni non saturi). Nel caso di sabbie S.C. (sovraconsolidate) si può aumentare il valore di  $\phi$  calcolato di  $1^{\circ}$ - $2^{\circ}$ . In sabbie cementate va tenuto presente che ad un aumento di  $Q_c$  può non corrispondere automaticamente un aumento di  $\phi$ , e quindi il valore calcolato deve essere valutato attentamente.

## Stima della coesione non drenata cu attraverso correlazioni dirette con i valori di $N_{spt}$

## 10. Design Manual for Soil Mechanics

Il modello risulta valido in genere per argille a bassa ed alta plasticità e si basa sulla seguente relazione:

$$\begin{aligned} cu(kg/cm^2) &= 0.038 \cdot N_{spt} && (\text{argilla a bassa plasticità}) \\ cu(kg/cm^2) &= 0.125 \cdot N_{spt} && (\text{argilla ad alta plasticità}) \end{aligned}$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

## 11. Terzaghi & Peck

Il modello risulta valido in genere per argille di media plasticità e si basa sulla seguente relazione:

$$cu(kg/cm^2) = 0.067 \cdot N_{spt}$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

## 12. Sanglerat

Il modello risulta valido in genere per argille di media e bassa plasticità e si basa sulla seguente relazione:

$$cu(kg/cm^2) = 0.100 \cdot N_{spt} \quad (\text{argille limose})$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

### Stima della coesione non drenata cu attraverso correlazioni dirette con i valori di $Q_c$

## 13. Lunne e Eide

Il modello risulta valido in genere per argille e si basa sulla seguente relazione:

$$cu (Kg/cm^2) = \frac{Q_c - \sigma}{20.7 - 0.18 \cdot I_p}$$

dove

$Q_c$  è la resistenza alla punta media dello strato;  
 $I_p$  è l'indice di plasticità medio dello strato;  
 $\sigma$  è la pressione litostatica efficace a metà strato.

### Stima del modulo di deformazione (Modulo di Young) attraverso correlazioni dirette con i valori di $N_{spt}$

## 14. Tornaghi et al.

Il metodo risulta valido per sabbia + ghiaia pulita. La relazione non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di  $N_{spt}$  ad una diminuzione di  $E$  con la profondità. Il metodo si basa sulla seguente relazione

$$E(MPa) = B \cdot \sqrt{N_{spt}}$$

dove

$N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato;  
 $B$  è una costante pari a 7 MPa.

Da rilevare che il valore di  $E$  calcolato risulta eccessivamente elevato per valori di  $N_{spt}$  bassi ed troppo basso per valori di  $N_{spt}$  altri.

## 15. Schmertaman

Il metodo risulta valido per le sabbie in genere, anche se la relazione non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di  $N_{spt}$  ad una diminuzione di  $E$  con la profondità

$$E(Kg/cm^2) = 12 \cdot N_{spt}$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

### 16. Stroud

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E(\text{MPa}) = \alpha \cdot N_{spt}$$

dove

$N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato;  
 $\alpha$  è una grandezza che varia in funzione di  $N_{spt}$  secondo la seguente relazione:

$$\alpha = -0.00107 \cdot N_{spt}^2 + 0.136 \cdot N_{spt} + 1.503$$

### 17. Dappolonia et Alii

Il metodo D'Appolonia risulta valido per ghiaia e sabbia. Il metodo si basa sulla relazione:

$$E(\text{Kg/cm}^2) = 7.71 \cdot N_{spt} + 191$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

### 18. Schultze e Menzebach

Il metodo è valido per sabbia e si basa sulla relazione:

$$E(\text{Kg/cm}^2) = 5.27 \cdot N_{spt} + 76$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

### 19. Webb

Il metodo di Webb risulta valido per sabbia con fine plastico e non considerando l'influenza della pressione efficace si basa sulla relazione:

$$E(\text{Kg/cm}^2) = 3.22 \cdot N_{spt} + 16$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato

**Stima del modulo di deformazione (Modulo di Young) attraverso correlazioni dirette con i valori di  $Q_c$**

### 20. Schmertmann

Il metodo risulta valido generalmente per sabbie consolidate e si basa sulla seguente relazione:

$$E(\text{Kg/cm}^2) = 2.5 \times Q_c$$

dove  $Q_c$  è la resistenza alla punta media dello strato;

#### **Stima del modulo di deformazione edometrico attraverso correlazioni dirette con i valori di $N_{spt}$**

##### **21. Farrent**

Il metodo risulta valido per le sabbie in genere si basa sulla relazione:

$$E_{ed}(\text{Kg/cm}^2) = 7.1 \cdot N_{spt}$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

##### **22. Menzebach e Malcev**

Il metodo risulta valido per le sabbie in genere si basa sulla relazione:

$$E_{ed}(\text{Kg/cm}^2) = 3.54 \cdot N_{spt} + 38 \quad (\text{sabbia fine})$$

$$E_{ed}(\text{Kg/cm}^2) = 4.46 \cdot N_{spt} + 38 \quad (\text{sabbia media})$$

$$E_{ed}(\text{Kg/cm}^2) = 10.46 \cdot N_{spt} + 38 \quad (\text{sabbia + ghiaia})$$

$$E_{ed}(\text{Kg/cm}^2) = 11.84 \cdot N_{spt} + 38 \quad (\text{sabbia ghiaiosa})$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

##### **23. Stroud e Butler**

Il metodo risulta valido per argille di media plasticità e si basa sulla relazione:

$$E_{ed}(\text{Kg/cm}^2) = 5 \cdot N_{spt} \quad (\text{argille di media plasticità})$$

$$E_{ed}(\text{Kg/cm}^2) = 6 \cdot N_{spt} \quad (\text{argille a bassa plasticità})$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

#### **Stima del modulo di deformazione edometrico attraverso correlazioni dirette con i valori di $Q_c$**

##### **24. Roberson Campanella**

Il metodo risulta valido per le sabbie in genere e si basa sulla seguente relazione:

$$E_{ed}(\text{Kg/cm}^2) = 0.03 \cdot Q_c + 11.7 \cdot \sigma + 0.79 \cdot Dr\%$$

dove  $Q_c$  è la resistenza alla punta media dello strato;

##### **25. Mitchell e Gardner**

Il metodo valido per argille in genere si basa sulla seguente relazione:

$$E_{ed} (\text{Kg/cm}^2) = \alpha \cdot Q_c$$

dove

$Q_c$  è la resistenza alla punta media dello strato;  
 $\alpha$  è un coefficiente variabile in funzione del tipo di terreno secondo la seguente tabella.

Terreno	Valore di $\alpha$
argille di media e bassa plasticità, argille ghiaiose, sabbiose o limose	$\alpha=5$ per $Q_c < 0.7 \text{ MPa}$
	$\alpha=3.5$ per $0.7 \text{ MPa} < Q_c < 2 \text{ MPa}$
	$\alpha=1.7$ per $Q_c > 2 \text{ MPa}$
limi organici e sabbie molto fini, limi argillosi	$\alpha=2$ per $Q_c < 2 \text{ MPa}$
	$\alpha=4.5$ per $Q_c > 2 \text{ MPa}$
argille limose organiche, limi organici, argille di elevata plasticità	$\alpha=4$ per

#### Stima del modulo di taglio attraverso correlazioni dirette con i valori di Nspt:

##### 26. Ohsaki & Iwasaki

Il metodo risulta valido per le sabbie pulite o con fine plastico (limo argilla) e si basa sulla seguente relazione

$$G(\text{t/m}^2) = 1182 \cdot N_{spt}^{0.76}$$

Per terreni coesivi in genere (dai limi plastici alle argille) risulta valida la seguente relazione:

$$G(\text{t/m}^2) = 1400 \cdot N_{spt}^{0.78}$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

##### 27. Crespellani e Vannucchi

Il metodo risulta valido per le sabbie in generale e si basa sulla seguente relazione

$$G(\text{t/m}^2) = 794 \cdot N_{spt}^{0.611}$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio dello strato.

#### Stima del modulo di taglio attraverso correlazioni dirette con i valori di $Q_c$ :

##### 28. Imai e Tomauchi

Il metodo valido per tutti i tipi di terreno, si basa sulla seguente relazione:

$$G(\text{t/m}^2) = 28 \cdot N_{spt}^{0.611}$$

dove  $Q_c$  è la resistenza alla punta media dello strato.

#### 1.4.2.6 – Colonne stratigrafiche

L'introduzione delle colonne stratigrafiche è subordinata alla presenza dei fili fissi (vedi “Introduzione dei fili fissi”) e viene abilitata dalla pressione del pulsante con la seguente icona:



Alla pressione del pulsante descritto, vengono attivate le seguenti funzioni:



**Introduci:** Consente l'introduzione singola delle colonne stratigrafiche cliccando con il puntatore direttamente sul piano di lavoro, in corrispondenza del filo fisso selezionato.

Il filo fisso risultà selezionato quando il puntatore si presenta nel seguente modo:



L'introduzione della colonna stratigrafica avviene cliccando con il tasto sinistro.



**Cancella:** Consente la cancellazione della colonna stratigrafica selezionata tramite il puntatore del mouse sul piano di lavoro. La colonna stratigrafica selezionata si presenta circoscritta dal puntatore appena descritto. La cancellazione avviene cliccando con il tasto sinistro del mouse.



**Modifica:** Consente la modifica delle proprietà della colonna stratigrafica. La modifica avviene selezionando la colonna stratigrafica desiderata per poi cambiare la tipologia della sezione (selezionando la tipologia attiva mediante l'apposito campo), il delta termico o l'altezza. La conferma delle modifiche è subordinata alla pressione del tasto “Applica”.



**Introduci multiplo:** Consente l'introduzione multiplo di colonne stratigrafiche aventi la stessa tipologia. Ciò avviene racchiudendo i fili fissi desiderati nel “**box di selezione**”. Tale azione si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del “box di selezione”.

L'introduzione avviene al momento di un secondo clic del tasto sinistro del mouse.



**Cancella box:** Consente la cancellazione di più colonne stratigrafiche contemporaneamente. Le colonne stratigrafiche da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il “box di selezione”. Il “box di selezione” si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. La cancellazione avviene cliccando una seconda volta con il tasto sinistro del mouse.



**Modifica box:** Abilita la modifica di più colonne stratigrafiche contemporaneamente ridefinendo la sezione e le altre proprietà del pilastro. La scelta delle colonne stratigrafiche da modificare avviene tramite il “box di selezione”.



**Copia Proprietà multiplo:** Abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente a più elementi di destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Gli elementi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il “box di selezione” si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente bisogna cliccare con il tasto destro del mouse.

#### 1.4.2.7 – Tipologia muratura armata

Alla pressione del comando contrassegnato dalla seguente icona  viene evidenziato un ambiente che consente di definire le tipologie di muratura armata. Il funzionamento dell'ambiente è stato ampiamente discusso nel punto 1.2.2.6 del presente manuale.

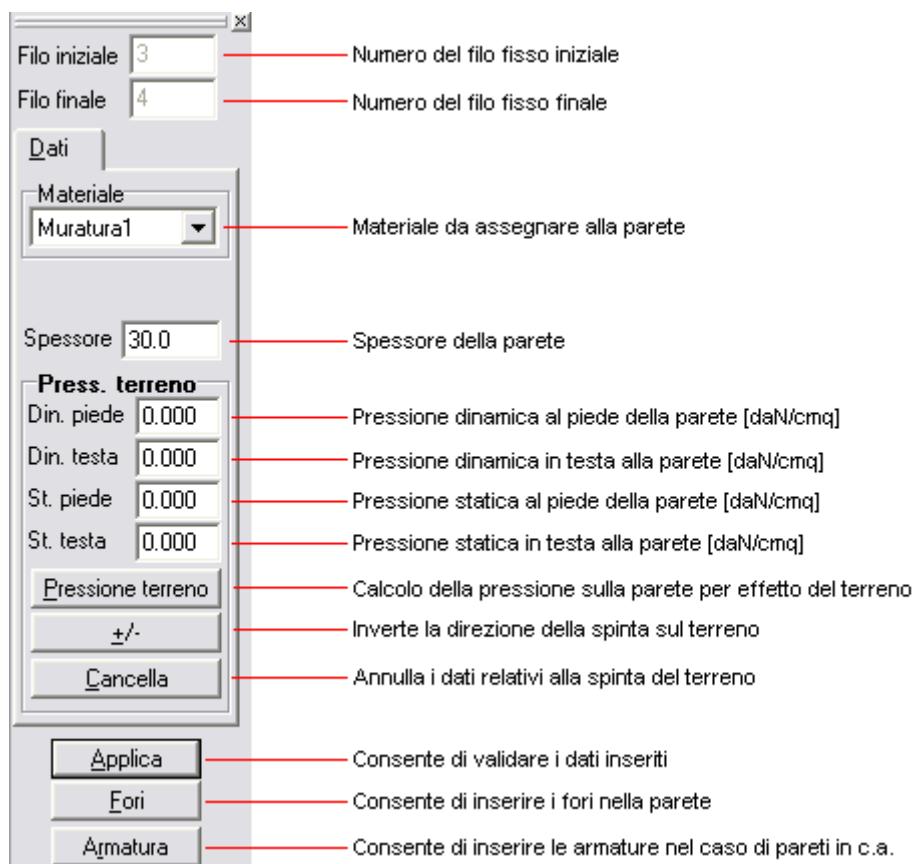
#### 1.4.2.8 – Pari

Come per gli altri elementi strutturali di VEM<sub>NL</sub> l'introduzione delle pareti è subordinata alla presenza dei fili fissi (vedi "Introduzione dei fili fissi") e viene abilitata dalla pressione del pulsante con la seguente icona:



Si ricorda che le pareti immesse sono riferite al piano attivo.

Alla pressione di tale pulsante compare la maschera riassuntiva delle proprietà della parete, qui riportata:



Inoltre vengono abilitati le seguenti funzioni:

 **Introduci:** consente l'introduzione singola delle pareti cliccando con il puntatore direttamente sul piano di lavoro, in corrispondenza dei fili fissi iniziale e finale.

Il filo fisso risulta selezionato quando il puntatore si presenta nel seguente modo:



L'introduzione delle pareti avviene confermando, con la pressione del tasto destro del mouse, alla fine della polilinea realizzata. La parete viene contrassegnata con una linea spessa se oltre a se stessa è presente anche una trave che collega i fili fissi. L'introduzione di pareti è possibile solo su elementi trave con i fili fissi coincidenti a quelli imputati.

**Cancella:** consente la cancellazione della parete desiderata cliccando, con il tasto sinistro del mouse, direttamente sulla stessa.

**Modifica:** abilita la modifica delle proprietà della parete. La modifica avviene selezionando la parete desiderata per poi cambiare le caratteristiche volute. La conferma delle modifiche è subordinata alla pressione del tasto "Applica".

**Copia Proprietà:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente all'elemento destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Cliccando sugli altri elementi verrà effettuata l'operazione di copia. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente cliccare con il tasto destro del mouse.

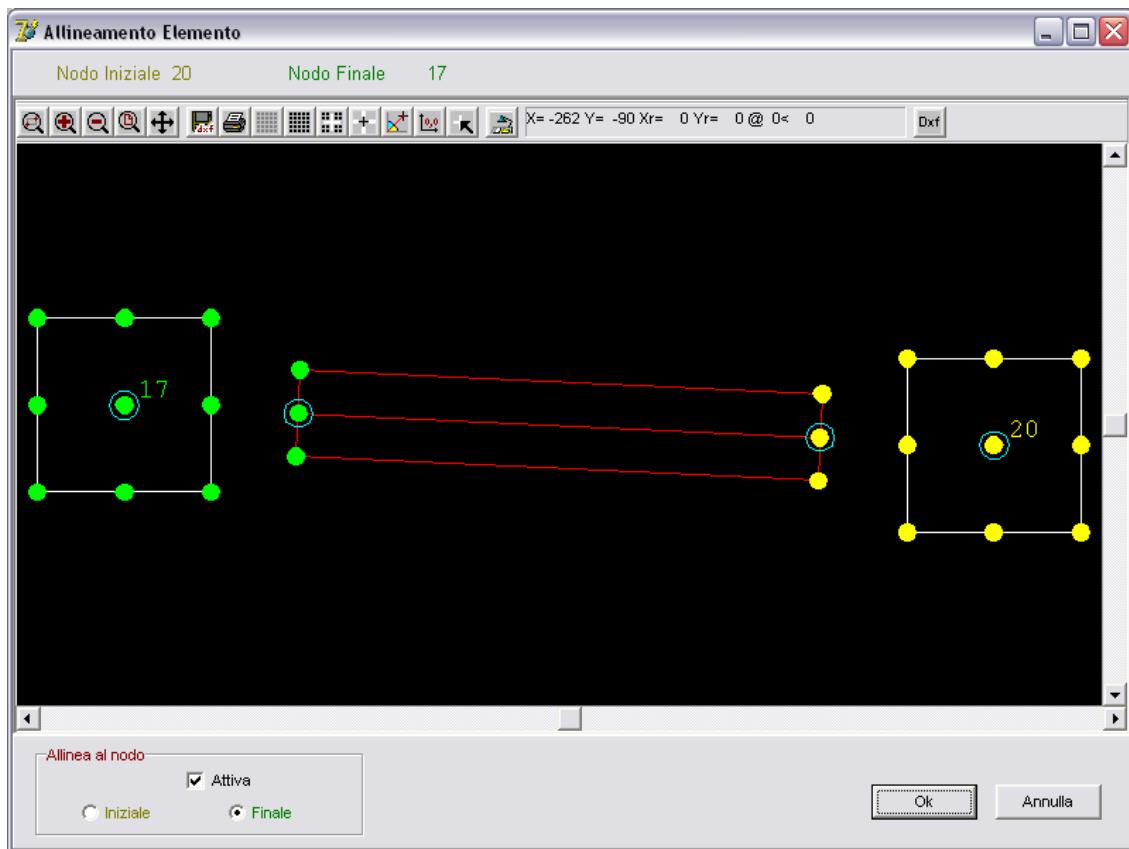
**Introduci multiplo:** consente l'introduzione multipla di pareti aventi le stesse caratteristiche. Ciò avviene racchiudendo i fili fissi desiderati nel "box di selezione". Tale azione si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del "box di selezione". L'introduzione avviene al momento di un secondo clic del tasto sinistro del mouse.

**Cancella box:** consente la cancellazione di più pareti contemporaneamente. Le pareti da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. La cancellazione avviene cliccando una seconda volta con il tasto sinistro del mouse.

**Modifica box:** abilita la modifica di più pareti contemporaneamente ridefinendo le caratteristiche. L'operazione si effettua selezionando la tipologia della sezione attiva dalla maschera presente sul lato destro della schermata. La scelta delle travi da modificare avviene tramite il "box di selezione".

**Copia Proprietà multiplo:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente a più elementi di destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Gli elementi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente bisogna cliccare con il tasto destro del mouse.

**Allineamenti :** consente l'allineamento delle pareti ai pilastri di estremità. Attivandolo è possibile cliccare sulla parete voluta e, attraverso la seguente maschera, scegliere l'allineamento voluto:



È possibile scegliere i punti di ancoraggio di pareti e pilastri cliccando sui punti contrassegnati dal colore giallo. L'allineamento voluto si attua con la corrispondenza dei punti scelti, i quali si presentano circoscritti da cerchietti di colore azzurro.

La funzione "allinea al nodo" consente di allineare la parete ad uno solo dei pilastri di estremità, in modo da creare disassamenti in pianta che non sarebbero realizzabili utilizzando i punti di ancoraggio della maschera appena descritta.

**Copia Allineamenti:** consente di copiare gli allineamenti da una parete ad un'altra. Alla pressione del tasto la scelta della parete sorgente avviene cliccando indifferentemente con uno dei tasti del mouse. Successivamente si utilizza il tasto sinistro per la scelta della parete di destinazione e il tasto destro per la scelta di una nuova parete sorgente.

**Sposta +:** consente di spostare parallelamente alla giacitura iniziale (verso positivo) la parete selezionata.

**Sposta -:** consente di spostare parallelamente alla giacitura iniziale (verso negativo) la parete selezionata.

**Default:** consente di collegare la parete ai fili fissi di estremità anche dopo aver effettuato spostamenti in modo da ripristinare la condizione iniziale.

**Raggruppa:** consente di unire più pareti in un unico gruppo (comando valido solo per analisi statica non lineare). Tale comando è utile se si vogliono unire pareti che sono divise da fili fissi e considerarle come unica parete, incrementando la rigidezza della struttura.



**Divide:** consente di eliminare un gruppo precedentemente creato. La cancellazione avviene cliccando su una parete facente parte del gruppo da cancellare.



**Visualizza risultati:** consente di visionare i risultati di verifica direttamente cliccando sulla parete desiderata. Al clic, con il tasto sinistro del mouse, si apre una maschera in cui vengono riassunti i risultati in base al tipo di verifica. Si rimanda alla sezione “Visualizzazione risultati” per i dettagli dei dati visualizzati nella finestra. La funzione è attiva solo se le verifiche sono già state effettuate.

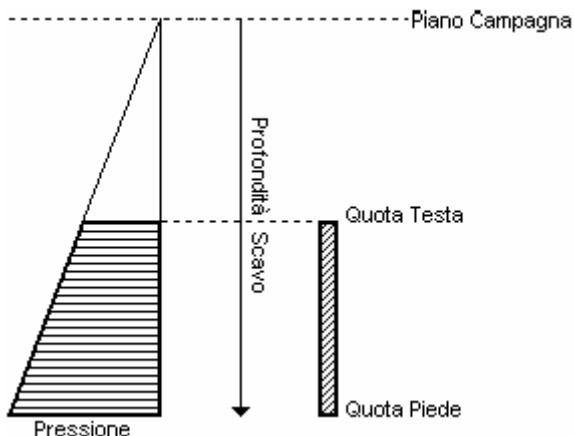
### Calcolo della pressione del terreno

In VEM<sub>NL</sub> è possibile realizzare pareti controterra. I campi relativi alle pressioni statiche e dinamiche agenti sulla parete dovute al terreno, possono essere calcolati cliccando sul comando “Pressione Terreno”. Al click sul relativo tasto compare la seguente maschera:

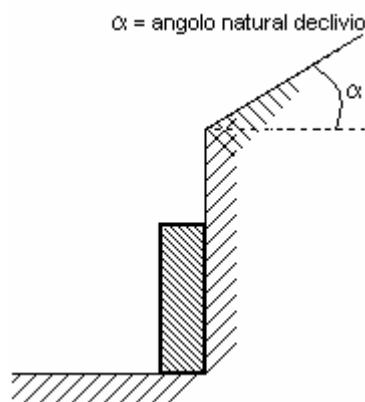
**Calcolo pressione terreno**

Quota testa	250.00 [cm]	Quota piede	0.00 [cm]
$\beta_m$	0.00	(0= usa default)	
Profondità scavo	600.0	[cm]	
Angolo natural declivio	0.00	[°]	
Angolo attrito interno	30.00	[°]	
Angolo attrito terra-muro	15.00	[°]	
Peso specifico terreno	1800.00	[daN/m <sup>3</sup> ]	
Coesione	0.10	[daN/cm <sup>2</sup> ]	
Sovraccarico	1000.00	[daN/m <sup>2</sup> ]	
Altezza falda	0.0	[cm]	
Pressioni dinamiche		Pressioni statiche	
Piede	0.27 [daN/cm <sup>2</sup> ]	Piede	0.25 [daN/cm <sup>2</sup> ]
Testa	0.12 [daN/cm <sup>2</sup> ]	Testa	0.11 [daN/cm <sup>2</sup> ]
<input type="button" value="Calcola"/>			
<input type="button" value="Ok"/>		<input type="button" value="Annulla"/>	<input type="button" value="Help"/>

I campi “quota testa” e “quota piede” vengono automaticamente impostati dal programma in base al posizionamento della parete. La “zona sismica” e la “Classe suolo” sono relativi a quelli immessi nei “dati generali” della struttura. La profondità di scavo è relativa al piano campagna ed è positiva verso il basso, come dimostrata nella seguente figura:



L'angolo di natural declivio è l'angolo di inclinazione della scarpata (se presente) rispetto all'orizzontale:



I parametri del terreno utili al calcolo sono:

- $\beta_m$
- **angolo di natural declivio;**
- **angolo di attrito interno;**
- **angolo di attrito terra-muro;**
- **peso specifico terreno;**
- **coesione.**

Il parametro  $\beta_m$  è chiamato “coefficiente di riduzione dell’accelerazione massima attesa”. Il valore “0” è associato al calcolo automatico del parametro in funzione dell’accelerazione orizzontale della zona in cui ricade la struttura (vedi tab. 7.11.II – D.M. 17/01/2018). Esplicitando un valore diverso da zero è possibile personalizzare il coefficiente.

#### 1.4.2.9 – Definizione Telai

Il comando “Definizione Telai” consente di definire i telai rettilinei in modo da suddividere la struttura tridimensionale in telai piani. Tale operazione non è utilizzata per le fasi di calcolo e verifiche in quanto la struttura viene completamente considerata secondo la reale configurazione tridimensionale. Definire i telai è importante per la graficizzazione. Se non vengono definiti i telai, gli elementi vengono graficizzati singolarmente.

La definizione dei telai è subordinata alla presenza dei fili fissi (vedi “Introduzione dei fili fissi”) e viene abilitata dalla pressione del pulsante con la seguente icona:



Le funzioni abilitate sono:



**Introduci:** consente la definizione dei telai cliccando sui fili fissi che si desidera inglobare in un telaio. La creazione del telaio avviene confermando, con la pressione del tasto destro del mouse, alla fine della polilinea realizzata.



**Cancella:** consente di effettuare la cancellazione di un telaio attraverso un clic (con il tasto sinistro del mouse) direttamente sul telaio da eliminare.



**Modifica:** consente di ridefinire i fili fissi appartenenti ad un telaio esistente. La scelta del telaio da modificare avviene cliccando sul telaio con il tasto sinistro del mouse. Successivamente si ridefiniscono tutti i fili fissi che si vogliono destinare al telaio scelto confermando con il tasto destro del mouse.



**Introduci multiplo:** consente la definizione di telai racchiudendo i fili fissi desiderati nel “box di selezione”. Tale azione si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del “box di selezione”.

L'introduzione avviene al momento di un secondo clic del tasto sinistro del mouse.



**Cancella box:** consente la cancellazione di un telaio racchiudendo tutti i fili fissi appartenenti al telaio nel “box di selezione”. Il “box di selezione” si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. La cancellazione avviene cliccando una seconda volta con il tasto sinistro del mouse.

#### 1.4.2.10 – Modellazione 3D

Alla pressione del comando contrassegnato dalla seguente icona viene evidenziato un ambiente che consente di modellare la struttura in ambiente tridimensionale. Tale ambiente è attivo solo nei casi in cui è richiesta la modellazione di elementi in c.a. o acciaio in un piano di sopraelevazione. Il funzionamento dell'ambiente viene ampiamente discusso nel punto 1.2.2.6 del presente manuale.

#### 1.4.2.11 – Visione 3D

All'interno della schermata relativo all'input grafico è presente un ambiente di visualizzazione tridimensionale. L'apertura di tale ambiente avviene cliccando sulla seguente icona:



Le opzioni presenti negli ambienti di visualizzazione sono state descritte nel capitolo “La visualizzazione 3D”.

#### 1.4.2.12 – Tipologie Plinti

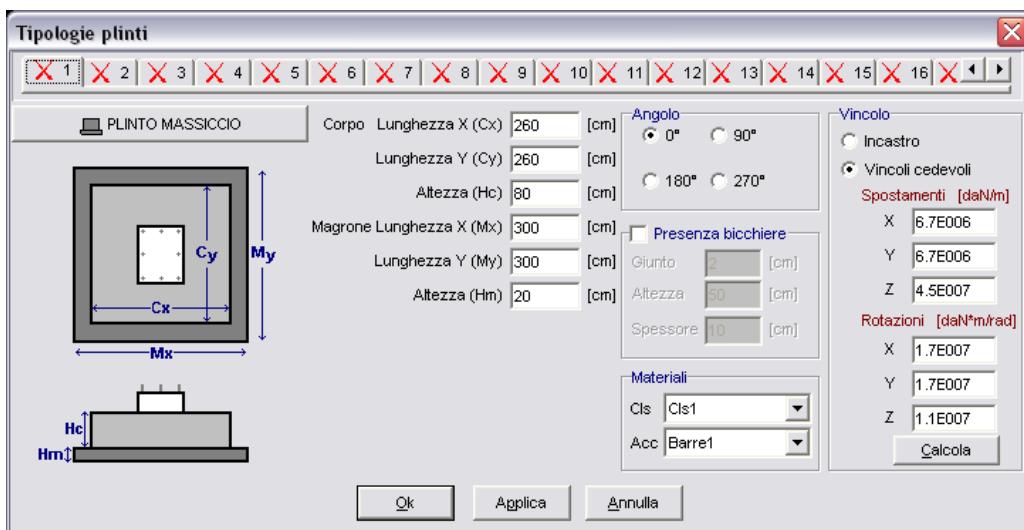
La definizione delle tipologie di plinto da utilizzare avviene tramite il tasto che presenta la seguente icona:



Alla pressione del tasto appare la maschera di definizione delle seguenti tipologie di plinto:

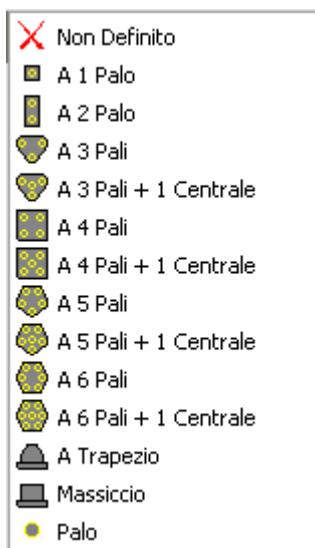
- **Ad 1 palo;**
- **A 2 pali;**
- **A 3 pali;**
- **A 3 pali + 1 centrale;**
- **A 4 pali;**
- **A 4 pali + 1 centrale;**
- **A 5 pali;**
- **A 5 pali + 1 centrale;**
- **A 6 pali;**
- **A 6 pali + 1 centrale;**
- **A trapezio;**
- **Massiccio;**
- **Palo singolo;**

L'aspetto della maschera è il seguente:



Il numero massimo di tipologie è posto pari a 20.

La definizione delle tipologie (qui si riporta a titolo dimostrativo quella del plinto a 4 pali) avviene scegliendo la tipologia voluta dall'apposita lista, la quale compare cliccando sull'etichetta “**PLINTO NON ASSEGNATO**”:



I parametri geometrici sono definiti, per ogni tipo di plinto, nella relativa figura. L'intuitività delle figure e la banalità dei dati richiesti non richiede ulteriori approfondimenti. La tipologia "Palo" è utile alla modellazione di platee e fondazioni superficiali su pali.

### Parametri relativi ai pali di fondazione

Nel caso si possieda anche il modulo n. 16 di StruSec relativo ai "**Pali di fondazione**", il programma provvede alla verifica dei pali, altrimenti le informazioni immesse saranno utilizzate solo ed esclusivamente per modellare le condizioni di vincolo della struttura per mezzo del plinto su pali.

I parametri di inserire sono i seguenti:

- **Diametro palo:** diametro dei pali di fondazione relativi alla tipologia corrente;
- **Risega:** Distanza di arretramento del palo rispetto ai bordi del plinto;
- **Raggio interasse pali:** Distanza tra il centro del plinto e il centro del singolo palo, utile al calcolo delle dimensioni dell'impronta del plinto;
- **Lunghezza palo:** Lunghezza di infissione del palo.

### Angolo di rotazione del plinto

Ogni plinto può essere posizionato secondo un angolo di rotazione rispetto al pilastro sovrastante. L'angolo di rotazione può essere scelto tra i valori 0°, 90°, 180°, 270°.

### Parametri relativi al bicchiere

Nel caso sia abbiano sovrastrutture prefabbricate è possibile introdurre il bicchiere dove adagiare gli elementi verticali della struttura. I parametri da introdurre sono:

- **Giunto:** spessore del calcestruzzo di solidarizzazione tra il pilastro e il bicchiere;
- **Altezza:** altezza del bicchiere dalla testa del plinto;
- **Spessore:** Spessore delle pareti del bicchiere.

### Materiali

Negli appositi campi è possibile assegnare i materiali rispettivamente del calcestruzzo e delle barre di acciaio. La scelta avviene attraverso un menù a tendina (per ogni materiale) in cui sono riportati i materiali precedentemente definiti.

### Modellazione delle condizioni di vincolo

Il grado di vincolo della struttura per mezzo dell'introduzione del plinto può essere schematizzato attraverso l'introduzione molle o incastri rispetto ai gradi di libertà del nodo.

Il valore delle rigidezze delle molle viene calcolato in funzione dei moduli di Winkler e dei parametri dei pali se presenti e verrà trattato nella sua più completa trattazione nella sezione relativa all'"**Interazione plinti – terreno**". In ogni caso è possibile modificare le rigidezze delle molle per ogni direzione.

Le modifiche vengono rese attive con la pressione del tasto "Applica". Cliccando su "Annulla" sarà possibile uscire dalla finestra senza convalidare alcuna modifica effettuata.

Il pulsante "Calcola" consente di rieffettuare il calcolo delle rigidezze delle molle, nel caso in cui i valori fossero stati modificati.

### 1.4.2.13 – Plinti

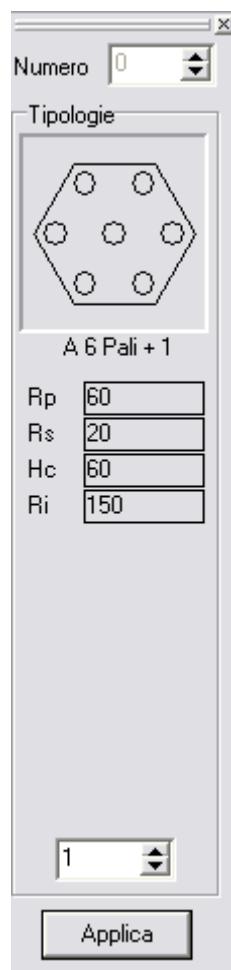
Consente di inserire i plinti scegliendo tra le tipologie precedentemente create.

L'introduzione dei plinti è subordinata alla presenza dei fili fissi (vedi "Introduzione dei fili fissi") e viene abilitata dalla pressione del pulsante con la seguente icona:



Si ricorda che i plinti immessi sono riferiti al piano attivo. Per modellare fondazione su quote diverse, è possibile introdurre plinti a qualsiasi piano. Il programma provvederà ad avvertire l'utente nel caso in cui si inserisce un plinto sopra il pilastro del piano inferiore.

Alla pressione del tale pulsante prima accennato compare la maschera riassuntiva delle proprietà del plinto, qui riportata:



Inoltre vengono abilitati le seguenti funzioni:



**Introduci** : Consente l'introduzione singola dei plinti cliccando con il puntatore direttamente sul piano di lavoro, in corrispondenza del filo fisso selezionato.



Il filo fisso risulta selezionato quando il puntatore si presenta nel seguente modo:

L'introduzione del plinto avviene cliccando con il tasto sinistro.

 **Cancella:** Abilita la cancellazione del plinto selezionato tramite il puntatore del mouse sul piano di lavoro. Il plinto selezionato si presenta circoscritto dal puntatore appena descritto. La cancellazione avviene cliccando con il tasto sinistro del mouse.

 **Modifica:** Abilita la modifica delle proprietà del plinto. La modifica avviene selezionando il plinto desiderato per poi cambiare la tipologia del plinto (selezionando la tipologia attiva mediante l'apposito campo). La conferma delle modifiche è subordinata alla pressione del tasto "Applica".

 **Copia Proprietà:** Abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente all'elemento destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Cliccando sugli altri elementi verrà effettuata l'operazione di copia. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente cliccare con il tasto destro del mouse.

 **Introduci multiplo:** consente l'introduzione multipla di pilastri aventi la stessa sezione. Ciò avviene racchiudendo i fili fissi desiderati nel "box di selezione". Tale azione si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del "box di selezione". L'introduzione avviene al momento di un secondo clic del tasto sinistro del mouse.

 **Cancella box:** consente la cancellazione di più plinti contemporaneamente. I plinti da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. La cancellazione avviene cliccando una seconda volta con il tasto sinistro del mouse.

 **Modifica box:** abilita la modifica di più plinti contemporaneamente ridefinendo la sezione. L'operazione si effettua selezionando la tipologia della sezione attiva dalla maschera presente sul lato destro della finestra. La scelta dei plinti da modificare avviene tramite il "box di selezione".

 **Copia Proprietà multiplo:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente a più elementi di destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Gli elementi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente bisogna cliccare con il tasto destro del mouse.

 **Visualizza risultati:** consente di visionare i risultati di verifica direttamente cliccando sul plinto desiderato. Al clic, con il tasto sinistro del mouse, si apre una maschera in cui vengono riassunti i risultati in base al tipo di verifica. Si rimanda alla sezione "Visualizzazione risultati" per i dettagli dei dati visualizzati nella finestra.

La funzione è attiva solo se le verifiche sono già state effettuate.

#### 1.4.2.14 – Platee

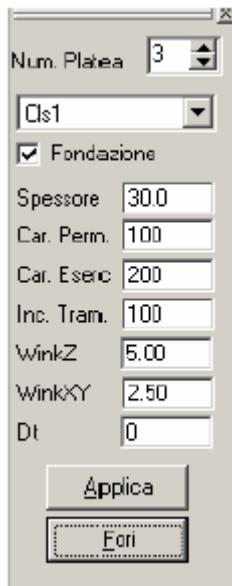
Consente di inserire piastre tra i fili fissi, ai piani di fondazione e di elevazione. L'inserimento delle piastre può avvenire in presenza o in assenza delle travi di bordo.

Le platee sono inseribili attraverso il comando contrassegnato dalla seguente icona:



La pressione dell'icona abilita i seguenti comandi:

 **Introduci:** consente l'introduzione di platee sugli elementi (travi o pareti) desiderati. L'introduzione avviene cliccando consecutivamente con il tasto sinistro sugli elementi in modo da formare una poligonale chiusa, la quale deve essere conclusa utilizzando il tasto destro del mouse. I parametri della platea immessa sono definibili dalla seguente maschera che appare sul lato destro dello schermo:



 **Introduci su fili fissi:** consente l'introduzione di platee di forma generica senza la presenza di travi di bordo. L'introduzione avviene cliccando consecutivamente con il tasto sinistro sui fili fissi. La poligonale va chiusa utilizzando il tasto destro del mouse. Il poligono verrà realizzato secondo l'ordine di selezione dell'utente. Il programma non consente la realizzazione di poligoni intrecciati.

 **Cancella:** consente la cancellazione di una platea. La cancellazione avviene cliccando con il tasto sinistro del mouse direttamente sull'elemento da cancellare.

 **Modifica:** consente la modifica dei parametri della platea. Per modificare gli altri elementi di carico si deve utilizzare la funzione introduci e cambiare i parametri voluti.

 **Copia Proprietà:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente all'elemento destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Cliccando sugli altri elementi verrà effettuata l'operazione di copia. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente cliccare con il tasto destro del mouse.

 **Introduci multiplo:** consente l'introduzione multipla di platee. L'introduzione avviene utilizzando il box di selezione in modo da racchiudere le travi interessate dalla platea. L'introduzione è possibile solo se le travi formano una maglia chiusa.

 **Cancella box:** consente la cancellazione di più platee simultaneamente. La cancellazione avviene racchiudendo le platee da cancellare nel box di selezione.

 **Copia Proprietà multiplo:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente a più elementi di destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Gli elementi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. Per

terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente bisogna cliccare con il tasto destro del mouse.



**Visualizza risultati:** consente di visionare i risultati di verifica direttamente cliccando sulla piastra desiderata. Al clic, con il tasto sinistro del mouse, si apre una maschera in cui vengono riassunti i risultati in base al tipo di verifica. Si rimanda alla sezione "Visualizzazione risultati" per i dettagli dei dati visualizzati nella finestra. La funzione è attiva solo se le verifiche sono già state effettuate.

#### 1.4.2.15 – Volte

Consente di inserire volte a botte. Per l'inserimento delle volte è richiesta la presenza di almeno due pareti (su cui scarica la volta stessa). Le pareti su cui poggia la volta devono essere parallele e della stessa lunghezza, con la stessa quota dei due estremi, iniziale e finale (non è richiesta la stessa altezza tra le due pareti). Se le posizioni del muro sono incompatibili con la geometria della volta, il programma non consente l'inserimento di quest'ultima. Inoltre, se vengono modificati in un secondo momento i dati del muro, tale da rendere incompatibile la geometria della volta con la nuova posizione del muro, il software lo segnala all'utente in fase di calcolo. C'è da sottolineare che la modifica della posizione e geometria del muro, modifica anche la geometria della volta. Infine, per poter inserire la volta, non devono essere presenti travi, pilastri o pareti, in c.a. o acciaio, direttamente collegati con la volta stessa.

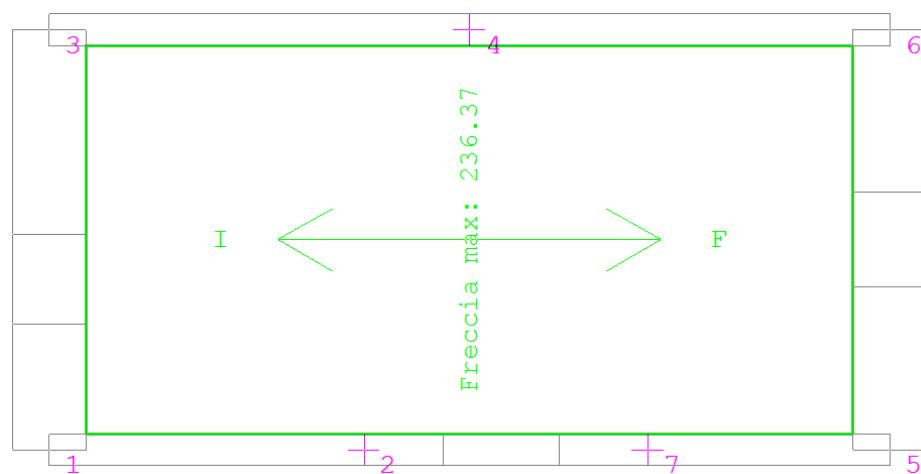
Le volte sono inseribili attraverso il comando contrassegnato dalla seguente icona: 

La pressione dell'icona abilita i seguenti comandi:

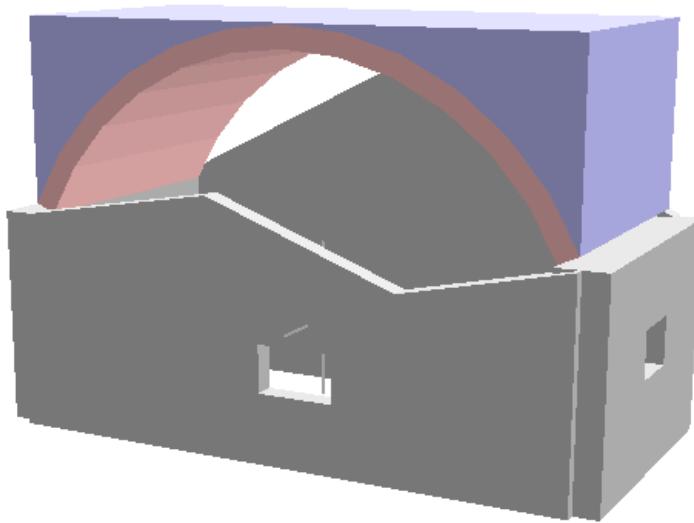


**Introduci selezionando i muri di contorno:** consente l'introduzione di volte sulle pareti selezionate. In questo caso le pareti di contorno della volta devono formare una poligonale chiusa. I muri su cui scarica la volta devono essere due (uno per lato), della stessa lunghezza e paralleli. I muri ortogonali devono essere tali da formare una poligonale chiusa con i muri su cui scarica la volta, e non sono richieste ulteriori particolari richieste geometriche. Per meglio chiarire i concetti appena esposti, si riportano alcuni esempi grafici:

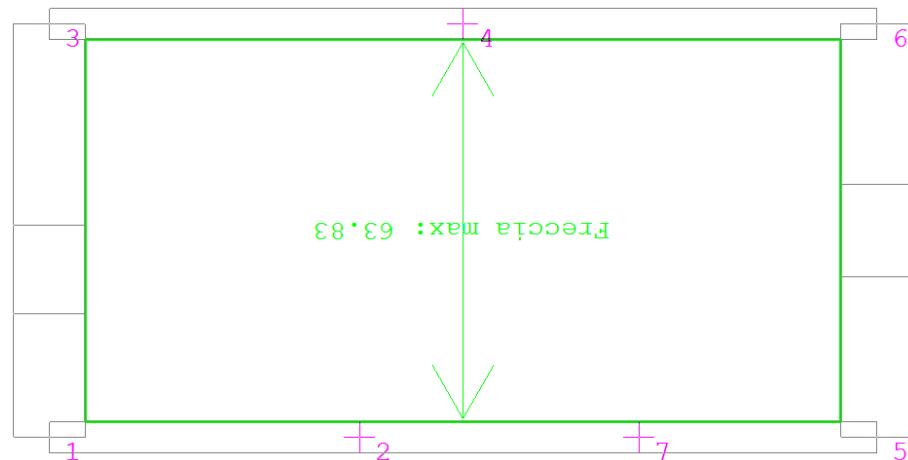
Esempio 1: la volta scarica sulle pareti tra i fili 1-3 e 5-6 (vedi figura successiva).



In questo caso la geometria è compatibile con le esigenze della volta in quanto poggia su due muri paralleli, i cui estremi hanno la stessa quota (le quote 1 e 3 della parete iniziale sono uguali. Lo stesso per le quote 5 e 6 della parete finale). Non sono presenti elementi in .c.a. o acciaio in prossimità della volta. I muri ortogonali (1-2, 2-7, 7-5, 3-4, 4-6), formano una poligonale chiusa. Nella seguente figura si riporta un visione 3D della volta.

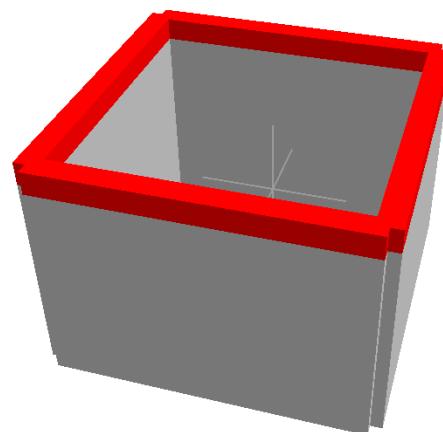


Esempio 2: la volta scarica sulle pareti tra i fili 1-2, 2-7, 7-5, 3-4, 4-6 (vedi figura successiva).



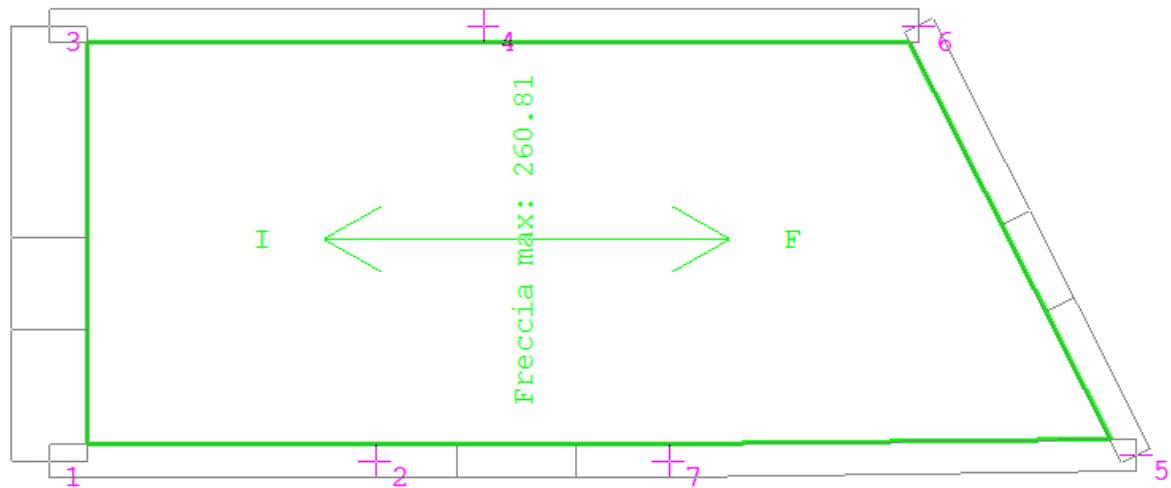
In questo caso non è possibile inserire la volta in quanto i muri di appoggio sono più di due.

Esempio 3: la volta poggia su cordoli in c.a. (vedi figura successiva).



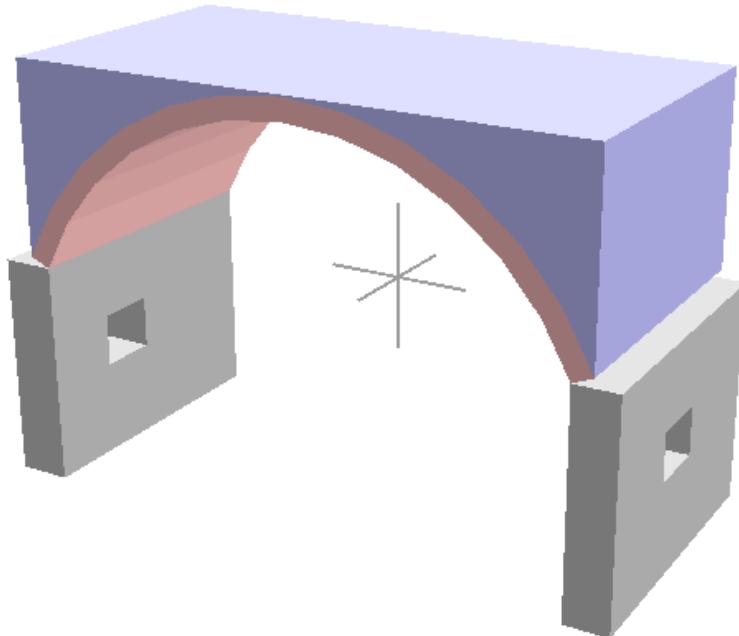
Non è possibile inserire la volta per la presenza del cordolo in c.a..

Esempio 4: la volta scarica sulle pareti tra i fili 1-3 e 5-6 (vedi figura successiva).



In questo caso non è possibile inserire la volta in quanto i muri 1-3 e 5-6 non sono paralleli.

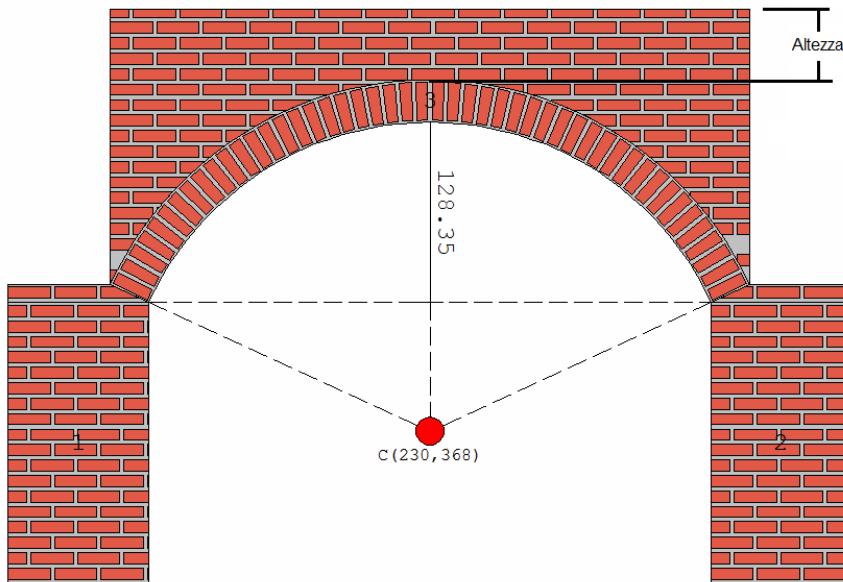
 **Introduci selezionando i fili fissi di contorno:** consente l'introduzione di volte sui fili fissi selezionati. In questo caso non è richiesto alle pareti di contorno di formare una poligonale chiusa. È possibile inserire la volta anche su due soli muri, per i quali è comunque richiesta la condizione di essere parallele e della stessa lunghezza. Nella figura successiva viene riportata una possibile configurazione per la volta:



All'atto dell'inserimento della volta con una delle modalità appena descritte, si attiva la seguente videata che consente di modellare la volta:



- A) Consente di definire il materiale della volta;
- B) Consente di definire lo spessore della volta;
- C) Consente di definire il raggio della volta (vedi figura precedente). Nei casi in cui non si conosce il raggio della volta, ma si conosce la freccia, è possibile determinare il valore corretto del raggio per tentativi (si modifica il raggio fino a quando si ottiene il valore corretto della freccia. Il valore di quest'ultima è riportato sulla visione in pianta della volta stessa);
- D) Abbassamento della quota d'imposta iniziale rispetto all'estremo superiore del muro (Hi nella precedente figura);
- E) Abbassamento della quota d'imposta finale rispetto all'estremo superiore del muro (Hf nella precedente figura);
- F) Direzione da attribuire alla volta. Si attribuisce come direzione primaria quella più corta per la volta stessa. Se si vuole ordire la volta in modo che scarichi sulle pareti a maggiore distanza, occorre spuntare il comando "Dir. Secondaria";
- G) Carico permanente sulla volta;
- H) Carico d'esercizio sulla volta;
- I) Incidenza tramezzi sulla volta;
- L) Consente di definire il materiale per il riempimento. Ai fini del calcolo strutturale, definire il materiale del riempimento serve solo ed esclusivamente per computare i carichi sulla volta. È possibile non considerare il riempimento selezionando la voce "Assente".
- M) Altezza del riempimento sopra la quota più alta dell'estradosso della volta. Se Altezza = 0, la quota più alta del riempimento coincide con la quota più alta dell'estradosso della volta (vedi figura successiva)



**Cancella:** consente la cancellazione di una volta. La cancellazione avviene cliccando con il tasto sinistro del mouse direttamente sull'elemento da cancellare.

**Modifica:** consente la modifica dei parametri della volta. Per modificare gli altri elementi di carico si deve utilizzare la funzione introduci e cambiare i parametri voluti.

**Copia Proprietà:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente all'elemento destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Cliccando sugli altri elementi verrà effettuata l'operazione di copia. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente cliccare con il tasto destro del mouse.

**Introduci multiplo:** consente l'introduzione multipla delle volte. L'introduzione avviene utilizzando il box di selezione in modo da racchiudere i muri interessati dalla volta. L'introduzione è possibile solo se le travi formano una maglia chiusa.

**Cancella box:** consente la cancellazione di più volte simultaneamente. La cancellazione avviene racchiudendo le platee da cancellare nel box di selezione.

**Copia Proprietà multiplo:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente a più elementi di destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Gli elementi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente bisogna cliccare con il tasto destro del mouse.

#### 1.4.2.16 – Carichi

Oltre al peso (e alle masse) degli elementi strutturali, è possibile introdurre i carichi delle sottostrutture o degli elementi di completamento della struttura. I carichi introducibili sono:

- **Solai e Balconi** (con progetto delle armature in fase di elaborazione);

- **Scale a mensola** (considerate come pannelli di carico agenti sulla trave);
- **Tamponamenti** (considerati come carichi distribuiti).

I carichi sulle travi sono introducibili attraverso il comando contrassegnato dalla seguente icona:



La pressione dell'icona abilita l'introduzione dei seguenti carichi:



Solaio



Balconi



Scale



Tamponamenti

Dalla scelta dei tipi di carico vengono attivati i seguenti comandi:

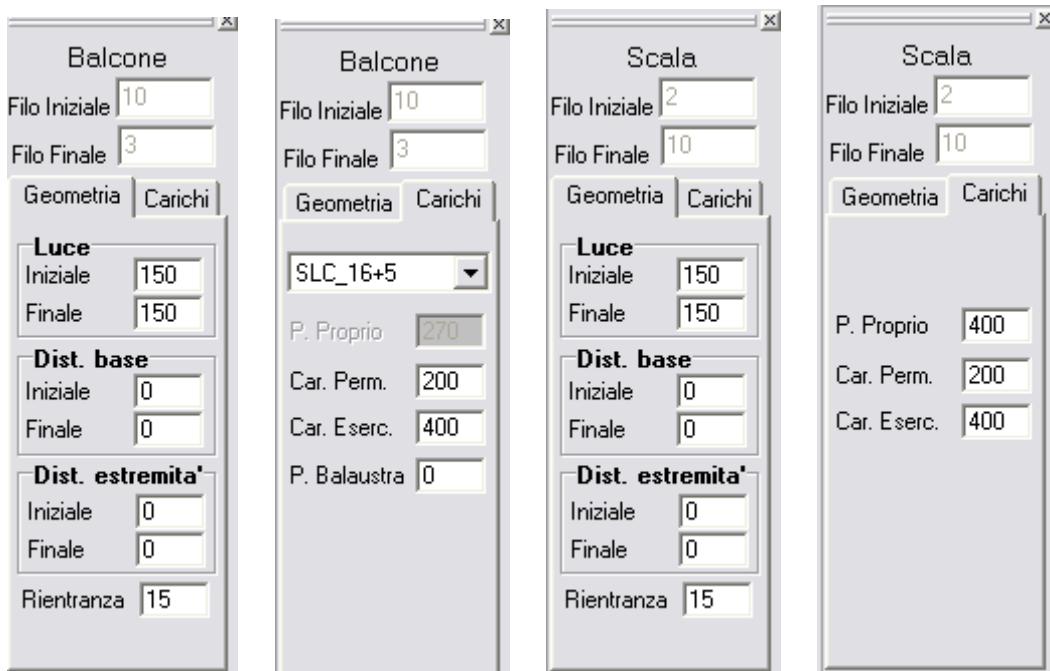


**Introduci:** consente l'introduzione dei carichi sulle travi desiderate. Nel caso di "Solaio", l'introduzione avviene cliccando consecutivamente con il tasto sinistro sulle aste (o pareti) in modo da formare una poligonale chiusa, la quale deve essere conclusa utilizzando il tasto destro del mouse. In alternativa, quando si ha una maglia chiusa (la maglia chiusa si ottiene quando un insieme di travi (o pareti) sono tra di loro collegati in modo che l'estremo finale dell'ultima trave (o parete) coincide con quello iniziale della prima trave (o parete)), il solaio può essere inserito posizionando il cursore del mouse all'interno della poligonale che definisce la maglia e cliccare successivamente con il tasto destro.

I parametri del solaio immesso sono definibili dalla seguente maschera che appare sul lato destro dello schermo:



Nel caso di "Balconi" e "Scale", l'introduzione avviene cliccando sull'asta da caricare e successivamente utilizzando il tasto sinistro del mouse per scegliere il lato dove l'elemento aggetta. I parametri del balcone o della scala immesso sono definibili dalla seguente maschera che appare sul lato destro dello schermo:



Infine, nel caso di “Tamponamenti”, è sufficiente cliccare con il tasto sinistro del mouse sulla trave desiderata. I parametri relativi ai tamponamenti sono definibili dalla seguente maschera che appare sul lato destro dello schermo:



**Cancella:** consente la cancellazione di un carico. In tutti i tipi di carico la cancellazione avviene cliccando con il tasto sinistro del mouse direttamente sull'elemento da cancellare.

**Modifica:** consente la modifica del solo tipo “Solai”. Per modificare gli altri elementi di carico si deve utilizzare la funzione introduci e cambiare i parametri voluti.

**Copia Proprietà:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente all'elemento destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Cliccando sugli altri elementi verrà effettuata l'operazione di copia. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente cliccare con il tasto destro del mouse.

**Introduci multiplo:** la funzionalità di tale comando è diversa in funzione del tipo di carico utilizzato. Nel caso del tipo “Solaio” l'introduzione avviene utilizzando il box di selezione in modo da racchiudere le travi interessate dal solaio. L'introduzione è possibile solo se le travi formano una

maglia chiusa. Nel caso del tipo "Balcone" o "Scala", è possibile introdurre una serie di elementi aventi lo stesso lato di aggetto. La scelta delle travi avviene attraverso il box di selezione. Successivamente si deve cliccare, con il tasto sinistro del mouse, su un'asta facente parte della selezione e scegliere il lato secondo le modalità descritte nell'introduzione. Infine, nel caso di "Tamponamenti", l'introduzione avviene racchiudendo le travi interessate dentro il box di selezione.



**Cancella box:** consente la cancellazione dei carichi dello stesso tipo su più aste simultaneamente. In tutti i tipi di carico la cancellazione avviene racchiudendo le aste contenenti i carichi da cancellare nel box di selezione.

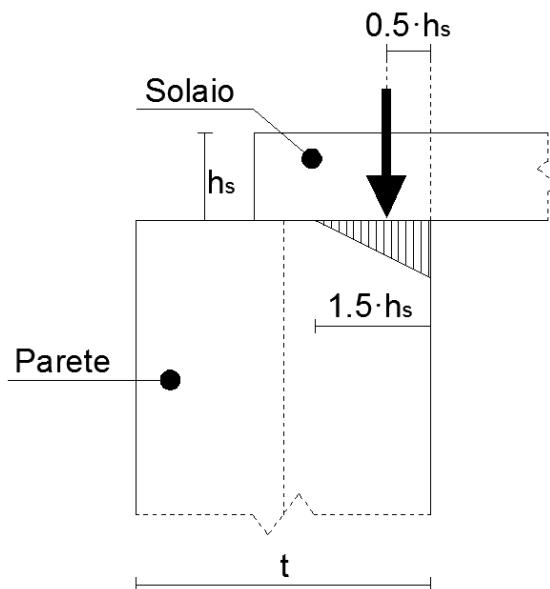


**Copia Proprietà multiplo:** abilita la possibilità di copiare le proprietà (tra quelle disponibili) dall'elemento sorgente a più elementi di destinazione. L'elemento sorgente viene selezionato al primo click del tasto sinistro del mouse dopo aver attivato la funzione. Gli elementi da cancellare sono selezionabili graficamente attraverso il box di selezione. Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. Per terminare l'operazione di copia o cambiare l'elemento sorgente cliccare con il tasto destro del mouse.

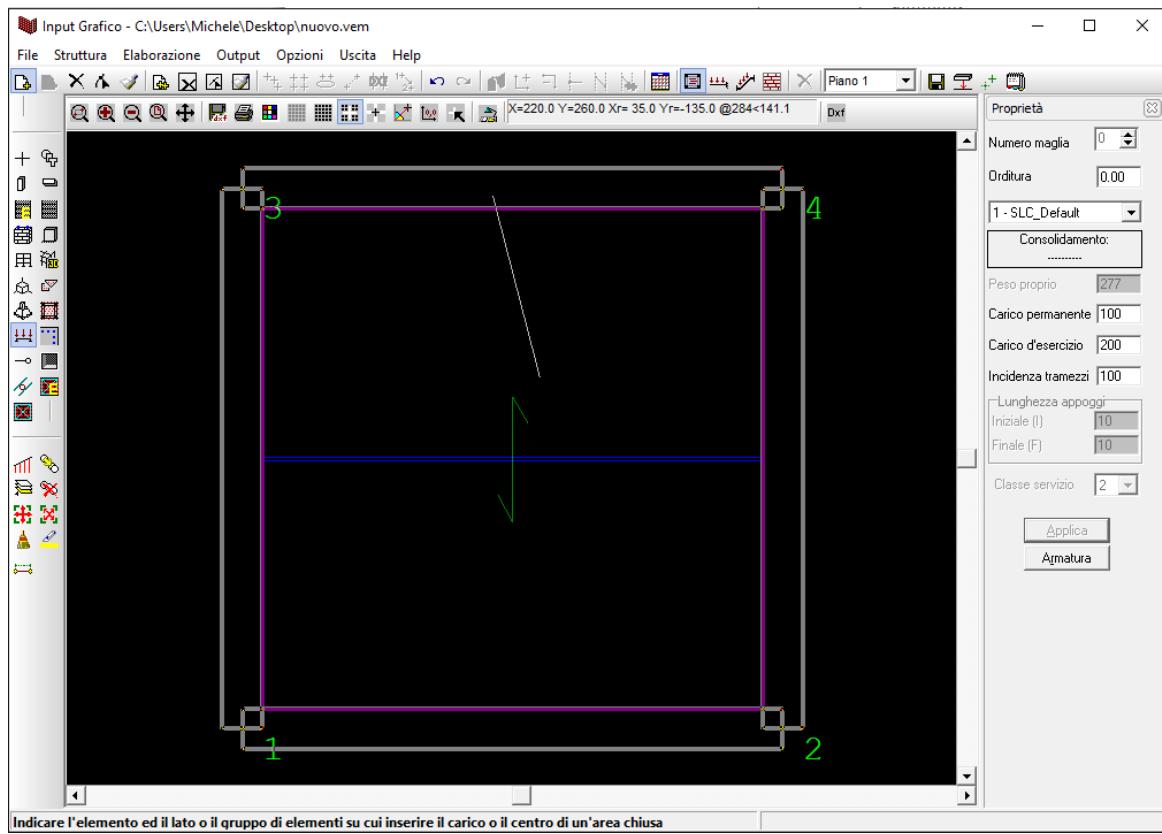
Per i solai, i balconi e le scale è possibile gestire la posizione del punto di applicazione della risultante dei carichi sulla parete (o trave) sottostante. In automatico il software considera le tensioni esercitate dal solaio sulla muratura sottostante con andamento triangolare per una lunghezza pari ad 1.5 volte l'altezza del solaio ( $h_s$  – vedi figura successiva).

Questa scelta implica che sulla testa della parete si crei automaticamente un'eccentricità pari a:

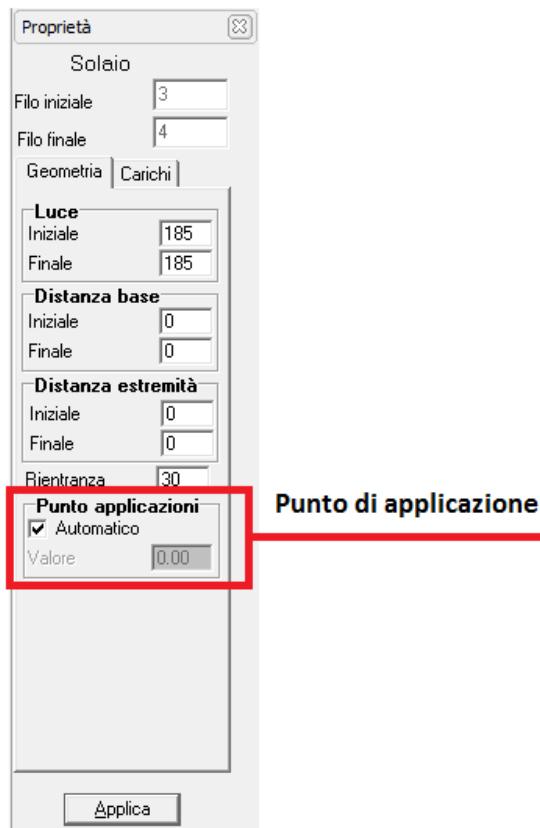
$$e = \frac{t - h_s}{2}$$



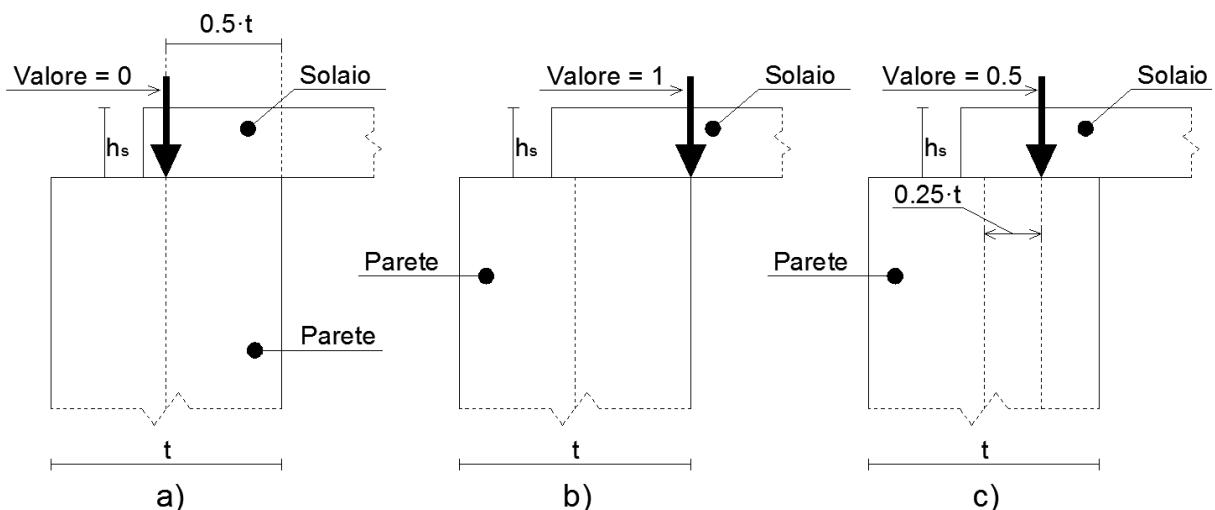
Il software dispone di una funzione che consente di posizionare la retta d'azione dei carichi verticali del solaio in una qualsiasi posizione all'interno dello spessore del muro stabilita dall'utente. Per attivare la funzione occorre selezionare il comando Introduci dei solai (o delle scale o dei balconi), posizionarsi con il cursore del mouse sul muro di cui si vuole modificare la retta d'azione dei carichi, cliccare col tasto sinistro del mouse e spostarsi verso il centro del solaio (a seguito di queste operazioni è visibile una linea bianca che va dal punto iniziale a quello finale del movimento del mouse - vedi figura successiva) e cliccare con il tasto destro.



A questo punto si attivano sul lato destro della videata i comandi evidenziati nella figura successiva dove compare la gestione dei dati “Punto applicazione”.



Se attivata l'opzione "Automatico" (vedi figura precedente) il punto di applicazione della forza verticale del solaio assume la posizione sopra riportata. Se l'opzione "Automatico" non è attiva, l'utente può scegliere la posizione del punto di applicazione della suddetta forza verticale. In quest'ultimo caso si attiva il dato "Valore", attraverso il quale è possibile stabilire la posizione da attribuire alla risultante. Il dato può assumere un valore compreso tra 0 ed 1. Se Valore = 0, la retta d'azione dei carichi del solaio è in asse al muro (vedi "a" della figura successiva). Se Valore = 1, la retta d'azione dei carichi del solaio coincide con la facciata interna (per facciata interna si intende quella dal lato del solaio) della parete (vedi "b" della figura successiva).



Se  $0 < \text{Valore} < 1$ , la retta d'azione della risultante dei carichi verticali del solaio assume una posizione intermedia tra il piano medio e la facciata interna della parete (vedi "c" della figura precedente).

#### 1.4.2.17 – Input Ferri Elementi c.a.

L'apertura dell'ambiente per l'input dei ferri degli elementi in cemento armato è subordinata alla pressione del tasto contrassegnato dalla seguente icona:



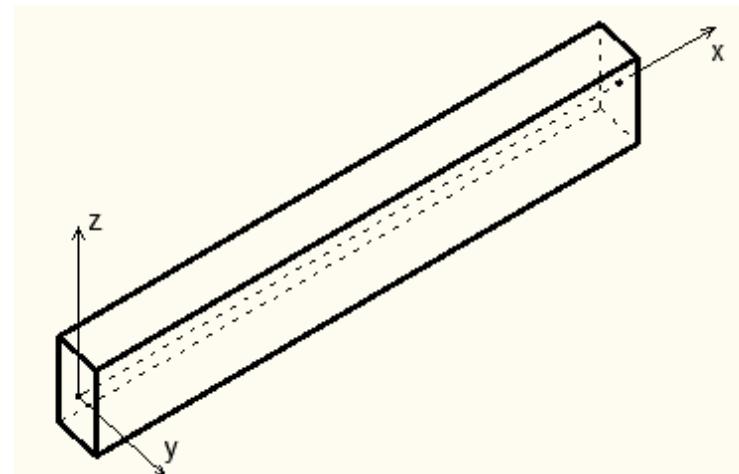
L'ambiente e tutti i comandi contenuti verranno trattato nella sezione '**L'Input dei ferri**' di seguito riportata.

#### 1.4.2.18 – Vincoli interni

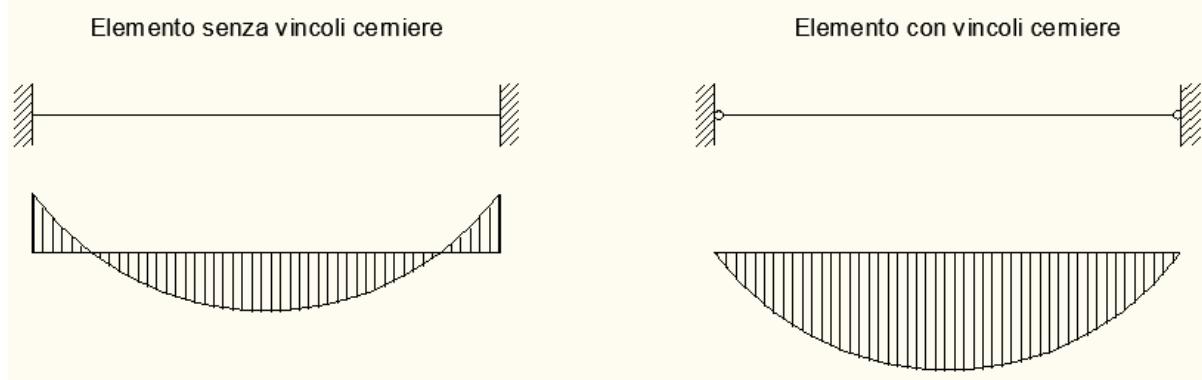
I vincoli interni sono inseribili cliccando sul comando contrassegnato dalla seguente icona:



È possibile inserire sugli estremi delle travi di elevazione il vincolo cerniera che svincola le rotazioni intorno all'asse y (vedi figura successiva).

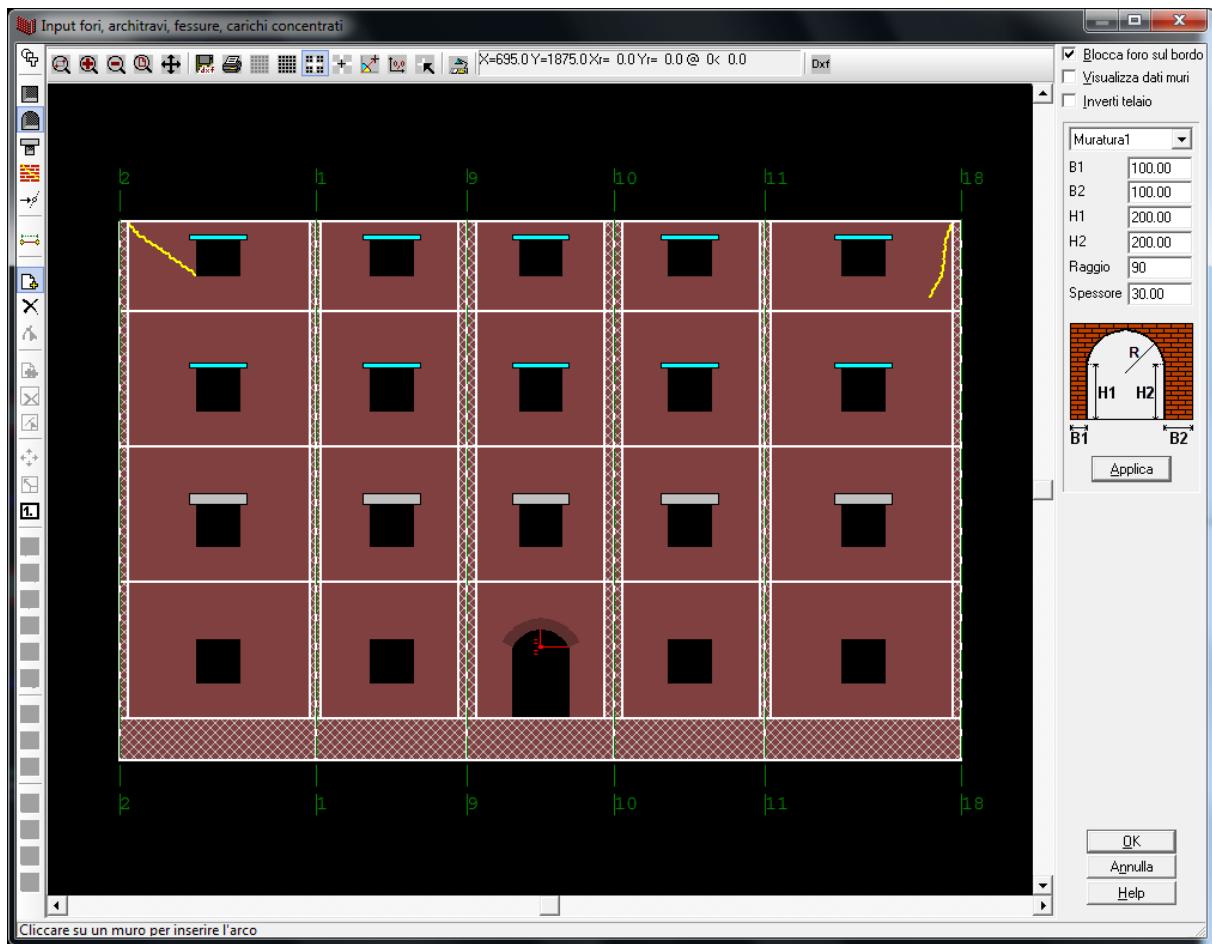


Se si decide di introdurre tale vincolo si passa dalla condizione di incastro perfetto alla condizione di semplice appoggio dell'elemento.



#### 1.4.2.19 – Introduzione di fori, archi, architravi, fessure e carichi concentrati su pareti

L'introduzione dei fori, degli archi, delle architravi, delle fessure e dei carichi concentrati può avvenire o per singole pareti o per intere facciate (previa definizione dei telai) cliccando sul comando “Fori, architravi, quadro fessurativo e carichi concentrate”. Al click viene aperta la seguente finestra se si sceglie di operare su singola parete:



In questo ambiente è possibile gestire i fori, le architravi e le fessure che si vogliono inserire nella parete.

 **Inserimento Foro:** questo pulsante attiva le funzioni per l'inserimento e la modifica dei fori. Ciccando sul pulsante si attivano:

 **Introduci:** consente l'introduzione grafica dei fori della parete. L'introduzione avviene disegnando sulla parete il foro, di forma rettangolare, cliccando con il tasto sinistro del mouse in modo da realizzare la diagonale del foro. Le dimensioni esatte del foro possono essere inserite dalle caselle di testo che si attivano in alto a destra della maschera:

X	220.0
Y	185.0
Larghezza	100.0
Altezza	105.0
Applica	

dove

- “X” è la coordinata orizzontale dell'inizio del foro a partire dal filo fisso iniziale
- “Y” è la coordinata verticale dell'inizio del foro a partire dalla quota del solaio
- “Larghezza” è la larghezza del foro

- “Altezza” è l’altezza del foro

 **Cancella:** consente la cancellazione del foro sul quale avviene il click con il tasto sinistro del mouse. Utilizzato anche per gli architravi.

 **Cancella box:** consente la cancellazione di tutti i fori racchiusi nel “box di selezione”. Il “box di selezione” si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. La cancellazione avviene cliccando una seconda volta con il tasto sinistro del mouse.

 **Sposta:** consente di spostare fori sulla superficie della parete. Lo spostamento avviene trascinando il foro tenendo cliccato il tasto sinistro del mouse fino alla nuova posizione. Durante lo spostamento vengono aggiornati dinamicamente i valori della posizione x e y relativi all'estremo in basso a sinistra del foro rispetto all'estremo in basso a sinistra della parete;

 **Ridimensiona:** consente di modificare graficamente le dimensioni dei fori. La modifica avviene cliccando all'interno del foro mantenendo il tasto sinistro del mouse fino alle nuove dimensioni. Durante lo stretch del foro vengono aggiornati dinamicamente i valori relativi a base e altezza;

 **Modifica numerica:** consente di modificare posizione e dimensioni dei fori attraverso l'introduzione numerica dei dati negli appositi campi posizionati nella parte destra della finestra;

 **Allinea a sinistra:** consente di allineare a sinistra i fori selezionati. La selezione avviene cliccando in sequenza sui fori. I fori selezionati saranno allineati al bordo sinistro del primo foro selezionato;

 **Allinea a destra:** consente di allineare a destra i fori selezionati. La selezione avviene cliccando in sequenza sui fori. I fori selezionati saranno allineati al bordo destro del primo foro selezionato;

 **Centra in orizzontale:** consente di allineare al centro in orizzontale i fori selezionati. La selezione avviene cliccando in sequenza sui fori. I fori selezionati saranno allineati rispetto alla mezzeria della larghezza del primo foro selezionato;

 **Allinea in alto:** consente di allineare in alto i fori selezionati. La selezione avviene cliccando in sequenza sui fori. I fori selezionati saranno allineati al bordo superiore del primo foro selezionato;

 **Allinea in basso:** consente di allineare in basso i fori selezionati. La selezione avviene cliccando in sequenza sui fori. I fori selezionati saranno allineati al bordo inferiore del primo foro selezionato;

 **Centra in verticale:** consente di allineare al centro in verticale i fori selezionati. La selezione avviene cliccando in sequenza sui fori. I fori selezionati saranno allineati rispetto alla mezzeria dell'altezza del primo foro selezionato;

 **Assegna stessa larghezza:** consente di assegnare la stessa larghezza ai fori selezionati. La selezione avviene cliccando in sequenza sui fori. I fori selezionati saranno modificati assegnando la larghezza del primo foro selezionato;



**Assegna stessa altezza:** consente di assegnare la stessa altezza ai fori selezionati. La selezione avviene cliccando in sequenza sui fori. I fori selezionati saranno modificati assegnando l'altezza del primo foro selezionato;



**Assegna le stesse dimensioni:** consente di assegnare le stesse dimensioni ai fori selezionati. La selezione avviene cliccando in sequenza sui fori. I fori selezionati saranno modificati assegnando le dimensioni del primo foro selezionato;



**Centra in orizzontale nel muro:** consente di centrare in orizzontale un foro rispetto alla porzione di muro che la contiene, intesa corrispondente alla parete introdotta nell'input grafico. Eventuali travi o cordoli sopra la parete saranno considerati appartenenti alla porzione.



**Centra in orizzontale nel muro - multiplo:** centra tutti i fori che sono racchiusi dal rettangolo di selezione secondo quanto detto al punto precedente;



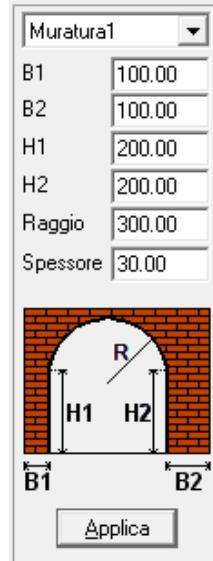
**Centra in verticale nel muro:** consente di centrare in verticale un foro rispetto alla porzione di muro che la contiene, intesa corrispondente alla parete introdotta nell'input grafico. Eventuali travi o cordoli sopra la parete saranno considerati appartenenti alla porzione.



**Centra nel muro:** consente di centrare in verticale e orizzontale un foro rispetto alla porzione di muro che la contiene, intesa corrispondente alla parete introdotta nell'input grafico. Eventuali travi o cordoli sopra la parete saranno considerati appartenenti alla porzione.



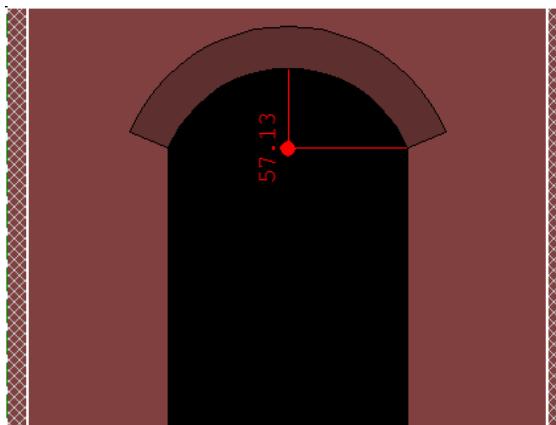
**Inserimento Archi:** questo pulsante attiva le funzioni per l'inserimento e la modifica degli archi. L'arco può essere definito attraverso i dati di input riportati nella seguente videata:



dalla quale è possibile definire la geometria ed il materiale di cui è composto. Si definiscono le seguenti quantità:

- **B1:** lunghezza del piedritto iniziale. Distanza tra l'estremo iniziale del muro e l'estremo iniziale dell'arco;
- **B2:** lunghezza del piedritto finale. Distanza tra l'estremo finale dell'arco e l'estremo finale del muro;
- **H1:** Altezza del piedritto iniziale;

- **H2:** Altezza del piedritto finale;
- **Raggio:** Raggio dell'arco. Nei casi in cui non si conosce il raggio dell'arco, ma si conosce la freccia, è possibile determinare il valore corretto del raggio per tentativi (si modifica il raggio fino a quando si ottiene il valore corretto della freccia – vedi figura successiva);



- **Spessore:** spessore dell'arco;



**Inserimento Architravi:** questo pulsante attiva le funzioni per l'inserimento e la modifica dell'architrave. È possibile inserire architravi in c.a., acciaio e legno. Per poter inserire l'architrave occorre definire precedentemente la tipologia da assegnare (vedi *Tipologie Sezioni*). Inoltre occorre stabilire le dimensioni dell'appoggio. È possibile stabilire il tipo di ammorsamento tra muratura ed architrave. Se l'ammorsamento si considera efficace l'architrave sarà verificata come un elemento incannato agli estremi, in caso contrario si considera come un elemento appoggiato agli estremi. Nel caso in cui si utilizzano architravi in acciaio c'è anche la possibilità di avere più profili affiancati o distanziati sullo spessore della muro.

Tipologie

Rettangolare  
Mat: Cls1

B	30.00
H	30.00

1

Appoggio [20.0]

Ammors. efficace

Selezionare la tipologia da assegnare all'architrave

Si inserisce la lunghezza di appoggio dell'architrave

Consente di aumentare il grado di vincolo dell'architrave agli appoggi. Se l'ammorsamento non è efficace si considera semplicemente appoggiata.

**Applica**

Premendo su questo pulsante si confermano le modifiche effettuate



**Introduci:** consente l'introduzione grafica delle architravi nella parete. L'introduzione avviene disegnando sul foro l'architrave.



**Cancella:** consente la cancellazione dell'architrave sulla quale avviene il click con il tasto sinistro del mouse.



**Modifica:** consente di modificare l'architrave sulla quale avviene il click con il tasto sinistro del mouse.



**Introduci box:** consente l'introduzione grafica delle architravi su tutti i fori racchiusi nel box di selezione. L'introduzione avviene disegnando sui fori l'architrave.



**Cancella box:** consente la cancellazione di tutte le architravi racchiusi nel "box di selezione". Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. La cancellazione avviene cliccando una seconda volta con il tasto sinistro del mouse.



**Modifica box:** consente di modificare tutte le architrave racchiusi nel "box di selezione".



**Inserimento fessure:** questo pulsante attiva le funzioni per l'inserimento e la modifica delle fessure.



**Introduci:** consente l'introduzione grafica delle fessure nella parete. L'introduzione avviene disegnando sulla parete la fessura, cliccando con il tasto sinistro del mouse in modo da realizzare la linea della fessura. Le dimensioni esatte della fessura possono essere inserite dalle caselle di testo che si attivano in alto a destra della maschera:

X iniziale	175.00
Y iniziale	120.00
X finale	290.00
Y finale	65.00
<input type="button" value="Applica"/>	

dove

- "X iniziale" è la coordinata orizzontale iniziale della fessura
- "Y iniziale" è la coordinata verticale iniziale della fessura
- "X finale" è la coordinata orizzontale finale della fessura
- "Y finale" è la coordinata verticale finale della fessura



**Cancella:** consente la cancellazione della fessura sulla quale avviene il click con il tasto sinistro del mouse.



**Cancella box:** consente la cancellazione di tutte le fessure racchiuse nel "box di selezione". Il "box di selezione" si effettua cliccando con il tasto sinistro sul piano di lavoro e trascinando il mouse lungo la diagonale del box stesso. La cancellazione avviene cliccando una seconda volta con il tasto sinistro del mouse.



**Sposta:** consente di spostare le fessure sulla superficie della parete. Lo spostamento avviene trascinando la fessura tenendo cliccato il tasto sinistro del mouse fino alla nuova posizione. Durante lo spostamento vengono aggiornati dinamicamente i valori della posizione x e y relativi all'estremo iniziale e finale della fessura;



**Ridimensiona:** consente di modificare graficamente le dimensioni delle fessure. La modifica avviene cliccando sulla fessura mantenendo il tasto sinistro del mouse fino alle nuove dimensioni. Durante lo stretch della fessura vengono aggiornati dinamicamente i valori relativi alla posizione x e y del punto iniziale e finale della fessura;



**Modifica numerica:** consente di modificare posizione e dimensioni delle fessure attraverso l'introduzione numerica dei dati negli appositi campi posizionati nella parte destra della finestra;



**Misura:** consente di misurare la distanza tra due vertici dei poligoni presenti. Per poligoni si intendono i fori inseriti e il profilo della parete. Cliccando sui vertici (evidenziati dal cambiamento del cursore) con il tasto sinistro del mouse viene visualizzata la finestra con i vari risultati:

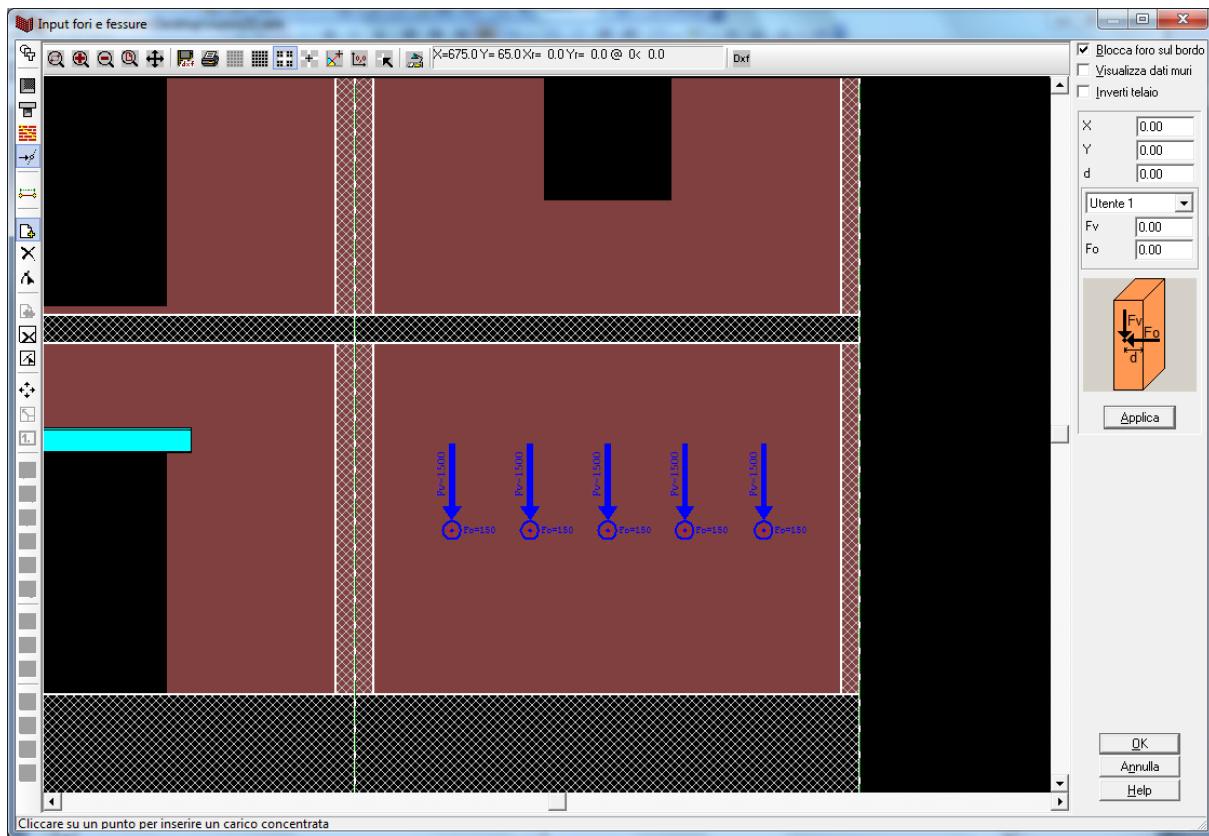


**Definisci tipologia:** consente di definire nuove tipologie di sezioni senza uscire dall'ambiente.

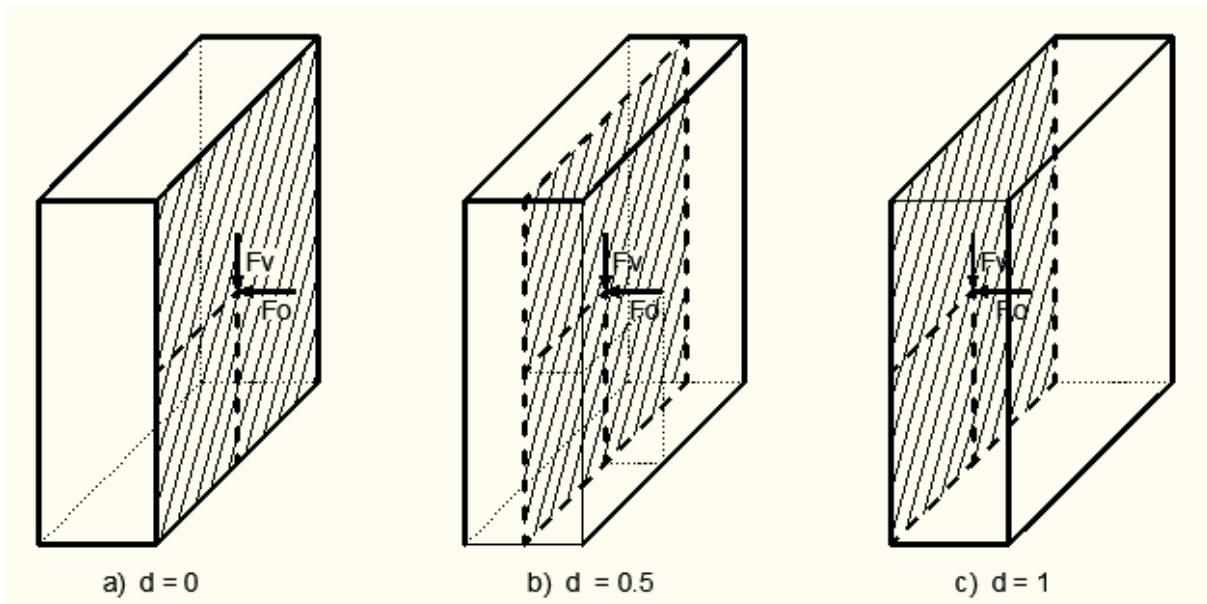


**Inserimento Carichi Concentrati:** Questo pulsante attiva le funzioni per l'inserimento e la modifica dei carichi concentrati

In VEM<sub>NL</sub> è possibile inserire carichi concentrati applicati direttamente sulle pareti. Ogni carico può essere Permanente, Esercizio, Utente. Nei primi due casi (Permanente, Esercizio), questi carichi, sotto l'effetto sismico generano inerzia. Nel terzo caso (Utente) sono considerati prive di massa. I carichi possono essere solo verticali nel caso delle tipologie Permanente ed Esercizio, mentre possono essere verticali ed orizzontali nel caso della tipologia Utente. Le forze concentrate verticali (Fv) sono positive se verso il basso, le forze orizzontali (Fo) positive se uscenti dalla parete.

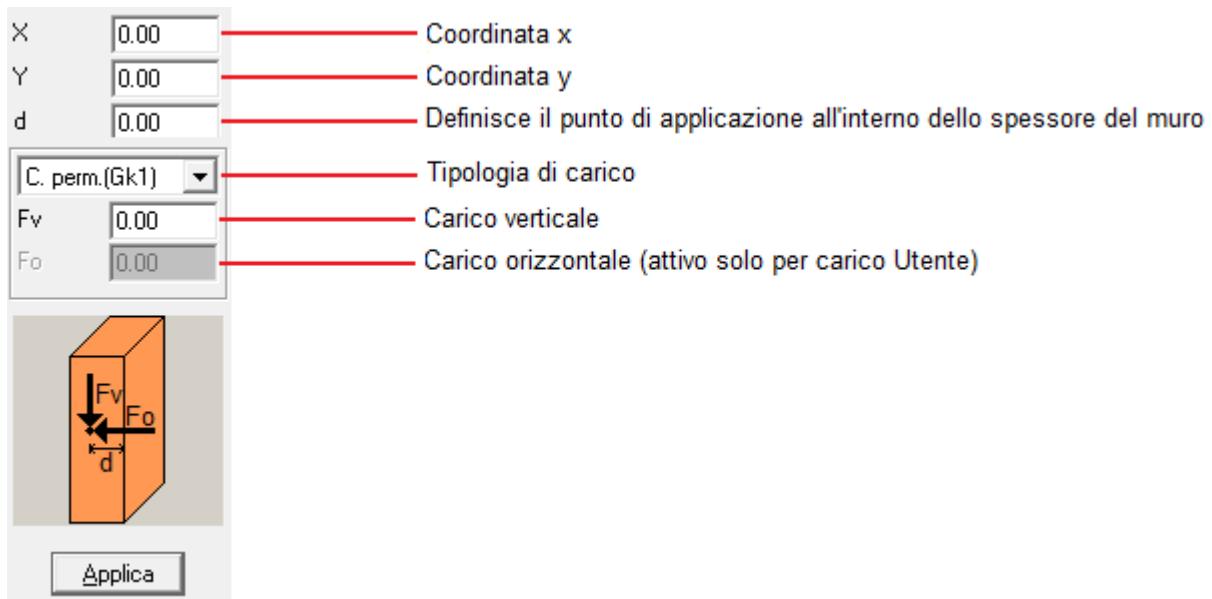


Il punto di applicazione dei carichi può anche essere interno allo spessore del muro. Questo parametro si gestisce tramite il dato "d" (vedi figura successiva). Se  $d = 0$  (caso "a" della figura successiva), la forza è applicata sulla superficie in vista della parete, se  $d = 1$  (caso "c" della figura successiva), la forza è applicata sul lato nascosto della parete, se  $d = 0.5$  (caso "b" della figura successiva), la forza è applicata sul piano medio del muro. Si possono avere altri punti di applicazione delle forze per qualsiasi valore di "d" compreso tra 0 e 1.



Per poter inserire una forza orizzontale occorre definire una condizione "Utente" dall'ambiente delle combinazioni di carico contrassegnato con l'icona .

I dati da inserire per definire una carico concentrato sono riportate nella figura successiva:



Le coordinate (x,y) del punto di applicazione dei carichi sono riferite al vertice in basso a sinistra di ogni singolo muro.

#### 1.4.2.20 – Editor consolidamenti

La definizione delle tipologie dei consolidamenti da utilizzare avviene tramite il tasto che presenta la seguente icona:

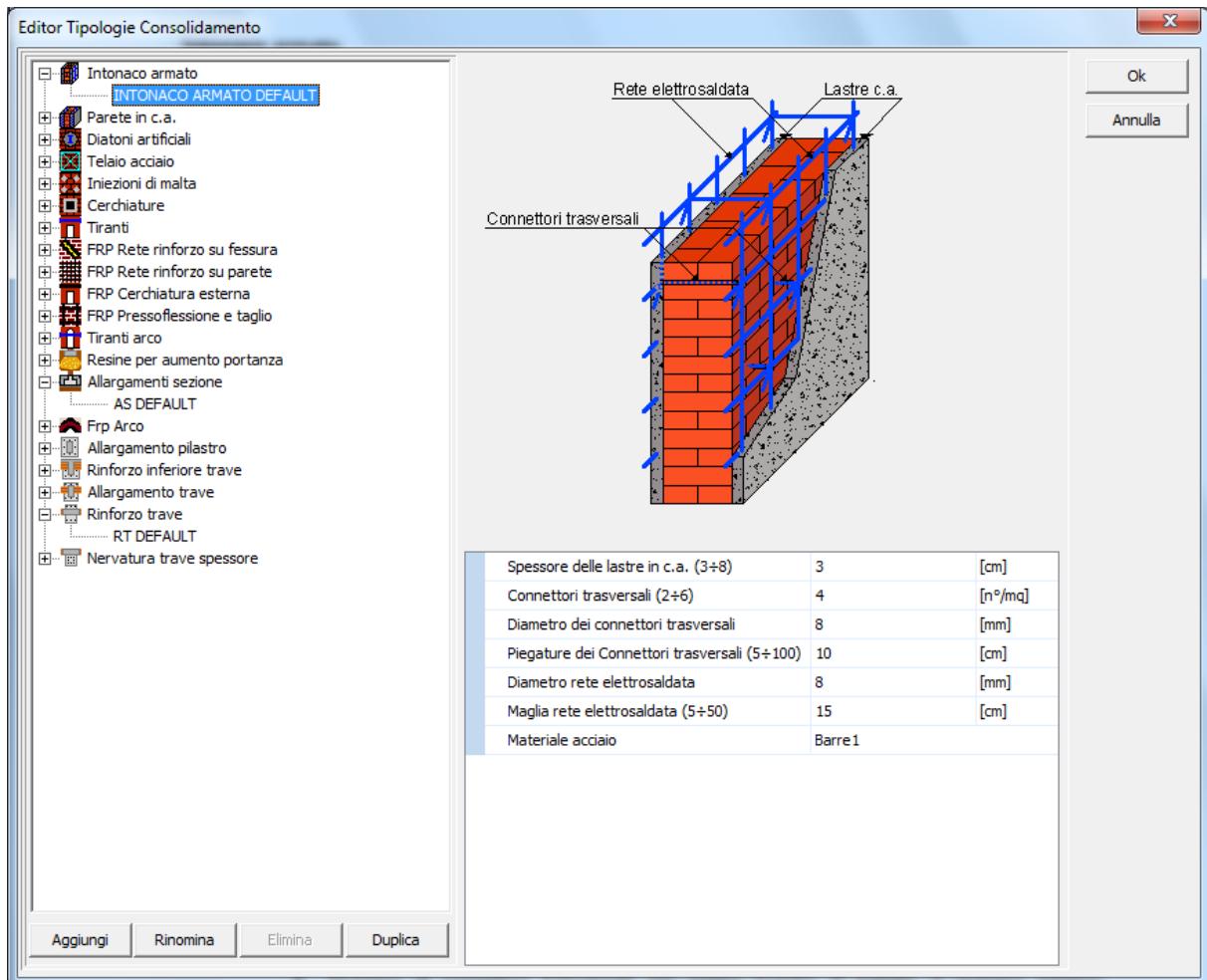


Alla pressione del tasto appare la maschera di definizione delle seguenti tipologie di consolidamento:

- **Intonaco armato;**
- **Pareti in c.a.;**
- **Diatoni artificiali;**
- **Telaio acciaio;**
- **Iniezioni di malta;**
- **Cerchiature;**
- **Tiranti;**
- **Cuciture di lesioni con reti FRP;**
- **Intonaco armato con reti FRP;**
- **Cerchiature esterne con fasce FRP;**
- **Rinforzo a flessione e taglio nel piano e fuori piano con fasce FRP;**
- **Tiranti su volte;**
- **FRP su volte;**
- **Sistema CAM;**
- **Resine per aumento portanza;**
- **Allargamento sezione di fondazione;**
- **Consolidamento con micropali;**
- **Allargamento pilastro;**
- **Rinforzo inferiore trave;**
- **Allargamento trave;**
- **Rinforzo trave;**
- **Nervatura trave spessore.**

I dati da inserire sono diversi in funzione della tipologia di consolidamento da utilizzare. Per ognuna delle suddette tipologie di consolidamento si riportano le corrispondenti videate che consentono di definire le caratteristiche dello stesso consolidamento.

### Intonaco armato

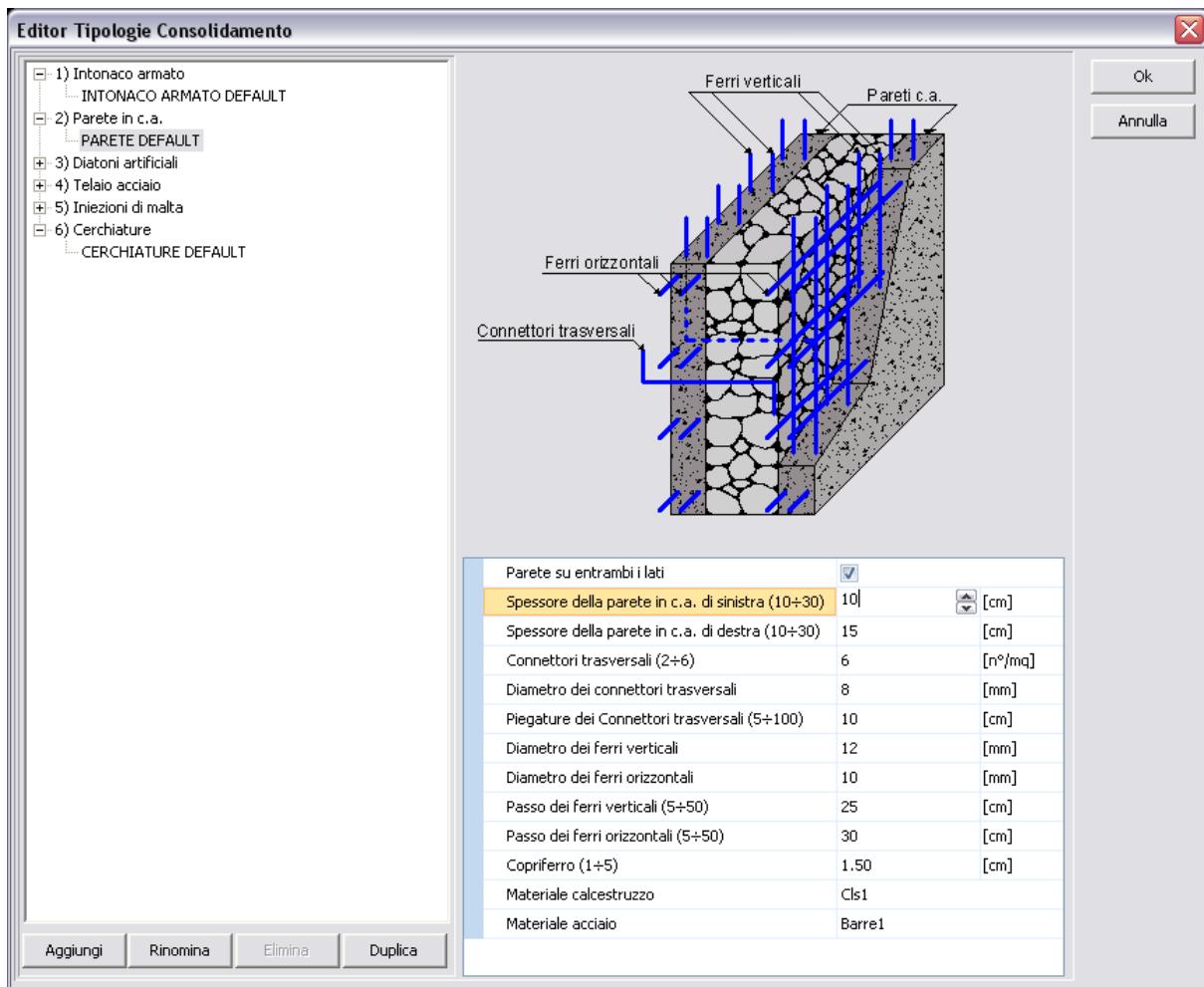


Ogni tipologia di intonaco armato è composta da due lastre di cemento, una per lato.

I dati da inserire per definire la tipologia sono:

- Spessore delle lastre in calcestruzzo. Lo spessore minimo utilizzabile è di 3 cm, mentre quello massimo è di 8 cm
- Numero di connettori trasversali per metro quadro di parete. Il numero minimo utilizzabile è 2, il massimo 6
- Diametro dei connettori trasversali. Il valore minimo è di 6 mm, mentre il massimo è 12 mm
- Lunghezza delle piegature dei connettori trasversali. La lunghezza minima prevista è di 5 cm, mentre la lunghezza massima è di 100 cm.
- Diametro della rete eletrosaldata. Il valore minimo è di 6 mm, mentre il massimo è 16 mm
- Dimensioni della maglia della rete eletrosaldata. Valore minimo 5 cm, valore massimo 50 cm
- Materiale utilizzato per l'acciaio della rete eletrosaldata

## Pareti in c.a.

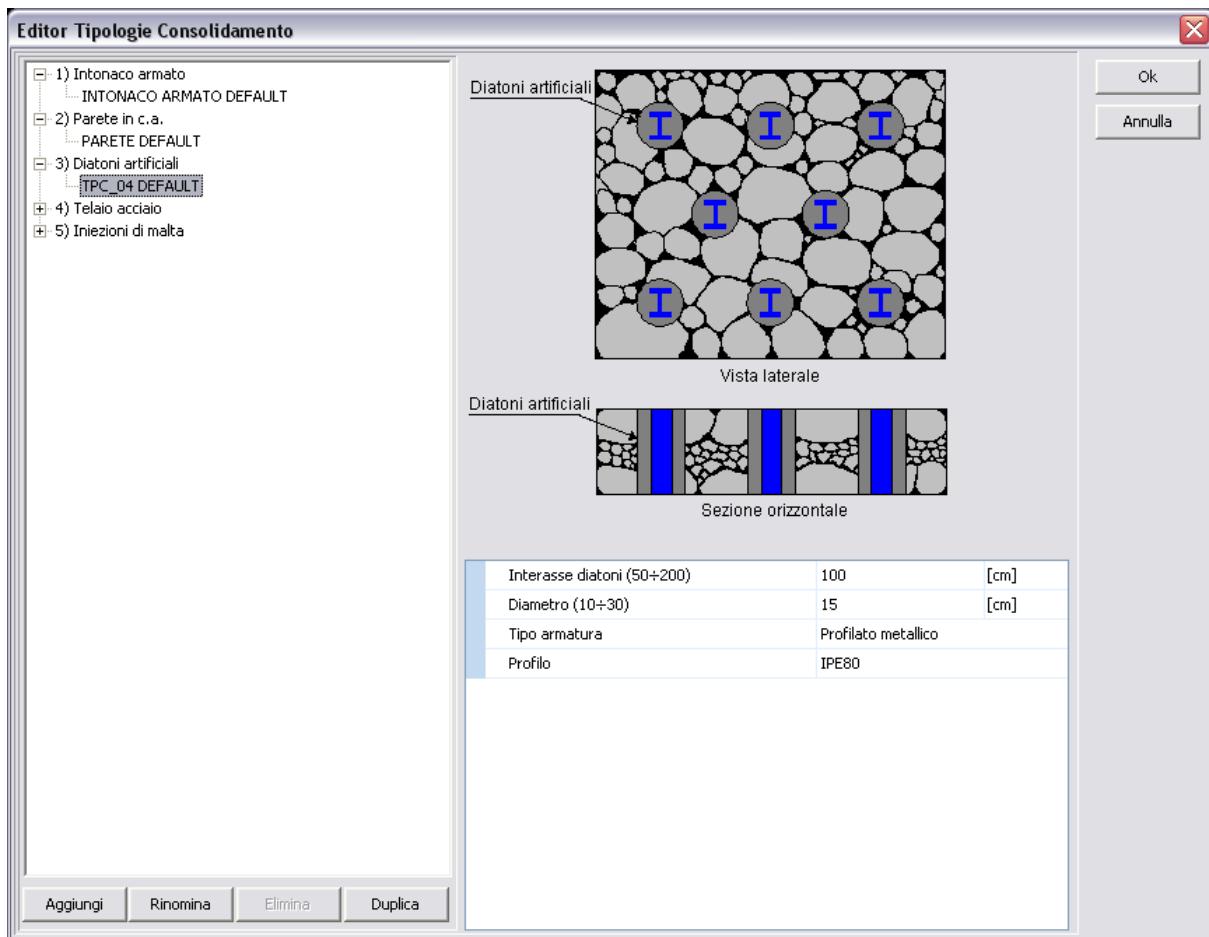


Ogni tipologia può essere formata da una o due pareti.

I dati da inserire per definire la tipologia sono:

- Se attivo, la parete in cemento armato è presente sul entrambi i lati della muratura
- Spessore della parete di sinistra. Spessore minimo 10 cm, spessore massimo 30 cm
- Spessore della parete di destra. Spessore minimo 10 cm, spessore massimo 30 cm
- Numero di connettori trasversali per metro quadro di parete. Valore minimo 2, valore massimo 6
- Diametro dei connettori trasversali. Valore minimo 6 mm, valore massimo 12 mm
- Lunghezza delle piegature dei connettori trasversali. La lunghezza minima prevista è di 5 cm, mentre la lunghezza massima è di 100 cm.
- Diametro dei ferri verticali. Valore minimo 8 mm, valore massimo 32 mm
- Diametro dei ferri orizzontali. Valore minimo 8 mm, valore massimo 32 mm
- Passo dei ferri verticali. Valore minimo 5 cm, valore massimo 50 cm
- Passo dei ferri orizzontali. Valore minimo 5 cm, valore massimo 50 cm
- Copriferro. Valore minimo 1.5 cm, valore massimo 5 cm
- Materiale utilizzato per il calcestruzzo
- Materiale utilizzato per l'acciaio

## Diatoni artificiali



L'armatura dei diatoni artificiali può essere costituita da profilati metallici o da armatura per cemento armato.

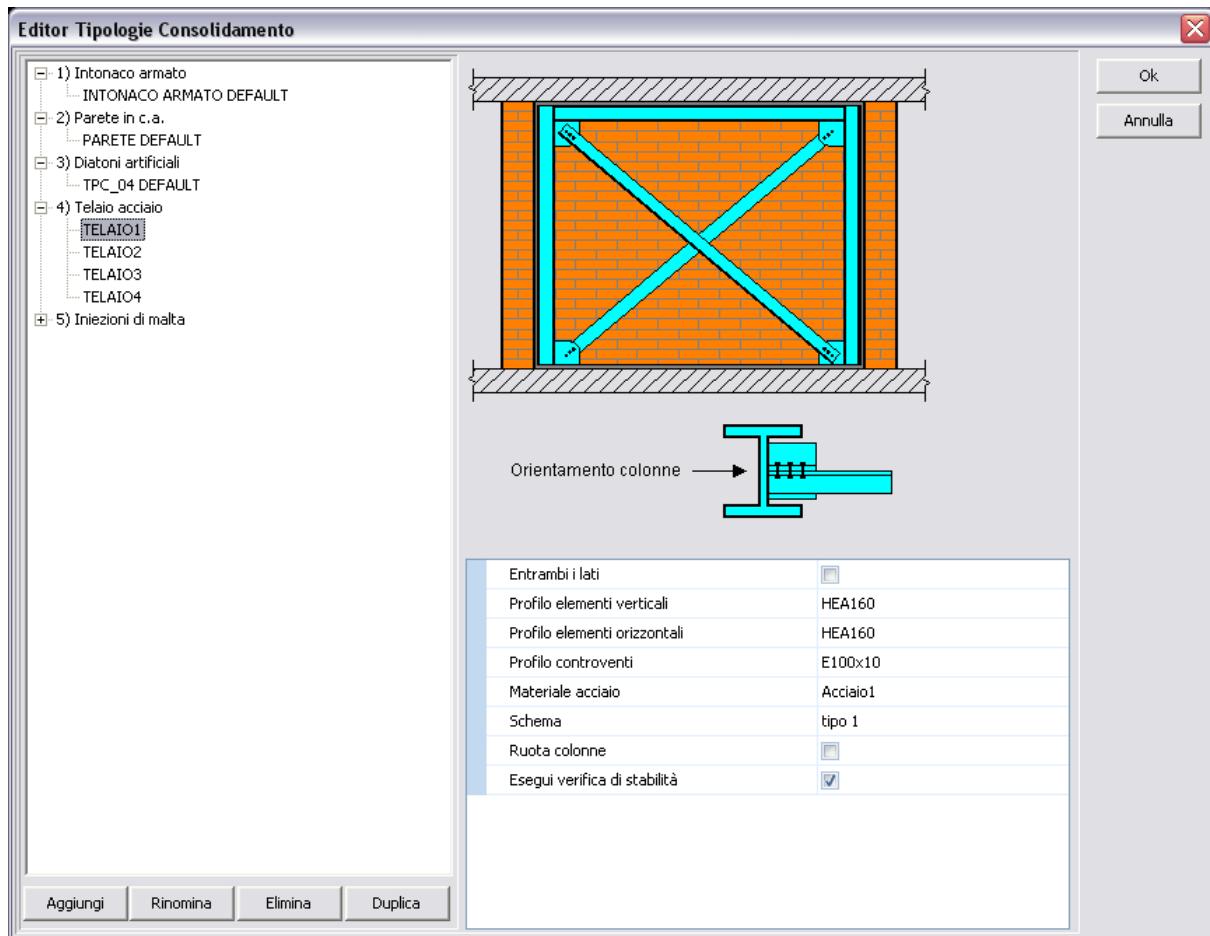
Nel primo caso i dati da inserire sono:

- Interasse tra due diatoni artificiali. Valore minimo 50 cm, valore massimo 200 cm
- Diametro dei diatoni artificiali. Valore minimo 10 cm, valore massimo 30 cm
- Scelta della tipologia di armatura
- Scelta del profilo da utilizzare. Il profilato deve essere compatibili con le dimensioni dei diatoni. Nel caso in cui non lo fosse, il software segnala all'utente tale incompatibilità

Nel secondo caso i dati da inserire sono:

- Interasse tra due diatoni artificiali. Valore minimo 50 cm, valore massimo 200 cm
- Diametro dei diatoni artificiali. Valore minimo 10 cm, valore massimo 30 cm
- Numero di barre di armatura longitudinale. Valore minimo 4, valore massimo 8
- Diametro delle barre di armatura longitudinale dei diatoni. Valore minimo 6 mm, valore massimo 16 mm
- Passo delle staffe. Valore minimo 4 cm, valore massimo 15
- Diametro delle staffe dei diatoni. Valore minimo 6 mm, valore massimo 12 mm

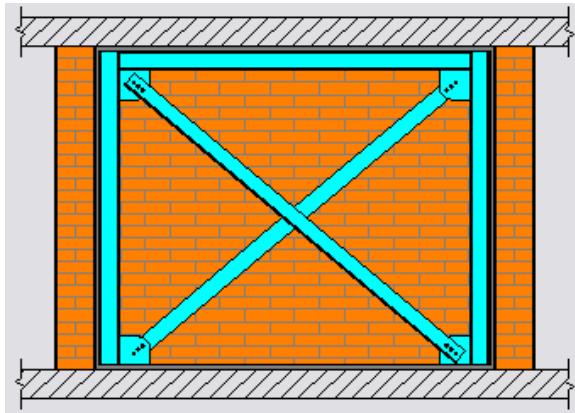
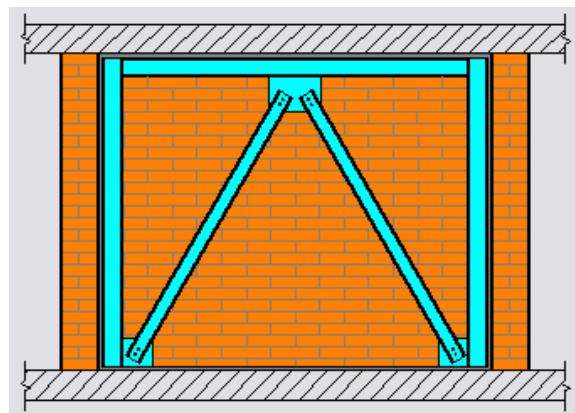
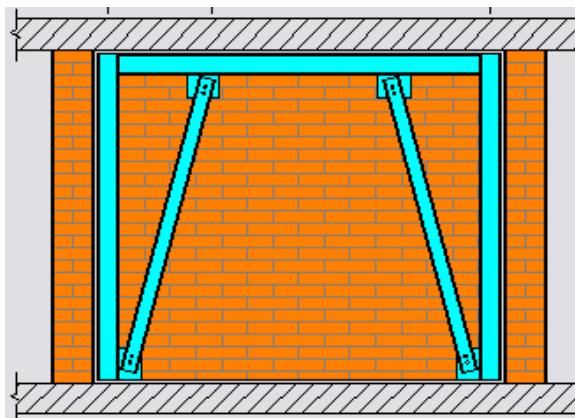
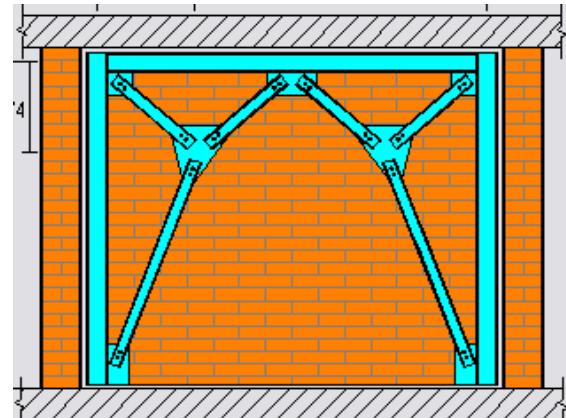
## Telaio acciaio



È possibili utilizzare quattro tipologie diverse come intelaiatura metallica. In tutti i quattro casi i dati da inserire sono:

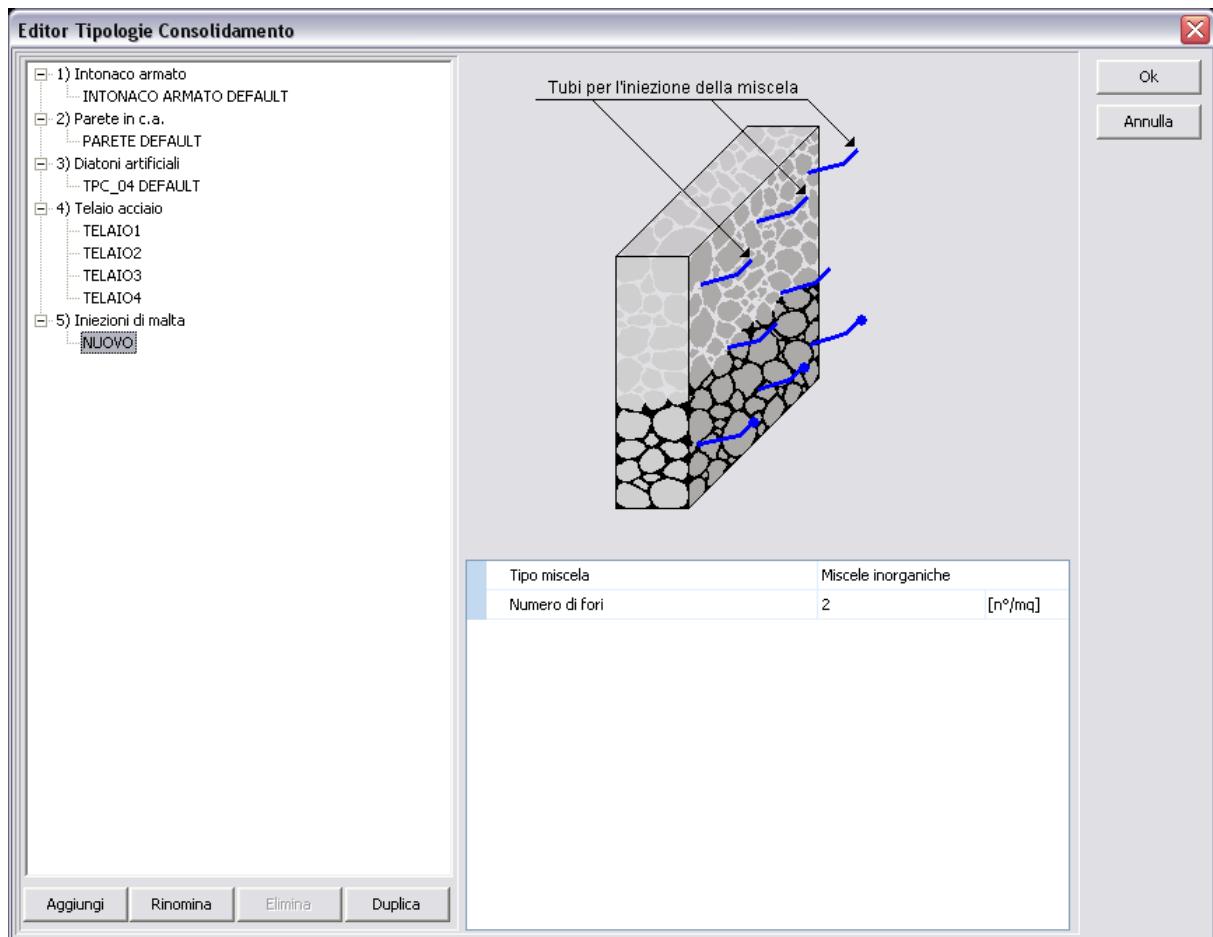
- Se il telaio è presente su entrambi i lati della parete
- Scelta del profilo per le colonne
- Scelta del profilo per la trave
- Scelta del profilo per i controventi
- Materiale utilizzato per l'acciaio
- Tipologia di telaio da utilizzare
- Orientamento delle colonne
- Verifica a stabilità

Le quattro tipologie di telai previsti sono:

**Tipologia 1****Tipologia 2****Tipologia 3****Tipologia 4**

Per le colonne e le travi delle tipologie 1, 2, 3, 4 si possono utilizzare i profilati IPE, HEA, HEB ed HEM. Mentre per quanto riguarda i controventi, per la tipologia 1 si possono utilizzare come profili IPE, HEA, HEB, HEM, E, L, UAP ed UPN, mentre per le tipologie 2, 3, 4 si possono utilizzare i profili E, L, UAP ed UPN.

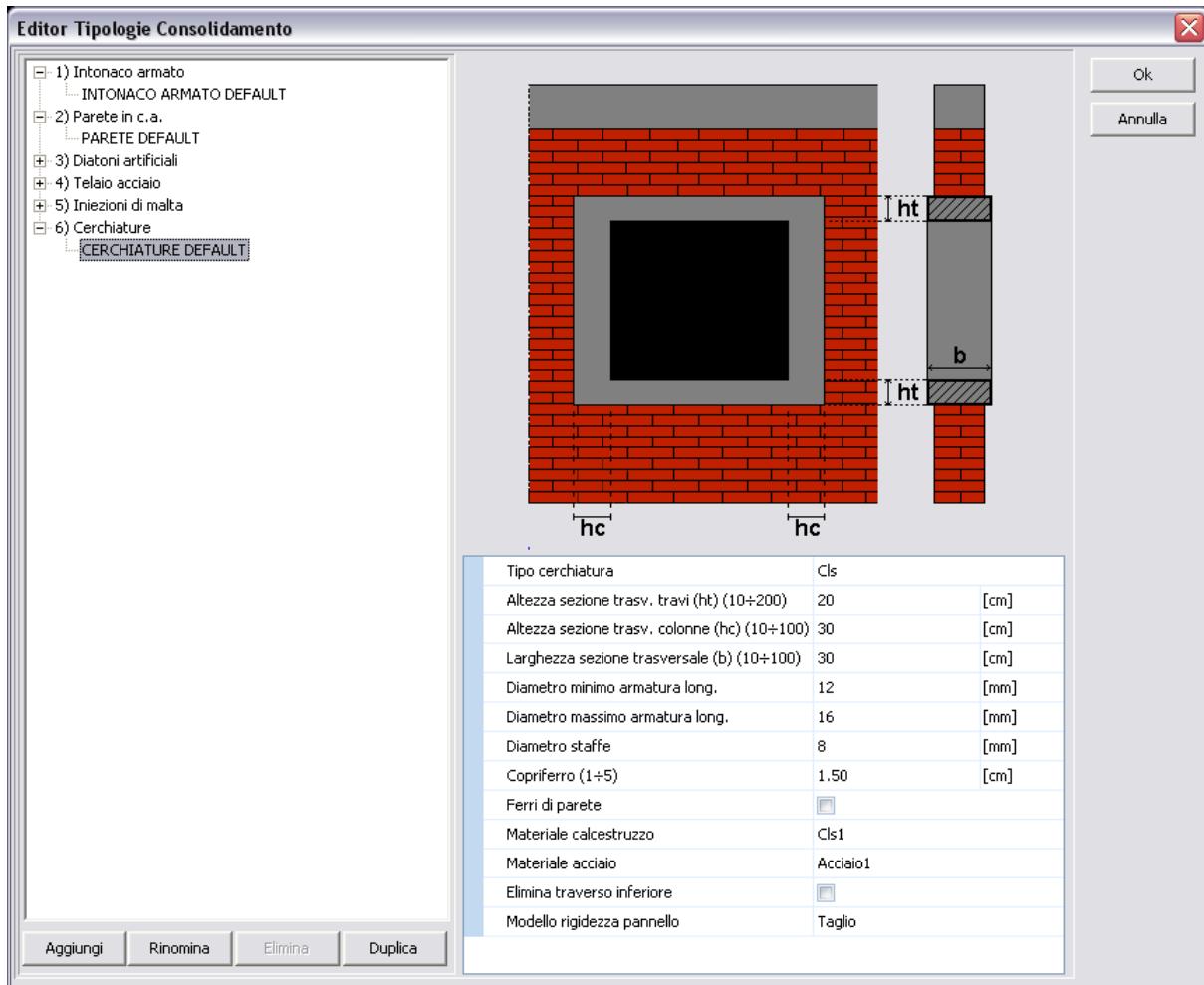
## Iniezioni di malta



Per questa tipologia i dati di input necessari sono:

- Il tipo di miscela che può essere inorganica o a base di resine
- Il numero di fori per le iniezioni a metro quadro.

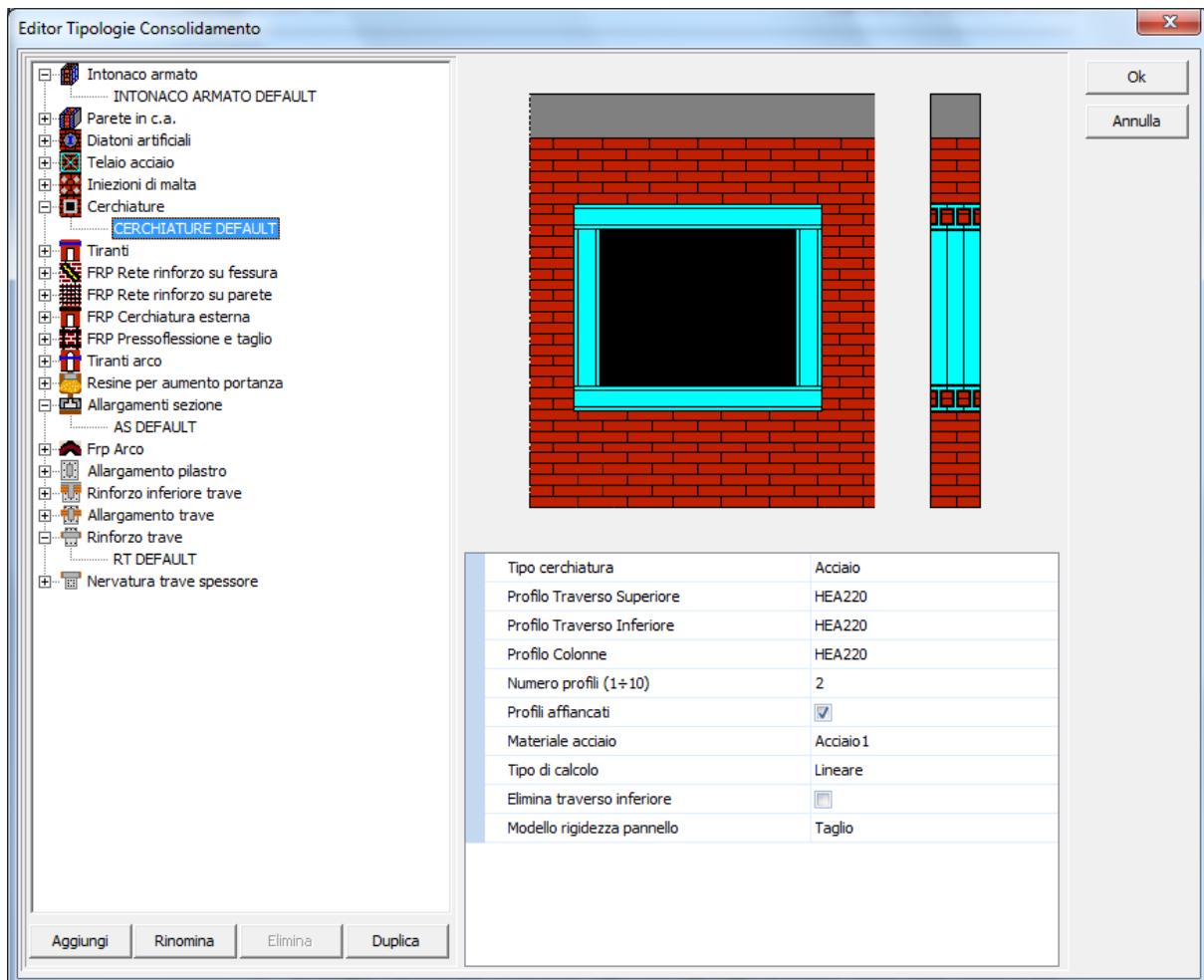
## Cerchiature di calcestruzzo



In seguito vengono descritti i dati d'input per questa tipologia di cerchiature:

- Tipo cerchiatura: cls o acciaio;
- Si stabilisce l'altezza della sezione trasversale dei traversi (ht). Tale dimensione deve essere compresa tra 10 e 200 cm;
- Si stabilisce l'altezza della sezione trasversale delle colonne (hc). Tale dimensione deve essere compresa tra 10 e 100 cm;
- Si stabilisce la larghezza della sezione trasversale per i traversi e le colonne (b). Tale dimensione deve essere compresa tra 10 e 100 cm;
- Si definisce il diametro minimo dell'armatura longitudinale (valori ammessi da 8 a 24 mm);
- Si definisce il diametro massimo dell'armatura longitudinale (valori ammessi da 8 a 24 mm);
- Si definisce il diametro delle staffe (valori ammessi 8-10-12);
- Coprifero. Valore minimo 1.5 cm, valore massimo 5 cm;
- Da la possibilità di inserire i ferri di parete;
- Si sceglie il materiale per il calcestruzzo;
- Si sceglie il materiale per le barre di armatura;
- Da la possibilità di eliminare il traverso inferiore;
- Scelta del tipo di modellazione della cerchiatura (vedi capitolo “Consolidamento per edifici in muratura”).

## Cerchiature di acciaio

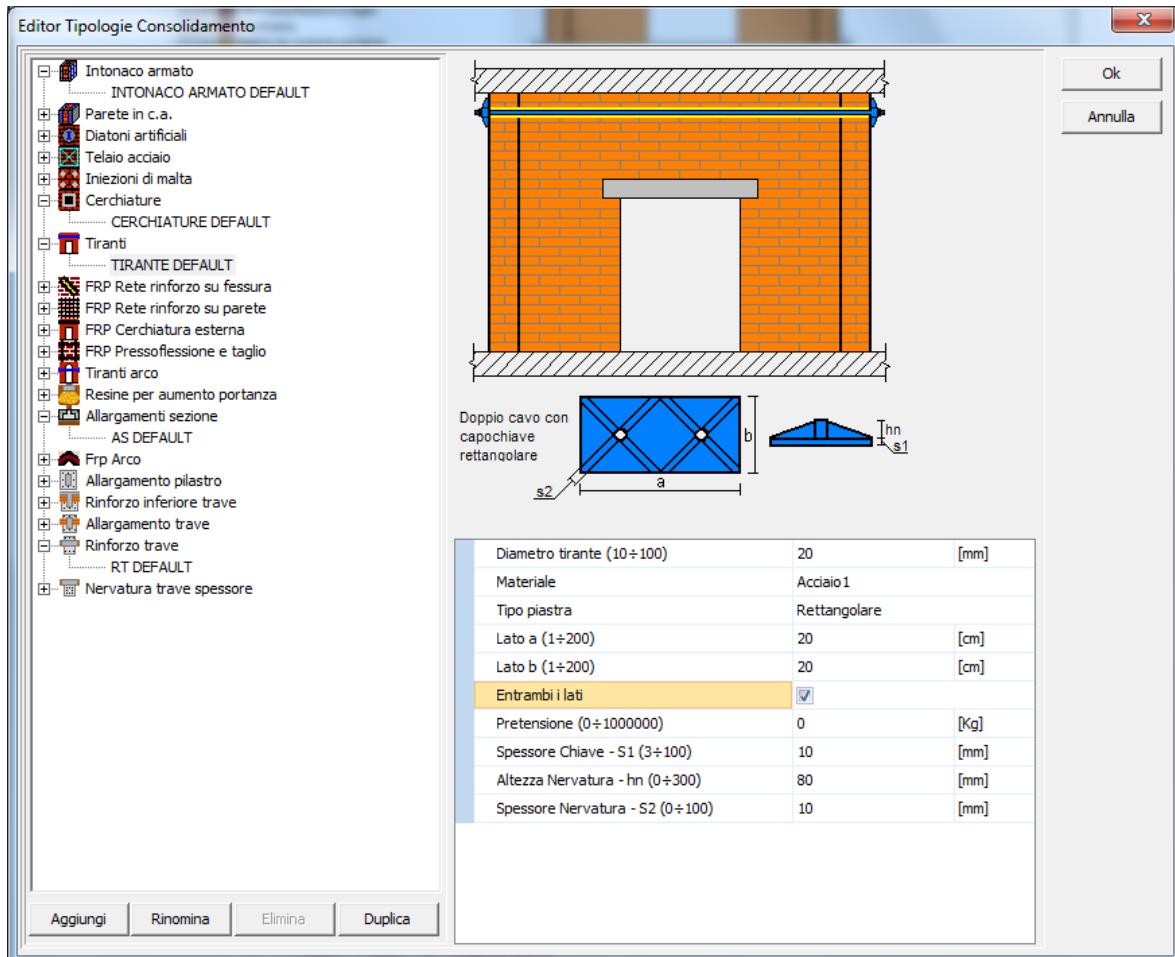


In seguito vengono descritti i dati d'input per questa tipologia di cerchiature:

- Tipo cerchiatura: cls o acciaio;
- Si sceglie il profilo per il traverso superiore (tipologie possibili: HEA, HEB, HEM, IPE);
- Si sceglie il profilo per il traverso inferiore (tipologie possibili: HEA, HEB, HEM, IPE, RP);
- Si sceglie il profilo per le colonne (tipologie possibili: HEA, HEB, HEM, IPE);
- Si sceglie il numero di profili affiancati di cui è composta la cerchiatura;
- Se attivo i profili si considerano affiancati, viceversa sono distanziati su tutto lo spessore del muro;
- Si sceglie il materiale per l'acciaio;
- Si stabilisce il tipo di calcolo. Per le cerchiature in acciaio è possibile effettuare il calcolo sia lineare che non lineare;
- Da la possibilità di eliminare il traverso inferiore;
- Scelta del tipo di modellazione della cerchiatura (vedi capitolo “Consolidamento per edifici in muratura”).

### Tiranti metallici su pareti

È possibile inserire tiranti con capochiave circolare , rettangolare (o quadrato) ed a paletto



Per questa tipologia di tirante vengono richiesti i seguenti dati:

- Diametro tirante;
- Materiale;
- Tipo di piastra: si può scegliere tra circolare e rettangolare
- Pretensione: È possibile affidare al tirante una pretensione iniziale
- Spessore Chiave – S1: Spessore della piastra di cui è costituito il capo chiave
- Altezza della nervatura – hn: Altezza della nervatura di irrigidimento della piastra
- Spessore della nervatura – S2: Spessore della nervatura di irrigidimento della piastra

Nel caso di capochiave rettangolare (o quadrato) si ha:

- Lato a: larghezza del capochiave
- Lato b: altezza del capochiave
- Entrambi i lati: se attivo, inserisce due tiranti nel muro, uno per lato

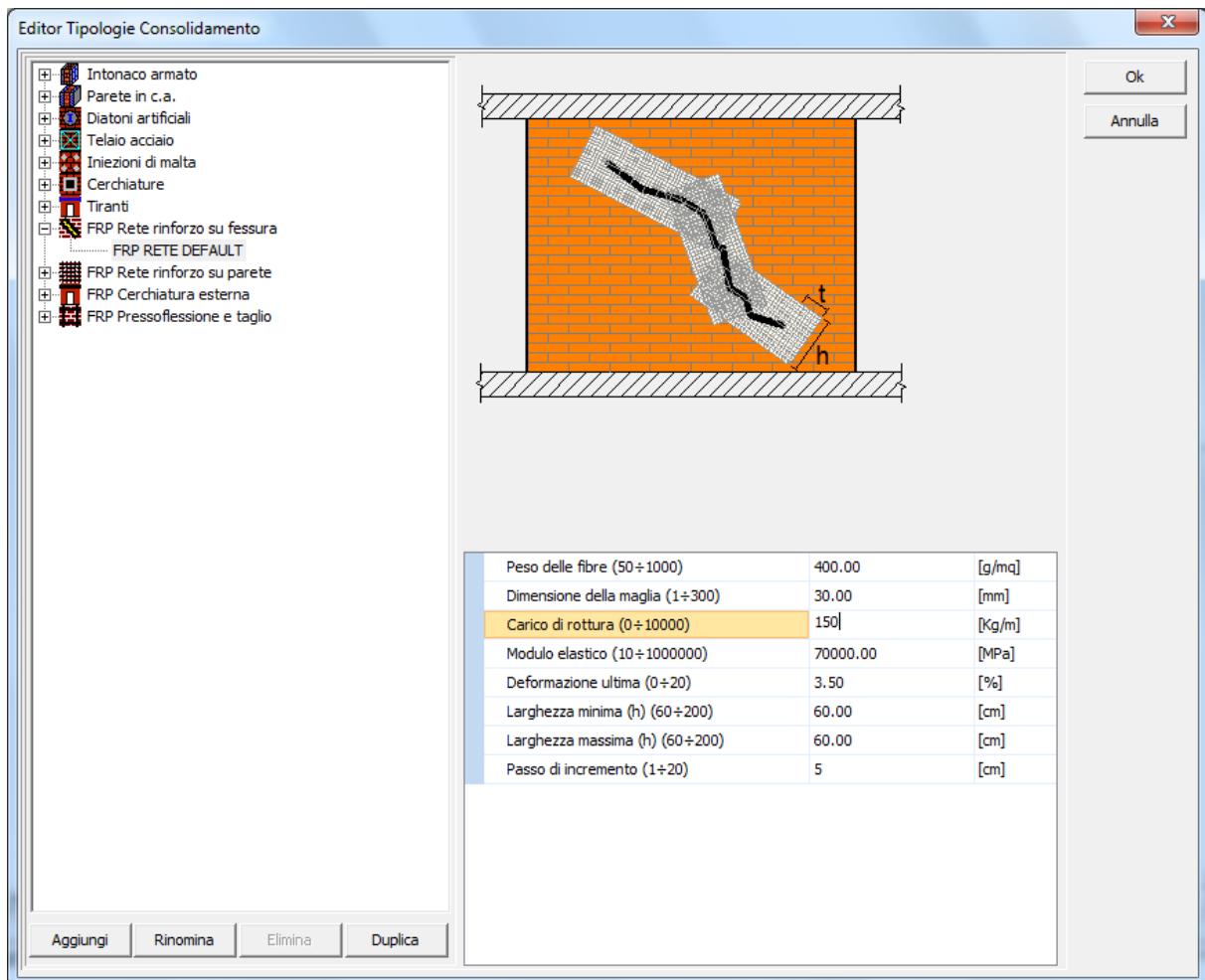
Nel caso di capochiave circolare si ha:

- Raggio: raggio del capochiave

Nel caso di capochiave a paletto:

- Lato a: lato lungo del capo chiave;
- Lato b: larghezza del capo chiave;
- Angolo inclinazione: angolo di inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale
- Altezza del capochiave – hn: Altezza della nervatura di irrigidimento della piastra

### Cucitura di lesioni con rete FRP

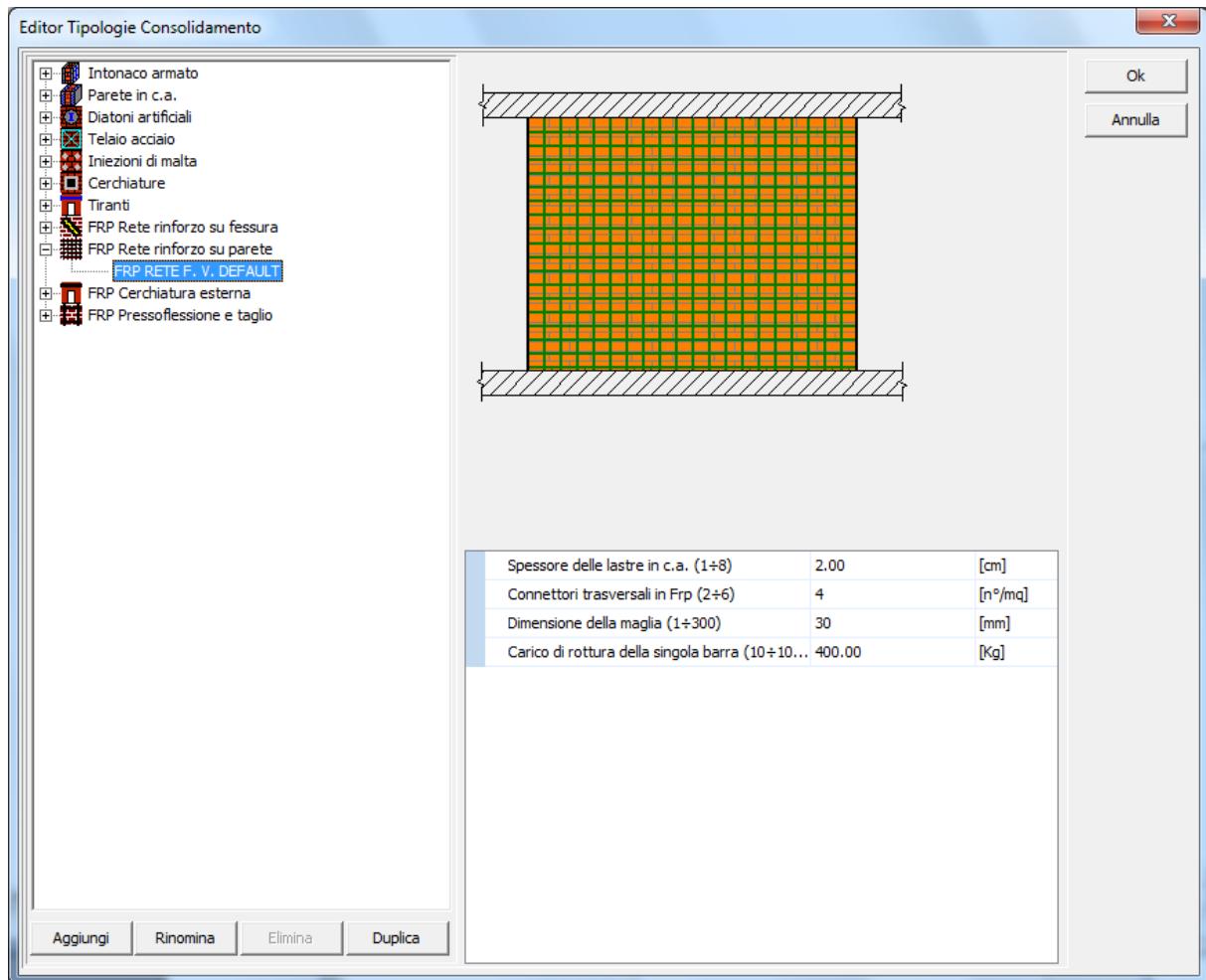


Per questa tipologia di tirante vengono richiesti i seguenti dati:

- Peso delle fibre espresso in g/mq;
- Dimensioni delle maglie espresse in mm;
- Carico di rottura su metro di rete espresso in kg/m
- Modulo elastico espresso in MPa
- Deformazione ultima della rete espresso in %
- Larghezza minima della rete espresso in cm (il software considera come larghezza minima il valore riportato anche nel caso in cui è richiesta una larghezza minore dalla verifica)
- Larghezza massima della rete espresso in cm (il software considera come larghezza massima il valore riportato. Nel caso in cui non è sufficiente ai fini della verifica, sarà segnalato adeguatamente all'utente)
- Passo di incremento della larghezza della rete.

Nel caso in cui si hanno più fessure unite, il software tende ad unire i tratti di rete in un numero minore aumentando la larghezza della rete fino al valore richiesto dal calcolo.

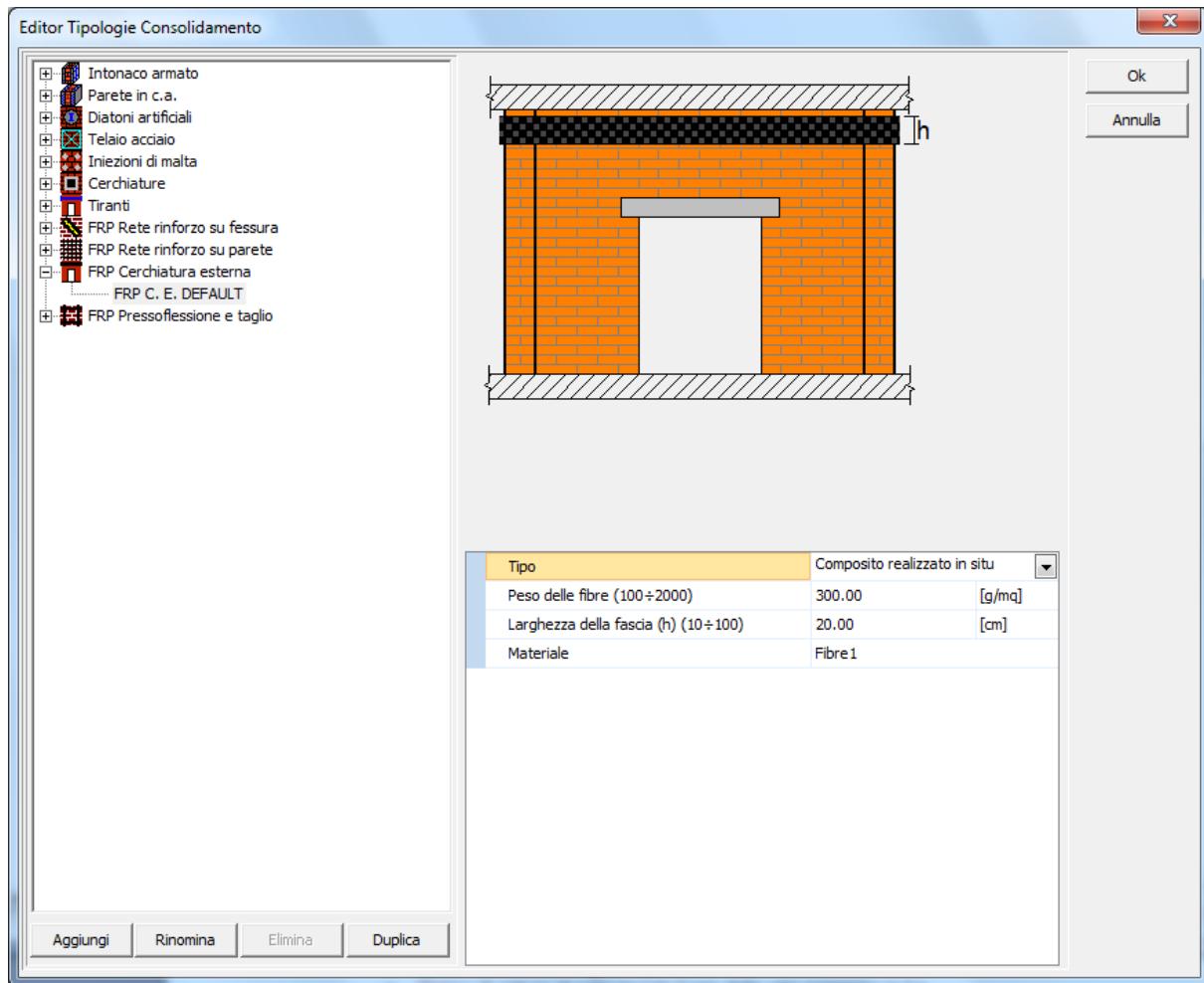
### Intonaco armato con rete FRP



Per questa tipologia di tirante vengono richiesti i seguenti dati:

- Spessore delle lastre espresso in cm;
- Numero di connettori trasversali per ogni metro quadro di parete;
- Dimensione della maglia espressa in mm
- Carico di rottura di ogni singola barra della rete espresso in kg

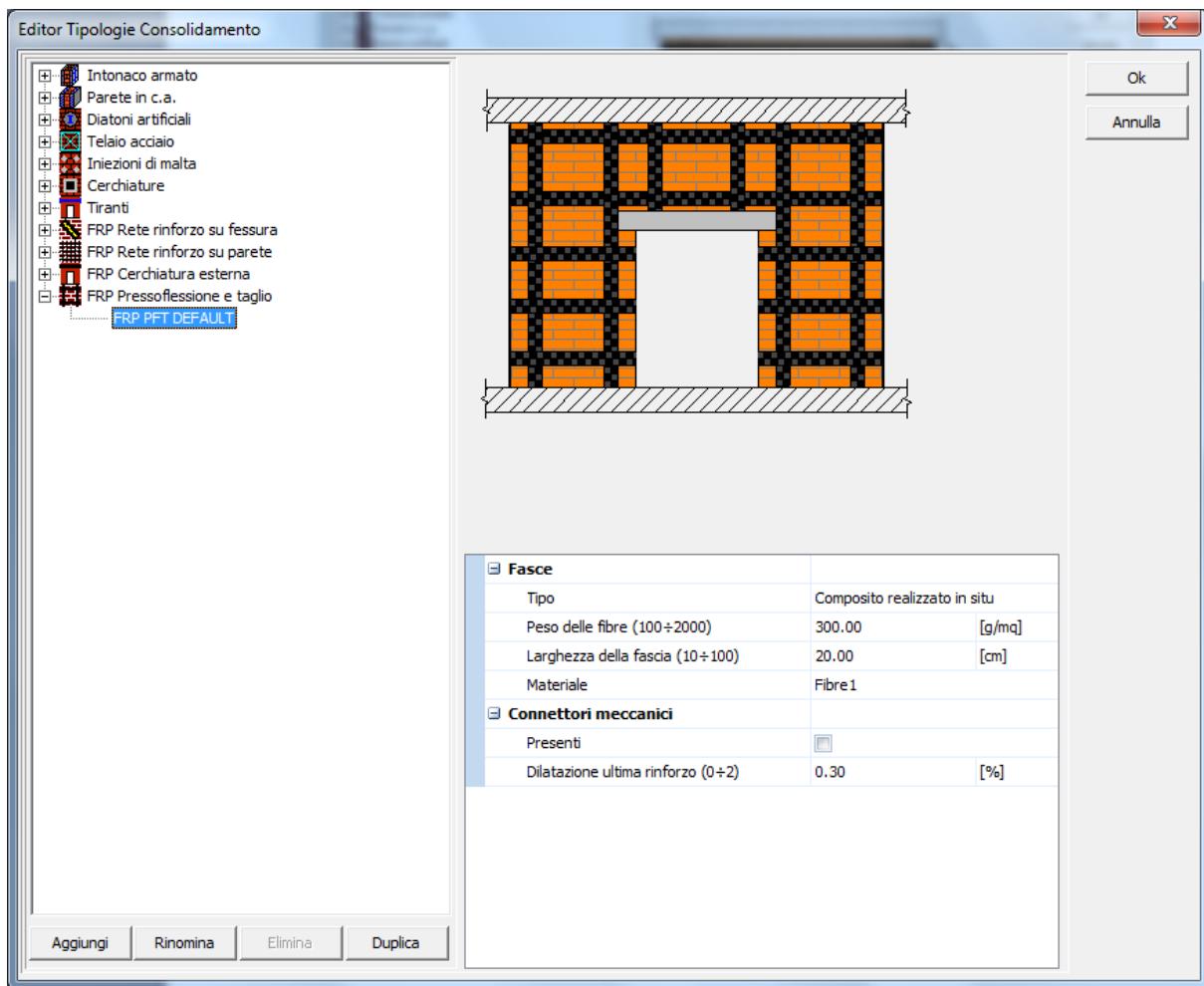
### Cerchiatura esterna con fasce in FRP



Per questa tipologia di tirante vengono richiesti i seguenti dati:

- Peso delle fibre espresso in g/mq;
- Larghezza della fascia espressa in cm;
- Materiale utilizzato per le fibre (il materiale da associare è uno di quelli definito dall'editor dei materiali contrassegnato dall'icona ).

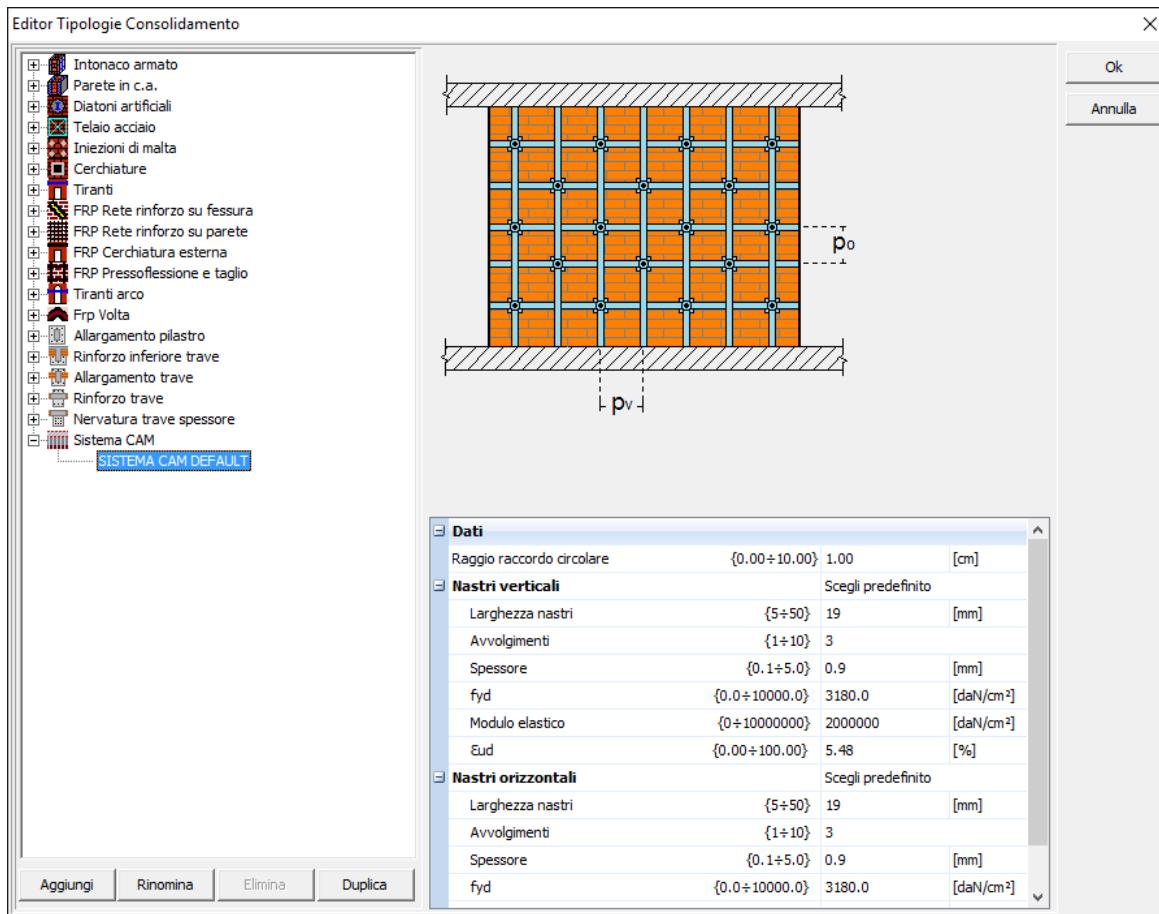
### Rinforzo a pressoflessione e taglio con fasce in FRP



Per questa tipologia di tirante vengono richiesti i seguenti dati:

- Peso delle fibre espresso in g/mq;
- Larghezza della fascia espressa in cm;
- Materiale utilizzato per le fibre (il materiale da associare è uno di quelli definito dall'editor dei materiali contrassegnato dall'icona ).
- Presenza di connettori meccanici. Nel caso in cui si utilizzano i connettori è necessario inserire anche la dilatazione ultima del rinforzo.

## Sistema CAM



Per questa tipologia di consolidamento occorre inserire i dati relativi ai nastri orizzontali e verticali.

### Dati relativi ai nastri verticali

- Larghezza dei nastri;
- Numero di avvolgimenti;
- Spessore dei nastri;
- Resistenza a trazione dell'acciaio ( $f_{yd}$ );
- Modulo elastico dell'acciaio;
- Deformazione ultima dell'acciaio ( $\epsilon_{ud}$ );

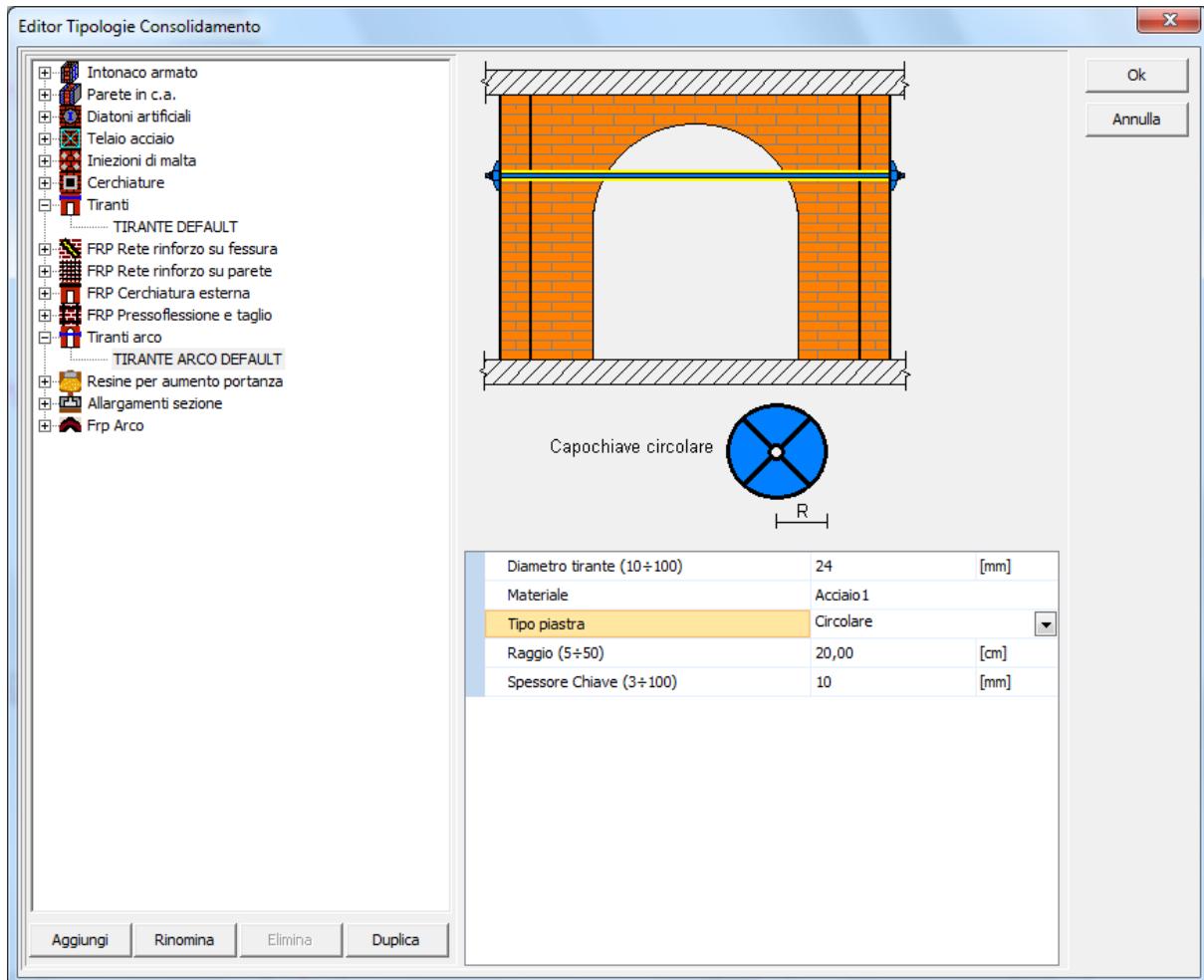
### Dati relativi ai nastri orizzontali

- Larghezza dei nastri;
- Numero di avvolgimenti;
- Spessore dei nastri;
- Resistenza a trazione dell'acciaio ( $f_{yd}$ );
- Modulo elastico dell'acciaio;
- Deformazione ultima dell'acciaio ( $\epsilon_{ud}$ );

È richiesto anche un dato per definire il raggio di curvatura dei nastri.

### Tiranti metallici su archi e volte

È possibile inserire tiranti con capochiave circolare e rettangolare su volte



Per questa tipologia di tirante vengono richiesti i seguenti dati:

- Diametro tirante;
- Materiale;
- Tipo di piastra: si può scegliere tra circolare e rettangolare
- Spessore Chiave: Spessore della piastra di cui è costituito il capochiave

Nel caso di capochiave rettangolare si ha:

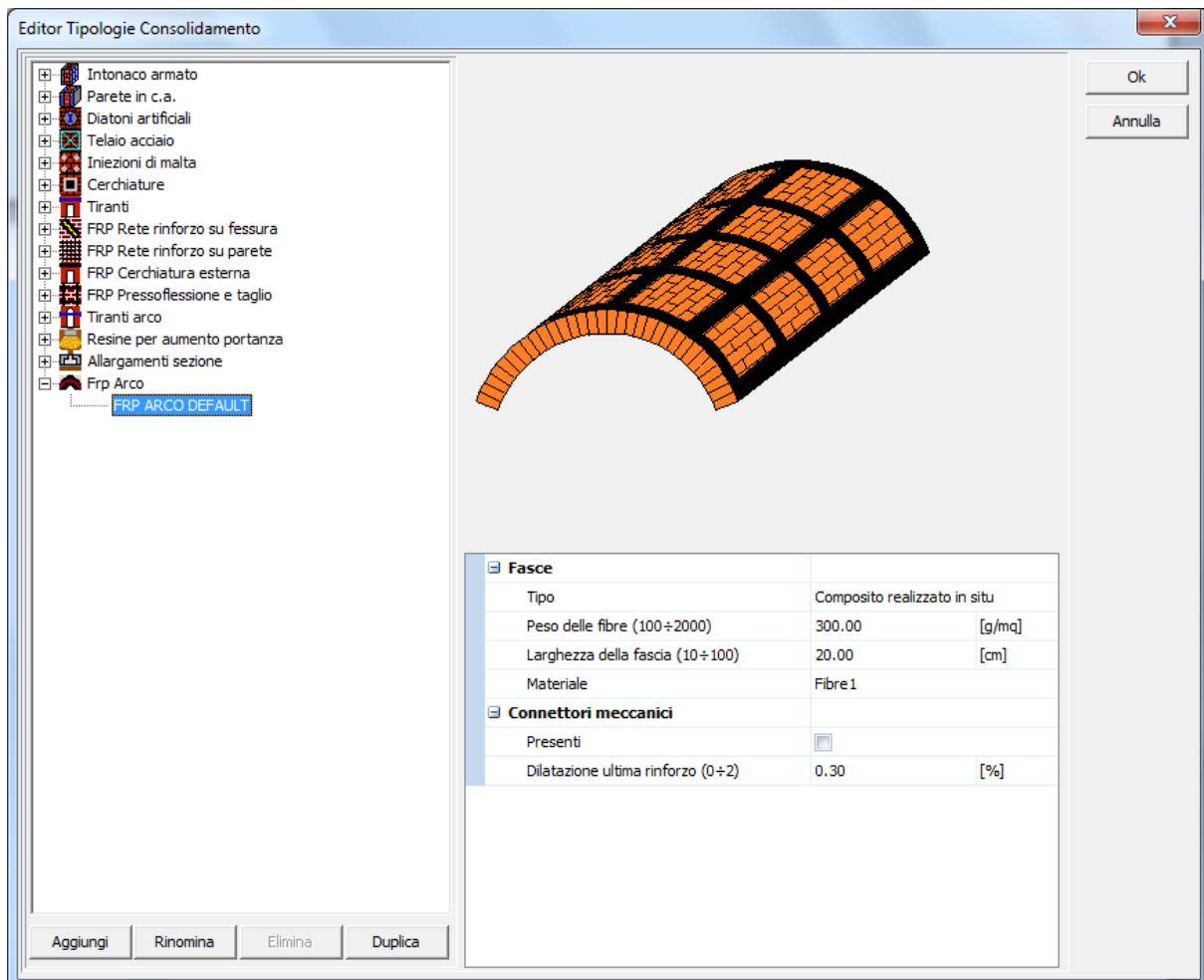
- Lato a: larghezza del capochiave
- Lato b: altezza del capochiave
- Entrambi i lati: se attivo, inserisce due tiranti nel muro, uno per lato

Nel caso di capochiave circolare si ha:

- Raggio: raggio del capochiave

### Fibre di carbonio su archi e volte

È possibile consolidare archi e volte con fibre di carbono:



Per questa tipologia di consolidamento vengono richiesti i seguenti dati:

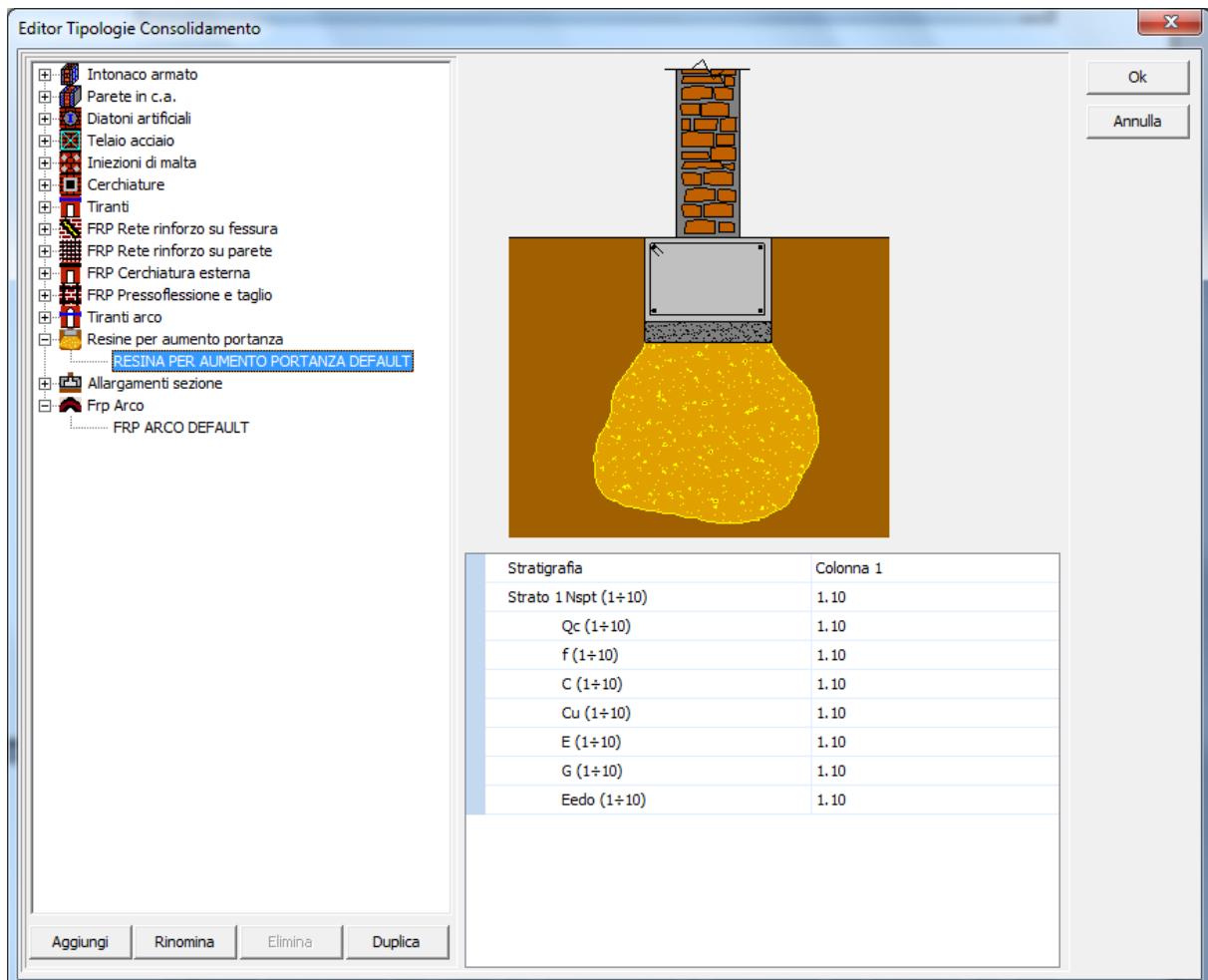
- Tipo: Tipologia di consolidamento;
- Peso delle fibre: peso delle fibre nel materiale composito;
- Larghezza della fascia: larghezza di ogni singola fascia;
- Materiale: Materiale delle fibre di carbonio da associare alla tipologia del consolidamento;

Nella tipologia del consolidamento viene data la possibilità di considerare eventuali connettori meccanici:

- Presenti: se spuntata considera nelle verifiche la presenza dei connettori meccanici;
- Dilatazione ultima rinforzo: nei casi in cui si considerano i connettori meccanici, è richiesto come dato di input la deformazione ultima da attribuire al composito (dato che generalmente viene fornito dal produttore – cautelativamente può essere posto pari al 3%).

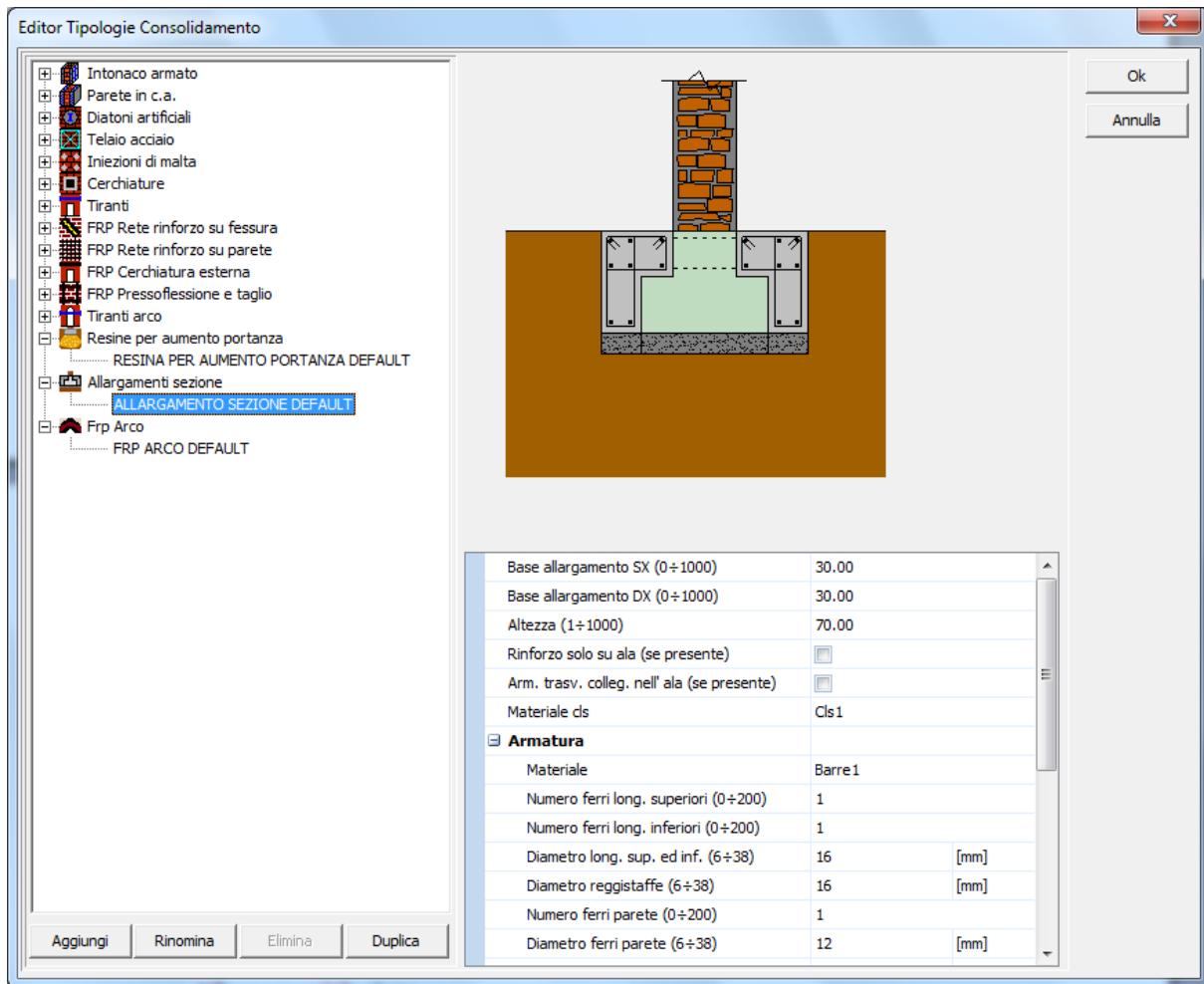
### Consolidamento del terreno di fondazione attraverso resine iniettate

È possibile consolidare il terreno di fondazione aumentandone le caratteristiche. La stima dell'incremento delle proprietà meccaniche è affidata al progettista. Nelle successiva videata è possibile inserire la percentuale del miglioramento di ogni parametro meccanico e per ogni stratigrafia di terreno:



Applicando il consolidamento sulla colonna stratigrafica, si ottiene un miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno. Se ne può tenere conto incrementando in percentuale i parametri meccanici del terreno privi di consolidamento.

## Consolidamento della fondazione con allargamento della sezione



È possibile incrementare la resistenza della fondazione attraverso l'allargamento della sezione a destra ed a sinistra tramite travi in c.a. affiancate alla trave di fondazione esistente.

### Allargamenti Sezione

Nome : nome della tipologia di consolidamento;

Base allargamento SX: base allargamento a sinistra della trave (presente se > 0)

Base allargamento DX: base allargamento a destra della trave (presente se > 0)

Altezza : altezza dell'allargamento a destra ed a sinistra della trave esist.

Rinforzo solo su ala : presenza dei rinforzi solo sulle ali se presenti;

Arm. trasv. colleg. nell'ala se presente : presenza delle armature trasversali dei rinforzi anche nelle ali se presenti;

Materiale cls : tipo di cls usato per il consolidamento;

### Armatura

Materiale Barre : tipo di acciaio delle barre usato per il consolidamento

Num. ferri long. Superiori : numero di ferri longitudinali superiori presenti nell'anima del consolidamento presente (esclusi i reggistaffe);

Num. ferri long. Inferiori : numero di ferri longitudinali inferiori. presenti nell'anima del consolidamento presente (esclusi i reggistaffe);

Diametro long. sup. ed inf.: diametro barre armature longitudinali sup. ed inferiori;

Diametro reggistaffe : diametro barre armature reggistaffe;

Numero ferri parete : numero ferri di parete negli allargamenti;

Diametro ferri parete : diametro barre armature di parete;

Diametro Staffe : diametro barre armature trasversali;  
 Passo staffe : passo barre armature trasversali;

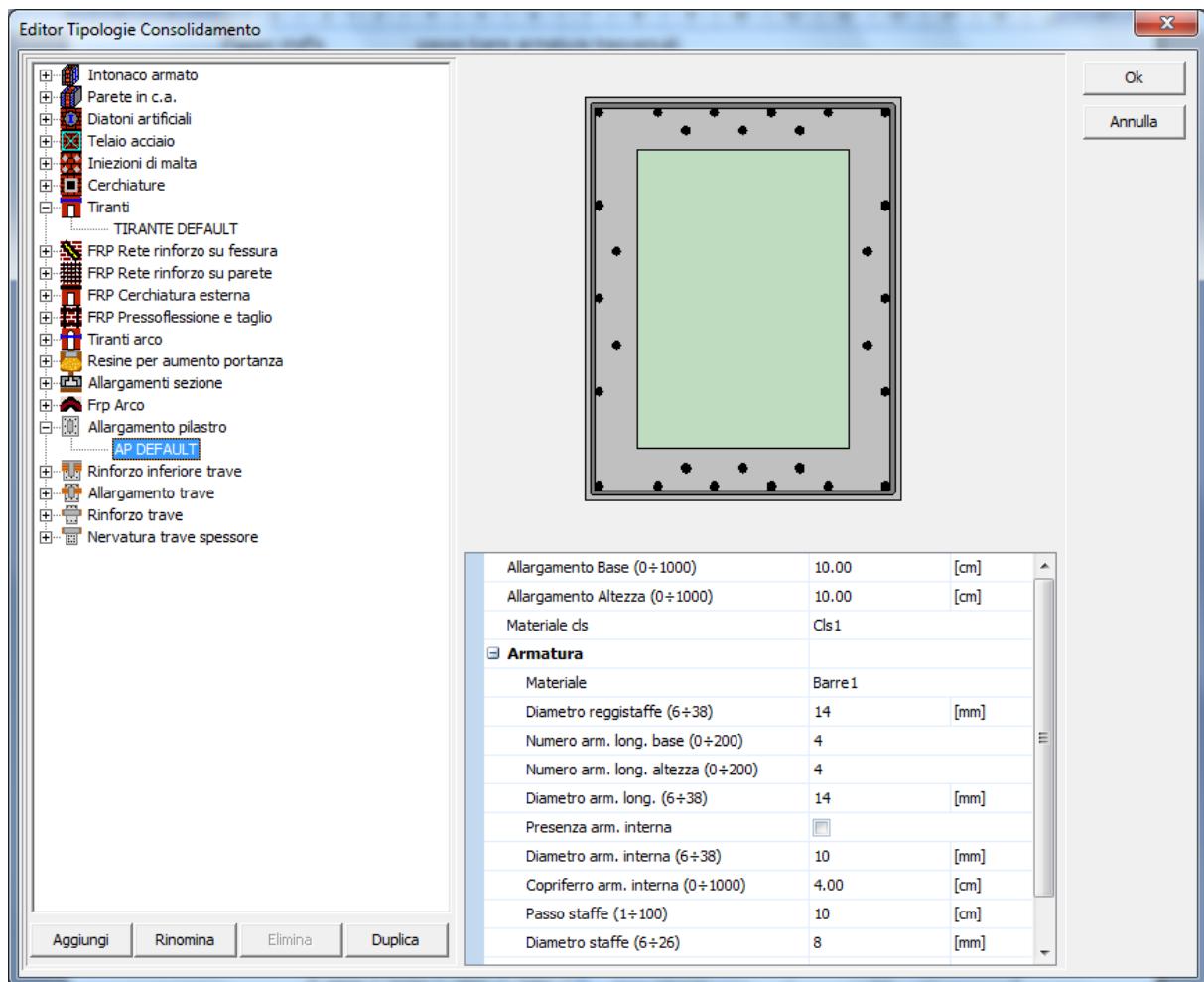
### Collegamenti

Tipo : tipologia collegamenti alla struttura esistente (travi in c.a., trave in acciaio, doppia fila di barre trasversali);

In funzione della tipologia di collegamento scelta il software consentirà di inserire le informazioni necessarie per personalizzare gli esecutivi relativi alla trave di fondazione consolidata. I dati per il collegamento con la struttura esistente variano in funzione della tipologia (interasse collegamenti, armature longitudinali e trasversali tipologia profilato ecc.).

### Ingrossamento pilastri in c.a.

Per il consolidamento dei pilastri il software consente di dimensionare l'allargamento della base e dell'altezza della sezione esistente, di assegnare le armature longitudinali e trasversali per ogni allargamento e di personalizzare i materiali del consolidamento sia il cls che l'acciaio di armatura.



Il consolidamento viene gestito attraverso l'inserimento dei dati di input di seguito riportati.

Allargamento Base (0÷1000)	10.00	[cm]
Allargamento Altezza (0÷1000)	10.00	[cm]
Materiale cls	Cls1	
<b>Armatura</b>		
Materiale	Barre1	
Diametro reggistaffe (6÷38)	16	[mm]
Numero arm. long. base (0÷200)	2	
Numero arm. long. altezza (0÷200)	2	
Diametro arm. long. (6÷38)	16	[mm]
Presenza arm. interna	<input type="checkbox"/>	
Diametro arm. interna (6÷38)	10	[mm]
Copriferro arm. interna (0÷1000)	4.00	[cm]
Passo staffe (1÷100)	10	[cm]
Diametro staffe (6÷26)	8	[mm]
Passo staffe Nodo testa (1÷100)	10	[cm]
Diametro staffe Nodo testa (6÷26)	8	[mm]

Allargamento Base

: allargamento della base del pilastro;

Allargamento Altezza

: allargamento dell'altezza del pilastro;

Materiale cls

: materiale cls utilizzato per il consolidamento;

**Armatura**

Materiale

: tipo di acciaio delle barre usato per il consolidamento;

Diametro Reggistaffe

: diametro barre armature reggistaffe;

Numero arm. long. Base

: numero di ferri longitudinali intermedi presenti nel consolidamento lungo la base della sezione consolidata (esclusi i reggistaffe);

Numero arm. long. Altezza

: numero di ferri longitudinali intermedi presenti nel consolidamento lungo l'altezza della sezione consolidata (esclusi i reggistaffe);

Diametro arm. long.

: diametro barre armature longitudinali lungo la base e l'altezza della sezione consolidata;

Presenza arm. Interna

: presenza oppure no di armatura interna longitudinale supplementare;

Diametro arm. Interna

: diametro dell'eventuale armatura interna longitudinale supplementare;

Copriferro arm. Interna

: copriferro dell'eventuale armatura interna longitudinale supplementare;

Passo staffe

: passo barre armature trasversali;

Diametro Staffe

: diametro barre armature trasversali;

Passo staffe Nodo testa

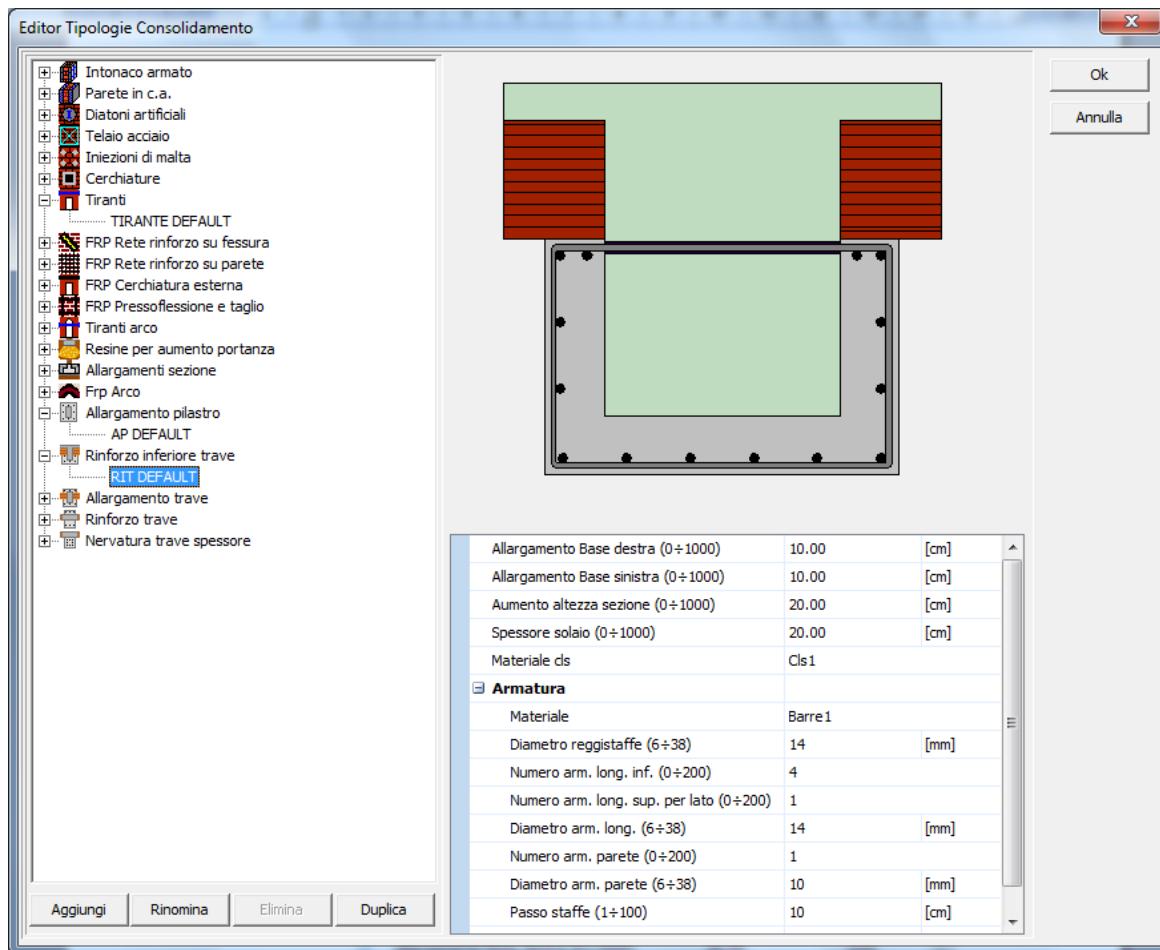
: passo barre armature trasversali nel nodo in testa al pilastro;

Diametro staffe Nodo testa

: diametro barre armature trasversali nel nodo in testa al pilastro;

**Rinforzo inferiore trave**

Per il consolidamento delle travi di elevazione il software consente di dimensionare il rinforzo inferiore della sezione di una trave emergente esistente. Consente di assegnare le armature longitudinali e trasversali del consolidamento e di personalizzare i materiali cls ed acciaio di armatura del consolidamento.



Il consolidamento viene gestito attraverso l'inserimento dei dati di input di seguito riportati.

Allargamento Base destra (0÷1000)	10.00	[cm]
Allargamento Base sinistra (0÷1000)	10.00	[cm]
Aumento altezza sezione (0÷1000)	20.00	[cm]
Spessore solaio (0÷1000)	20.00	[cm]
Materiale cls	cls1	
<b>Armatura</b>		
Materiale	Barre1	
Diametro reggistaffe (6÷38)	16	[mm]
Numero arm. long. inf. (0÷200)	2	
Numero arm. long. sup. per lato (0÷200)	1	
Diametro arm. long. (6÷38)	16	[mm]
Numero arm. parete (0÷200)	0	
Diametro arm. parete (6÷38)	10	[mm]
Passo staffe (1÷100)	10	[cm]
Diametro staffe (6÷38)	8	[mm]

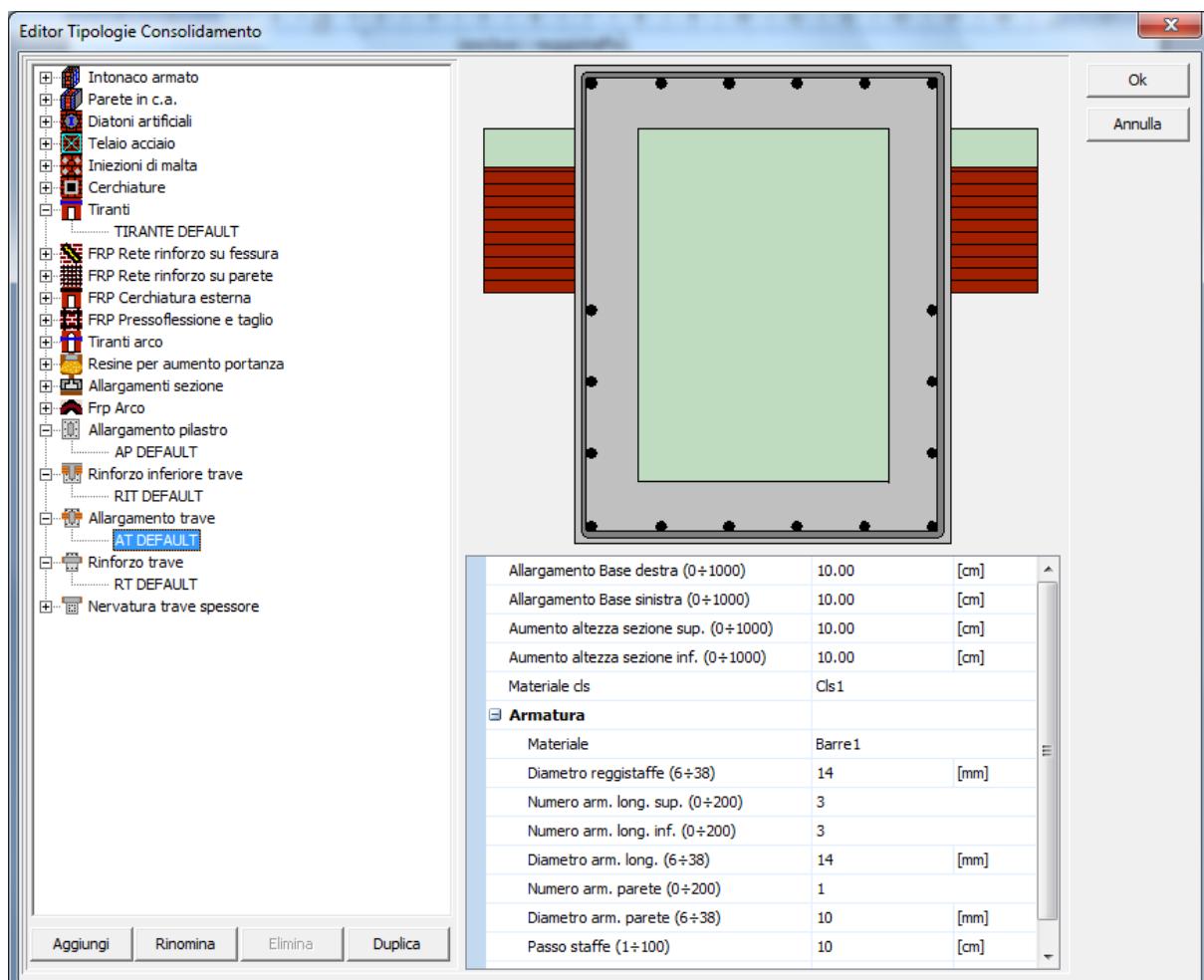
Allargamento Base destra	: allargamento della base della trave a destra;
Allargamento Base sinistra	: allargamento della base della trave a sinistra;
Aumento altezza sezione	: allargamento dell'altezza della trave dal lato inferiore;
Spessore solaio	: spessore del solaio adiacente a partire dall'estradosso della trave.
Materiale cls	: tipo di cls usato per il consolidamento

**Armatura**

Materiale	: tipo di acciaio delle barre usato per il consolidamento
Diametro Reggistaffe	: diametro barre armature reggistaffe;
Numero arm. long. Inf.	: numero di ferri long. Inf. intermedi presenti nel consolidamento (esclusi i reggistaffe);
Numero arm. long. Sup per lato	: numero di ferri long. Sup. per lato presenti nel consolidamento (esclusi i reggistaffe)
Diametro arm. long.	: diametro barre armature longitudinali della sezione consolidata;
Numero arm. parete	: numero di ferri long. di parete per lato presenti nel consolidamento
Diametro arm. parete	: diametro barre armature di parte presenti nel consolidamento;
Passo staffe	: passo barre armature trasversali;
Diametro Staffe	: diametro barre armature trasversali;

**Allargamento trave**

Per il consolidamento delle travi di elevazione il software consente di dimensionare l'allargamento della sezione di una trave esistente. Consente di assegnare le armature longitudinali e trasversali del consolidamento e di personalizzare i materiali cls ed acciaio di armatura del consolidamento.



Il consolidamento viene gestito attraverso l'inserimento dei dati di input di seguito riportati.

Allargamento Base destra (0÷1000)	10.00	[cm]
Allargamento Base sinistra (0÷1000)	10.00	[cm]
Aumento altezza sezione sup. (0÷1000)	10.00	[cm]
Aumento altezza sezione inf. (0÷1000)	10.00	[cm]
Materiale cls	cls1	
<b>Armatura</b>		
Materiale	Barre1	
Diametro reggistaffe (6÷38)	16	[mm]
Numero arm. long. sup. (0÷200)	2	
Numero arm. long. inf. (0÷200)	2	
Diametro arm. long. (6÷38)	16	[mm]
Numero arm. parete (0÷200)	0	
Diametro arm. parete (6÷38)	10	[mm]
Passo staffe (1÷100)	10	[cm]
Diametro staffe (6÷38)	8	[mm]

Allargamento Base destra:

allargamento della base della trave a destra;

Allargamento Base sinistra:

allargamento della base della trave a sinistra;

Aumento altezza sezione sup.:

allargamento dell'altezza della trave dal lato superiore;

Aumento altezza sezione inf.:

allargamento dell'altezza della trave dal lato inferiore;

Materiale cls:

materiale cls utilizzato per il consolidamento;

### Armature

Materiale:

tipo di acciaio delle barre usato per il consolidamento

Diametro reggistaffe:

diametro barre armature reggistaffe;

Numero arm. long. Sup:

numero di ferri longitudinali superiori intermedi presenti nel consolidamento (esclusi i reggistaffe)

Numero arm. long. Inf.:

numero di ferri longitudinali inferiori intermedi presenti nel consolidamento (esclusi i reggistaffe);

Diametro arm. long.:

diametro barre armature longitudinali della sezione consolidata;

Num. arm parete:

numero di ferri longitudinali di parete per lato presenti nel consolidamento;

Diam. arm. parete:

diametro barre armature di parte presenti nel consolidamento;

Passo staffe:

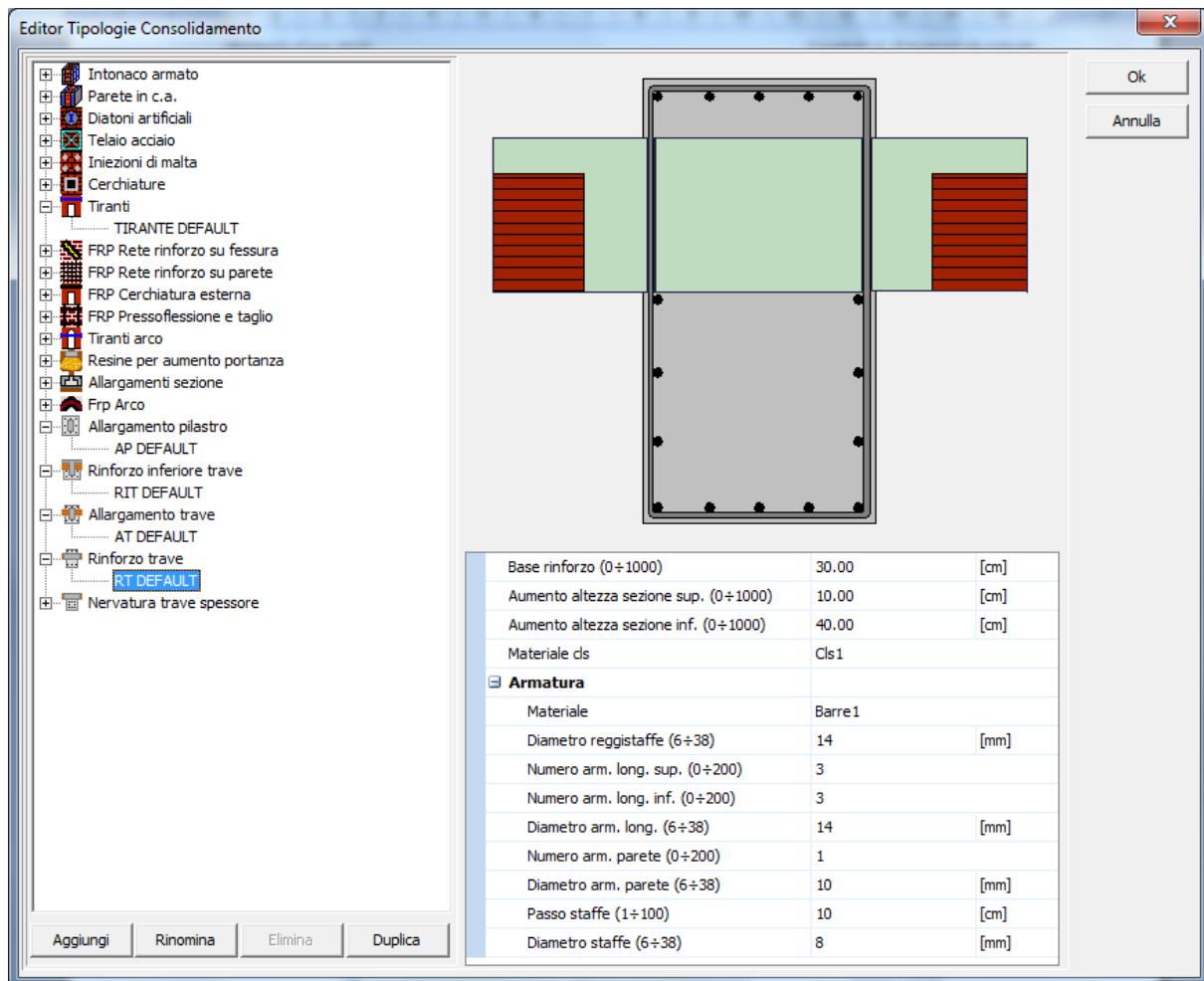
passo barre armature trasversali;

Diametro staffe:

diametro barre armature trasversali;

### Rinforzo trave

Per il consolidamento delle travi di elevazione il software consente di dimensionare il rinforzo superiore ed inferiore della sezione di una trave esistente. Consente di assegnare le armature longitudinali e trasversali del consolidamento e di personalizzare i materiali cls ed acciaio di armatura del consolidamento.



Il consolidamento viene gestito attraverso l'inserimento dei dati di input di seguito riportati.

Base rinforzo (0÷1000)	30.00	[cm]
Aumento altezza sezione sup. (0÷1000)	10.00	[cm]
Aumento altezza sezione inf. (0÷1000)	40.00	[cm]
Materiale cls	Cls1	
<b>Armatura</b>		
Materiale	Barre1	
Diametro reggistaffe (6÷38)	16	[mm]
Numero arm. long. sup. (0÷200)	2	
Numero arm. long. inf. (0÷200)	2	
Diametro arm. long. (6÷38)	16	[mm]
Numero arm. parete (0÷200)	0	
Diametro arm. parete (6÷38)	10	[mm]
Passo staffe (1÷100)	10	[cm]
Diametro staffe (6÷38)	8	[mm]

Base rinforzo:  
Aumento altezza sezione sup.:  
Aumento altezza sezione inf.:  
Materiale cls:

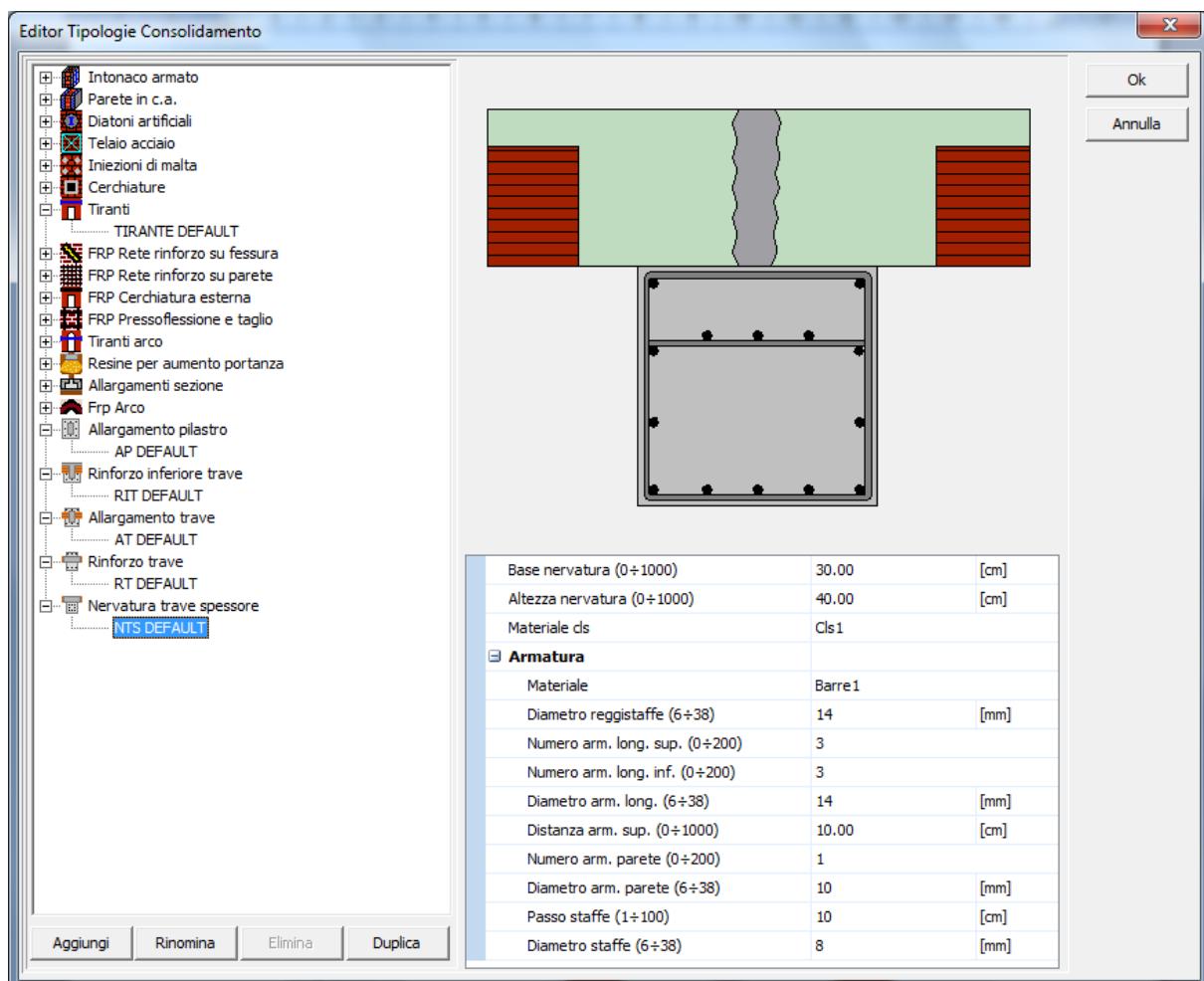
larghezza del rinforzo della trave;  
altezza del rinforzo della trave dal lato superiore;  
altezza del rinforzo della trave dal lato inferiore;  
materiale utilizzato per il calcestruzzo

### Armatura

Materiale:  
Diametro Reggistaffe:  
Numero arm. long. Sup.:  
  
Numero arm. long. Inf.:  
  
Diametro arm. long.:  
  
Numero arm parete:  
Diametro arm. parete:  
Passo staffe:  
Diametro staffe:

tipo di acciaio delle barre usato per il consolidamento  
diametro barre armature reggistaffe;  
numero di ferri longitudinale superiore intermedi presenti nel  
consolidamento (esclusi i reggistaffe)  
numero di ferri longitudinali inferiori intermedi presenti nel  
consolidamento (esclusi i reggistaffe);  
diametro barre armature longitudinali della sezione consolidata;  
  
numero di ferri long. di parete per lato presenti nel consolidamento  
diametro barre armature di parte presenti nel consolidamento;  
passo barre armature trasversali;  
diametro barre armature trasversali;

### Nervatura trave a spessore



Base nervatura (0÷1000)	30.00	[cm]
Altezza nervatura (0÷1000)	40.00	[cm]
Materiale cls	cls1	
<b>Armatura</b>		
Materiale	Barre1	
Diametro reggistaffe (6÷38)	16	[mm]
Numero arm. long. sup. (0÷200)	4	
Numero arm. long. inf. (0÷200)	4	
Diametro arm. long. (6÷38)	16	[mm]
Distanza arm. sup. (0÷1000)	5.00	[cm]
Numero arm. parete (0÷200)	0	
Diametro arm. parete (6÷38)	10	[mm]
Passo staffe (1÷100)	10	[cm]
Diametro staffe (6÷38)	8	[mm]

Il consolidamento viene gestito attraverso l'inserimento dei dati di input di seguito riportati.

- Base nervatura: larghezza della nervatura inferiore di rinforzo per il consolidamento della trave;  
 Altezza nervatura: altezza della nervatura inferiore di rinforzo per il consolidamento della trave;  
 Materiale cls: materiale utilizzato per il consolidamento

### Armatura

- Materiale: tipo di acciaio delle barre usato per il consolidamento  
 Diametro Reggistaffe: diametro barre armature reggistaffe;  
 Numero arm. long. Inf.: numero di ferri longitudinali inferiori intermedi presenti nel consolidamento (esclusi i reggistaffe);  
 Numero arm. long. Sup.: numero di ferri longitudinali superiori intermedi presenti nel consolidamento (esclusi i reggistaffe)  
 Diametro arm. long.: diametro barre armature longitudinali della sezione consolidata;  
 Distanza arm. sup.: distanza dall'estremo superiore del rinforzo delle armature longitudinali superiori intermedie;  
 Num. arm parete: numero di ferri long. di parete per lato presenti nel consolidamento  
 Diam. arm. parete: diametro barre armature di parte presenti nel consolidamento;  
 Passo staffe: passo barre armature trasversali;  
 Diam. Staffe: diametro barre armature trasversali;

#### 1.4.2.21 – Consolidamenti

L'apertura dell'ambiente per l'input dei consolidamenti è subordinata alla pressione del tasto contrassegnato dalla seguente icona:



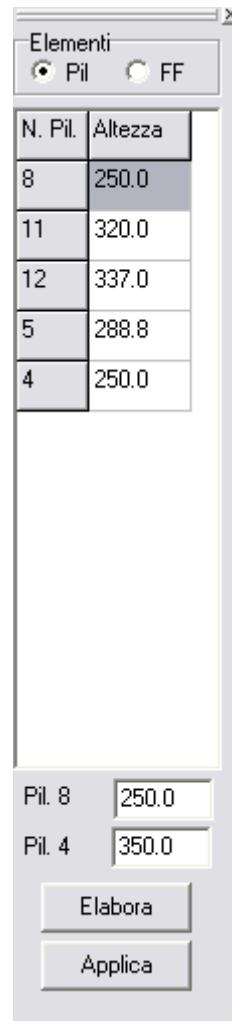
L'ambiente e tutti i comandi contenuti verranno trattati nella sezione '**Consolidamenti**' di seguito riportata.

#### 1.4.2.22 – Modifica quote lineare

Questa funzione consente di modificare le quote dei pilastri secondo una legge lineare, in modo da modellare pareti e travi a più appoggi inclinate. L'icona che attiva questo comando è la seguente:



Per modificare una serie di quote, basta selezionare fili fissi desiderati cliccando con il tasto sinistro del mouse in modo da formare una poligonale. Al termine della selezione cliccando con il tasto destro del mouse apparirà la seguente maschera, posizionata alla destra dello schermo:



Per avere un'anteprima dei valori delle quote che verranno inserite cliccare sul tasto “Elabora”, dopo aver modificato le quote del primo e l'ultimo pilastro. La conferma della modifica si attua cliccando sul tasto “Applica”.

Il comando segue anche percorsi poligonali e può essere utilizzato anche per alzare alla stessa quota più pilastri anche se non sono allineati in pianta.

#### 1.4.2.23 – Copia Elementi

Questa funzione consente di copiare nella posizione voluta tutto ciò che viene racchiuso nel box di selezione. La funzione viene abilitata cliccando sul pulsante con la seguente icona:



Al termine della definizione del box compare la maschera contenente i parametri di copia:



È possibile effettuare la copia dei singoli elementi (pilastri, travi, pareti, telai,solai, balconi, scale ) o di tutta la selezione. La copia può essere ripetuta utilizzando il tasto destro del mouse e modificando le coordinate di destinazione.

#### 1.4.2.24 – Copia Piano

Questa funzione consente di copiare ciò che è contenuto in un piano agli altri piani. La funzione viene abilitata cliccando sul pulsante con la seguente icona:



È possibile effettuare la copia dei singoli elementi (pilastri, travi, telai,solai, balconi, scale, pareti) o di tutto il piano. La scelta degli elementi da copiare, del piano sorgente e dei piani di destinazione viene fatta nella seguente maschera:



#### 1.4.2.25 – Cancella Elementi

Tramite questo comando è possibile cancellare elementi dello stesso tipo racchiusi nel box di selezione, realizzato cliccando con il tasto sinistro del mouse in modo da disegnare la diagonale del box. La funzione viene abilitata cliccando sul pulsante con la seguente icona:



Al termine della definizione del box compare la maschera contenente la lista degli elementi da cancellare:



Cliccando sulla casella di selezione è possibile selezionare o deselezionare gli elementi della lista.

#### 1.4.2.26 – Sposta struttura

Consente di spostare tutta la struttura di una quantità definita. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



I parametri utili allo spostamento sono definibili dalla seguente maschera:



#### 1.4.2.27 – Ruota struttura

Consente di ruotare tutta la struttura di un angolo definito. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



I parametri utili allo rotazione sono definibili dalla seguente maschera:



#### 1.4.2.28 – Evidenzia elementi

Consente di evidenziare, utilizzando la colorazione gialla, la tipologia di elemento selezionandola nella maschera presente sulla parte destra dello schermo. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



La scelta ricade tra i seguenti tipi di elementi:

- **Sezioni;**
- **Cls;**
- **Acciaio;**
- **Legno;**
- **Muratura;**
- **Solai.**

L'operazione di "filtro" tra le tipologie disponibili, viene effettuata dal menu a tendina posizionata sotto la lista degli elementi.

#### 1.4.2.29 – Misura Distanza

Consente di misurare la distanza tra due fili fissi. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



La misurazione avviene cliccando con il tasto sinistro del mouse sui fili fissi desiderati. I valori misurati compariranno nella seguente maschera:



## 1.5 – L'Input dei ferri.

In VEM<sub>NL</sub> è possibile inserire da input i ferri degli elementi strutturali in c.a. (pilastri, travi e pareti). Se un elemento viene armato da questo ambiente, il programma provvede alla sola verifica degli elementi, altrimenti provvede alla progettazione.

Se si calcola la struttura con l'analisi statica non lineare, VEM<sub>NL</sub> consente di considerare o meno i pilastri in c.a. alla resistenza sismica. Nel caso in cui i pilastri partecipano alla resistenza sismica, è obbligatorio inserire i ferri da input (la resistenza degli elementi in c.a. si calcola in funzione dei ferri), mentre nel caso in cui si escludono dalla resistenza a sisma, non è obbligatorio armarli. Per l'analisi statica lineare e dinamica lineare non è obbligatorio l'inserimento da input dei ferri (in queste, in nessun caso gli elementi in cemento armato partecipano alla resistenza sismica, punto 7.8.5 del D.M. 17/01/2018). Le travi ed i cordoli possono anche essere armate manualmente. Se una trave/cordolo viene armata da input, il software effettua tutte le verifiche lasciando inalterata la disposizione di armatura. Se la trave/cordolo non viene armata manualmente, il software provvede ad armarla secondo le prescrizioni di normativa distinguendo i casi di elemento esistente o nuovo. Nel caso in cui gli elementi in c.a. appartengono al piano di sopraelevazione (piano di nuova costruzione con elementi monodimensionali in c.a.), tutti gli elementi (travi e pilastri), devono essere obbligatoriamente armati.

All'input dei ferri si accede cliccando sulla seguente icona presente nell'**Input Grafico**:



### 1.5.1 – Comandi generali dell'"Input dei ferri".

L'input dei ferri è corredata da comandi generali utili alla migliore visualizzazione di dettaglio delle parti di input. La toolbar in cui sono contenuti i comandi generali è la seguente:

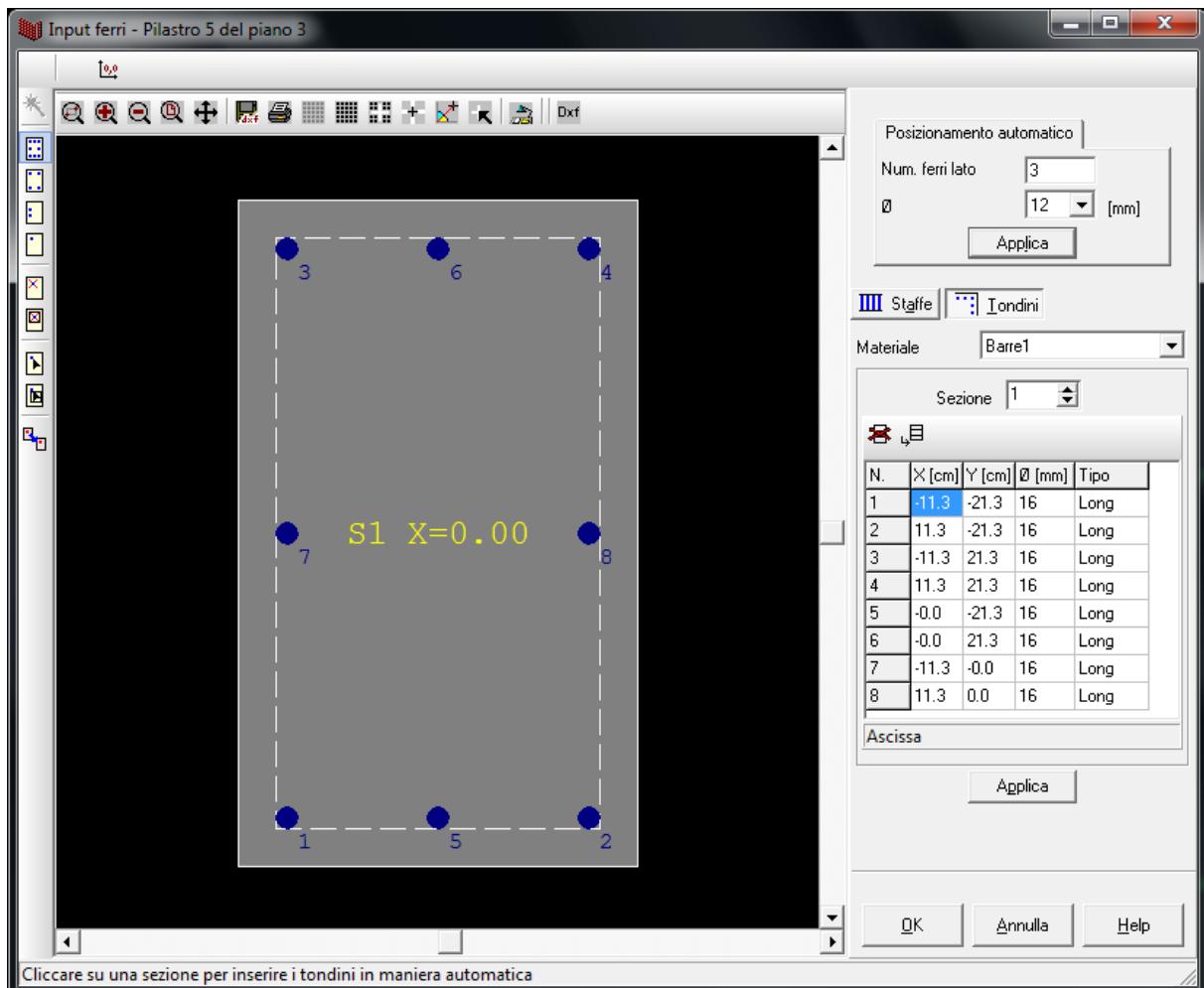


Questa barra di comandi è stata descritta nel paragrafo **"Input Grafico"**.

### 1.5.2 – Funzionamento dell'input

#### Pilastri

I comandi presenti sulla barra verticale consentono di agevolare le operazioni di input.



Posizionamento automatico dei ferri. Il numero dei ferri per lato, il loro diametro ed il materiale si selezionano nella parte destra della finestra.

Posizionamento dei ferri agli spigoli. Il diametro dei ferri ed il materiale si selezionano nella parte destra della finestra.

Posizionamento dei ferri sui lati della sezione. Il loro diametro ed il materiale si selezionano nella parte destra della finestra.

Inserimento di un singolo ferro. Il diametro ed il materiale si selezionano nella parte destra della finestra.

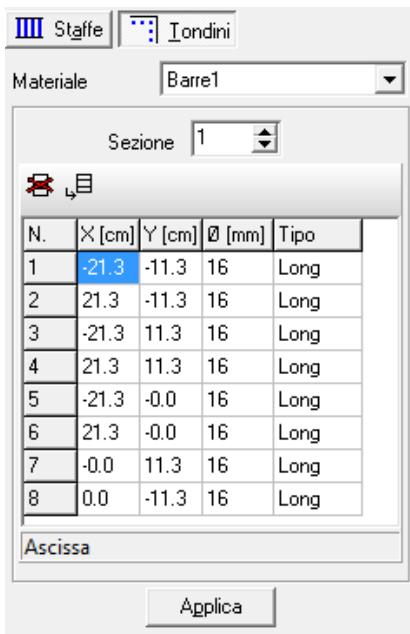
Cancellazione di un singolo ferro;

Cancellazione multipla dei ferri;

 Modifica di un singolo ferro. Il diametro, le coordinate ed il materiale, possono essere modificato nella parte della destra della finestra.

 Modifica multipla dei ferri.

Le caratteristiche dei ferri longitudinali si inseriscono dalla seguente schermata:

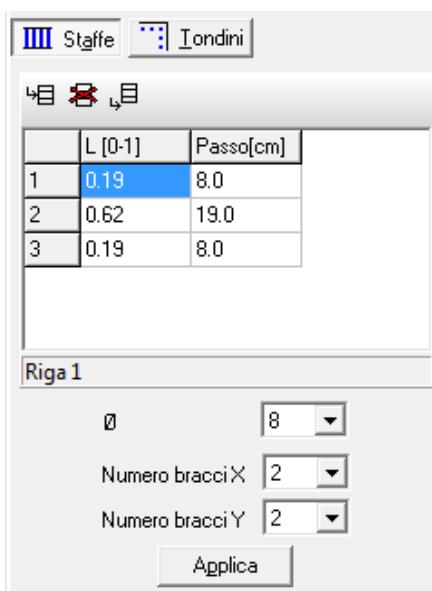


N.	X [cm]	Y [cm]	Ø [mm]	Tipo
1	-21.3	-11.3	16	Long
2	21.3	-11.3	16	Long
3	-21.3	11.3	16	Long
4	21.3	11.3	16	Long
5	-21.3	-0.0	16	Long
6	21.3	-0.0	16	Long
7	-0.0	11.3	16	Long
8	0.0	-11.3	16	Long

dove viene riportato il materiale, la sezione (nel caso dei pilastri è consentita una sola sezione), le coordinate, il diametro ed il numero dei ferri.

**N.B.** I ferri devono essere simmetrici rispetto agli assi di simmetria della sezione.

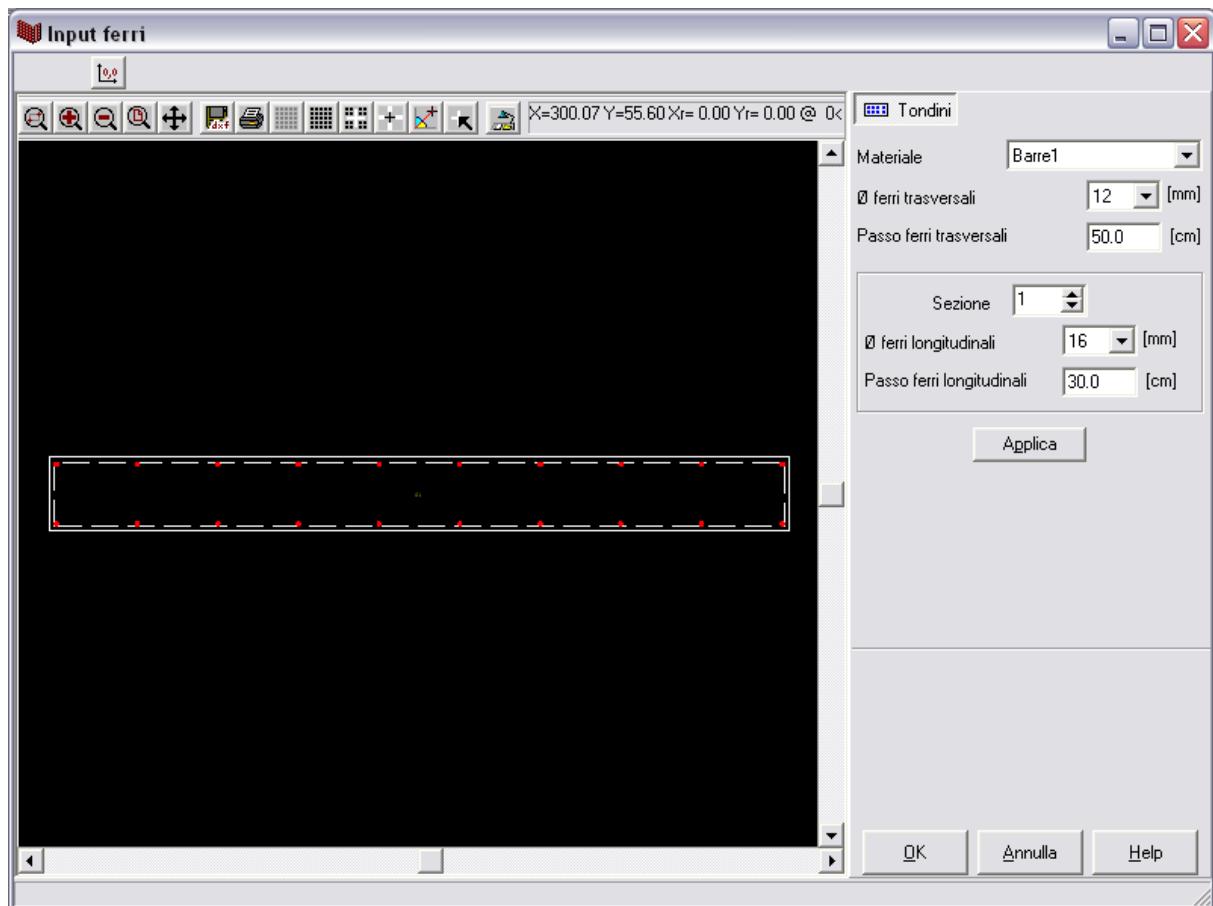
Le caratteristiche delle staffe si inseriscono dalla seguente schermata:



	L [0-1]	Passo[cm]
1	0.19	8.0
2	0.62	19.0
3	0.19	8.0

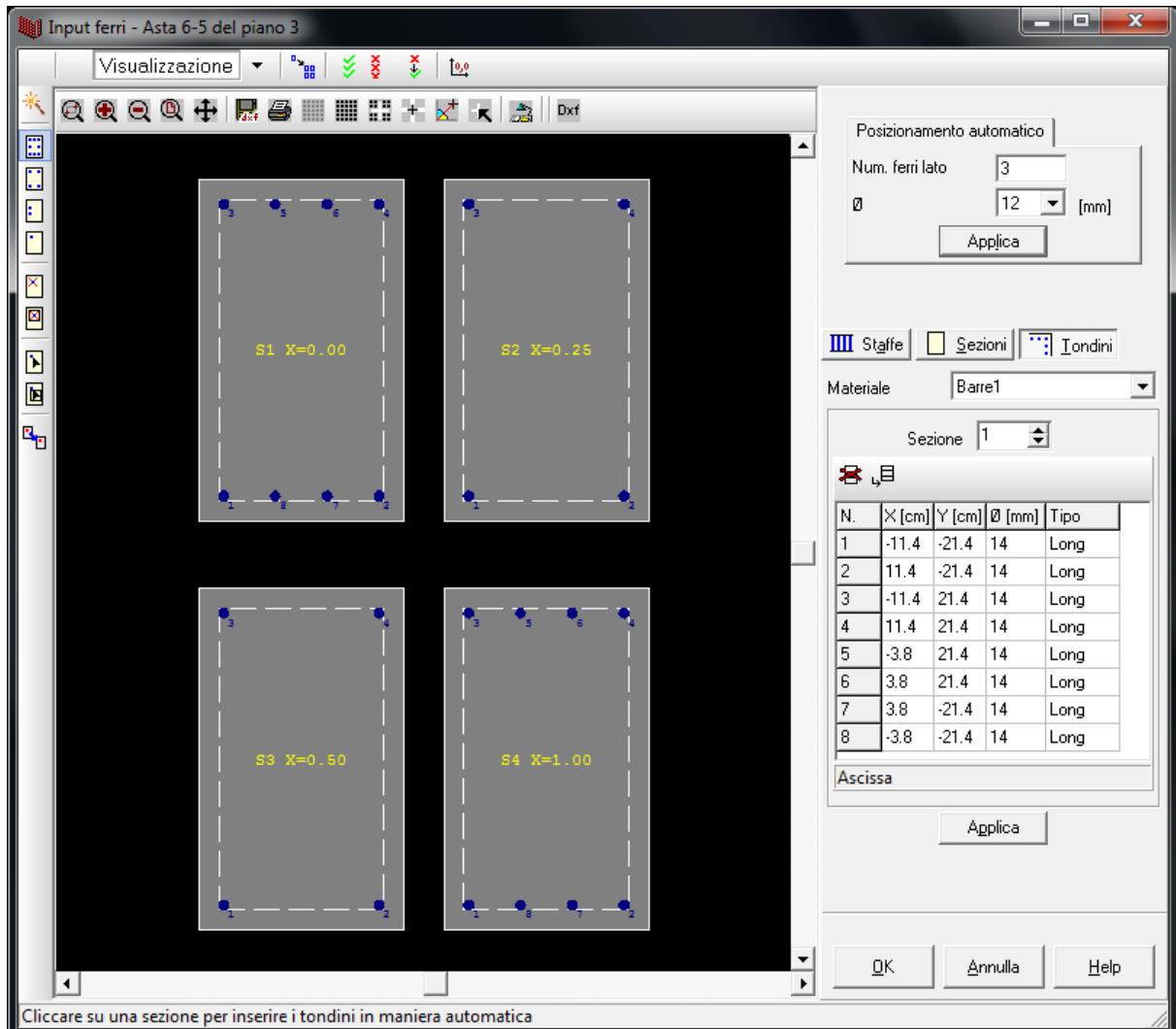
dove si determina il numero di tratti a staffatura costante (ci possono essere 1, 2 o 3 tratti), la lunghezza di ogni tratto in termini di percentuale di lunghezza (L) dell'elemento (0-1; la somma dei tratti deve essere sempre pari ad 1), l'interasse delle staffe (Passo), il diametro ( $\phi$ ) ed il numero di bracci in direzione X (orizzontale) ed Y (verticale) della sezione.

### Pareti



Nel caso di pareti occorre inserire il diametro ed il passo dei ferri e definire la qualità del materiale.

## Travi/Cordoli



Tutti i comandi presenti nella schermata precedente e comuni alla videata vista per i ferri dei pilastri sono stati già discussi nella suddetta videata.

La barra orizzontale è relativa ai comandi di visualizzazione della schermata delle sezioni:



Percorrendo da sinistra a destra i comandi, abbiamo:

**Visualizzazione** : menu a tendina con l'elenco delle sezioni da visualizzare;

- Se attivata la modalità di visualizzazione multipla, consente di visualizzare tutte le sezioni create;
- Se attivata la modalità di visualizzazione multipla, consente di non visualizzare alcuna sezione creata. Il comando è utile nel caso si abbiano molte sezioni e se ne vogliano lasciare attive solo alcune;
- Se attivata la modalità di visualizzazione multipla, consente di invertire la visualizzazione corrente;



Consente di attivare la visualizzazione multipla delle sezioni;

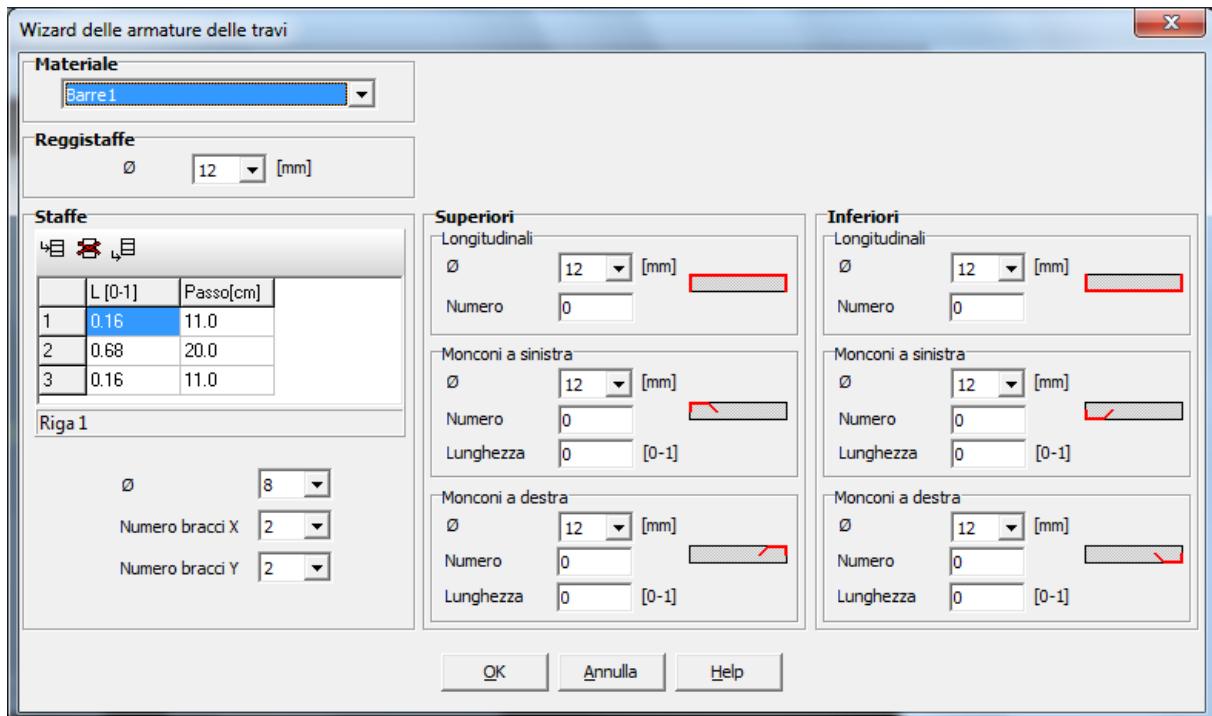


Consente di visualizzare il sistema di riferimento locale delle sezione attualmente visualizzate.

Oltre ai comandi già discussi, nell'ambiente sono presenti i seguenti comandi di input:



**Wizard:** Consente l'inserimento rapido di configurazioni di armature tipiche delle strutture intelaiate in c.a., seguendo i tipo di armature classiche come reggistaffe, diritti e monconi. Alla pressione del pulsante viene visualizzata la seguente maschera:



I campi da riempire sono:

- **Materiale :** Va associato un materiale di tipo acciaio per c.a. precedentemente creato;
- **Reggistaffe :** Diametro dei reggistaffe della sezione considerata. Per sezioni rettangolari il numero di reggistaffe inserite sono pari a 4, per le travi a T sono pari a 6;
- **Staffe :** Per definire l'armatura a taglio definire il numero di blocchi di staffe (massimo pari a 3), la lunghezza in frazione di 1 dei tre blocchi (L), e il passo delle staffe per ogni blocco. Per tutte le staffe vanno inserite il numero di bracci e il diametro da utilizzare;
- **Superiori e Inferiori :** Le armature superiori possono essere definite come "longitudinali", di lunghezza pari a tutta la campata, e come "monconi" sia a destr che a sinistra. Sono da definire il diametro delle armature, il numero e, per i monconi, la lunghezza espressa in frazione di 1.

L'assegnazione delle armature avviene attraverso la pressione del pulsante "OK". Il Wizard delle armature provvede a creare tutte le sezioni utili alla definizione delle armature.

Le sezioni create vengono tutte visualizzata nella stessa schermata, in ordine di ascissa espressa in frazione di 1. Tutte le lunghezze sono riferite alla lunghezza della campata libera della trave.

Per le travi ed i cordoli occorre rispettare le seguenti regole:

### Travi:

- In un elemento si possono utilizzare al massimo due diametri diversi;
- I ferri devono essere simmetrici rispetto all'asse baricentrico verticale;
- I ferri simmetrici devono essere uguali (con lo stesso diametro);
- I ferri di parete devono essere simmetrici e con lo stesso diametro;

### Cordoli:

- La distribuzione dei ferri longitudinali deve essere uniforme per tutta la lunghezza del cordolo;
- Si può utilizzare un solo diametro;

Nel caso di piani di sopraelevazione in c.a. è possibile armare travi e pilastri automaticamente secondo i minimi di normativa (minimi in funzione della geometria dell'elemento) cliccando sul comando contrassegnato dalla seguente icona . Il comando annulla tutte le modifiche precedenti (solo per il piano di sopraelevazione).

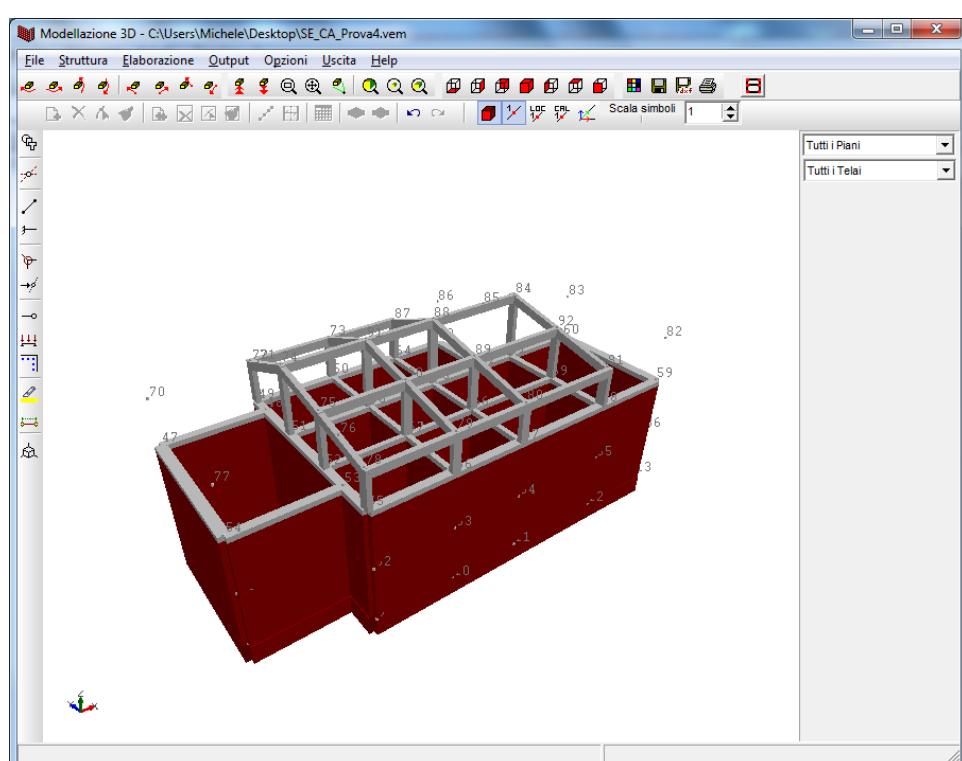
## 1.6 – La Modellazione 3D.

Nei casi in cui si ha un piano di sopraelevazione in c.a. o acciaio, oltre all'input per impalcati è possibile utilizzare un ambiente di modellazione tridimensionale utile al completamento delle parti di struttura per le quali una visualizzazione piana diventa insufficiente.

Nella “Modellazione 3D” la struttura viene rappresentata in tridimensionale nella sua interezza. È possibile, tuttavia, impostare la visualizzazione filiforme o come elementi solidi. Nella visualizzazione vengono eliminati pannelli di carico, solai e platee.

L'ambiente tridimensionale consente l'introduzione di nodi, aste, controventi, mensole, vincoli interni, nodi master, carichi ripartiti, forze concentrate. L'ambiente di modellazione si raggiunge cliccando sulla seguente icona . La Modellazione 3D può essere utilizzata solo ed esclusivamente per piani di sopraelevazioni in c.a. o acciaio.

Questa operazione apre la seguente finestra:



Oltre ai menu utili a passare alle altre sezioni dell'input già descritte precedentemente (riportati anche nell'input grafico) sono presenti i comandi di visualizzazione 3D, per i quali si rimanda al relativo capitolo.

### 1.6.1 – Comandi della “Modellazione 3D”

Nella presente sezione del manuale d'uso verranno trattati i comandi utili all'introduzione degli elementi strutturali e di modellazione della struttura contenuti nell'ambiente di modellazione tridimensionale.

#### 1.6.1.1 – Nodi

Consente di dividere l'asta selezionata attraverso l'introduzione di nodi. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



L'operazione si attua cliccando sull'asta. Al click sul lato destro della finestra compare la seguente maschera:

<p><b>Nodo 57</b></p> <table border="1"> <tr><td>Iniziale</td><td>44</td></tr> <tr><td>X</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>Y</td><td>30.0</td></tr> <tr><td>Z</td><td>820.0</td></tr> <tr><td>Finale</td><td>50</td></tr> <tr><td>X</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>Y</td><td>370.0</td></tr> <tr><td>Z</td><td>820.0</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td><b>Dist. 3D</b></td><td><b>Coordinate</b></td></tr> <tr><td colspan="2"><b>Dist. XY e quota</b></td></tr> <tr><td>Rispetto al nodo</td><td><b>Iniziale</b></td></tr> <tr><td>Dist XY</td><td>209.5</td></tr> <tr><td>Quota</td><td>0.0</td></tr> </table> <p><b>Ok</b>    <b>Annulla</b>    <b>Applica</b></p>	Iniziale	44	X	15.0	Y	30.0	Z	820.0	Finale	50	X	15.0	Y	370.0	Z	820.0	<b>Dist. 3D</b>	<b>Coordinate</b>	<b>Dist. XY e quota</b>		Rispetto al nodo	<b>Iniziale</b>	Dist XY	209.5	Quota	0.0	<p><b>Nodo 44</b></p> <table border="1"> <tr><td>Iniziale</td><td>31</td></tr> <tr><td>X</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>Y</td><td>30.0</td></tr> <tr><td>Z</td><td>550.0</td></tr> <tr><td>Finale</td><td>32</td></tr> <tr><td>X</td><td>500.0</td></tr> <tr><td>Y</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>Z</td><td>550.0</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td><b>Dist. XY e quota</b></td><td><b>Coordinate</b></td></tr> <tr><td colspan="2"><b>Dist. 3D</b></td></tr> <tr><td>Rispetto al nodo</td><td><b>Iniziale</b></td></tr> <tr><td>Distanza</td><td>304.9</td></tr> <tr><td colspan="2"><b>Centra</b></td></tr> </table> <p><b>Ok</b>    <b>Annulla</b>    <b>Applica</b></p>	Iniziale	31	X	15.0	Y	30.0	Z	550.0	Finale	32	X	500.0	Y	15.0	Z	550.0	<b>Dist. XY e quota</b>	<b>Coordinate</b>	<b>Dist. 3D</b>		Rispetto al nodo	<b>Iniziale</b>	Distanza	304.9	<b>Centra</b>		<p><b>Nodo 44</b></p> <table border="1"> <tr><td>Iniziale</td><td>31</td></tr> <tr><td>X</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>Y</td><td>30.0</td></tr> <tr><td>Z</td><td>550.0</td></tr> <tr><td>Finale</td><td>32</td></tr> <tr><td>X</td><td>500.0</td></tr> <tr><td>Y</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>Z</td><td>550.0</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td><b>Dist. XY e quota</b></td><td><b>Coordinate</b></td></tr> <tr><td colspan="2"><b>Dist. 3D</b></td></tr> <tr><td>X</td><td>319.8</td></tr> <tr><td>Y</td><td>20.6</td></tr> <tr><td>Z</td><td>550.0</td></tr> </table> <p><b>Ok</b>    <b>Annulla</b>    <b>Applica</b></p>	Iniziale	31	X	15.0	Y	30.0	Z	550.0	Finale	32	X	500.0	Y	15.0	Z	550.0	<b>Dist. XY e quota</b>	<b>Coordinate</b>	<b>Dist. 3D</b>		X	319.8	Y	20.6	Z	550.0
Iniziale	44																																																																															
X	15.0																																																																															
Y	30.0																																																																															
Z	820.0																																																																															
Finale	50																																																																															
X	15.0																																																																															
Y	370.0																																																																															
Z	820.0																																																																															
<b>Dist. 3D</b>	<b>Coordinate</b>																																																																															
<b>Dist. XY e quota</b>																																																																																
Rispetto al nodo	<b>Iniziale</b>																																																																															
Dist XY	209.5																																																																															
Quota	0.0																																																																															
Iniziale	31																																																																															
X	15.0																																																																															
Y	30.0																																																																															
Z	550.0																																																																															
Finale	32																																																																															
X	500.0																																																																															
Y	15.0																																																																															
Z	550.0																																																																															
<b>Dist. XY e quota</b>	<b>Coordinate</b>																																																																															
<b>Dist. 3D</b>																																																																																
Rispetto al nodo	<b>Iniziale</b>																																																																															
Distanza	304.9																																																																															
<b>Centra</b>																																																																																
Iniziale	31																																																																															
X	15.0																																																																															
Y	30.0																																																																															
Z	550.0																																																																															
Finale	32																																																																															
X	500.0																																																																															
Y	15.0																																																																															
Z	550.0																																																																															
<b>Dist. XY e quota</b>	<b>Coordinate</b>																																																																															
<b>Dist. 3D</b>																																																																																
X	319.8																																																																															
Y	20.6																																																																															
Z	550.0																																																																															

Nell'ambiente sono presenti le indicazioni sui nodi (iniziale e finale) dell'asta selezionata. Il posizionamento del nodo può essere attuato in modi diversi e con diversi parametri di riferimento:

- **Distanza XY e quota.**

Nodo dal quale “misurare” le distanze da introdurre;  
La distanza in pianta dal nodo scelto;  
La quota dal nodo scelto.

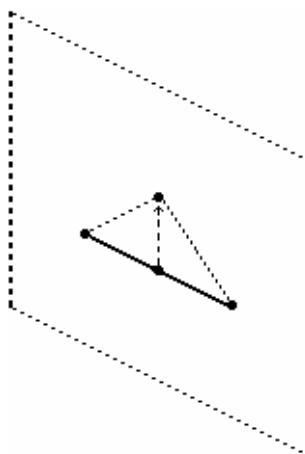
- **Distanza 3D.**

Nodo dal quale “misurare” le distanze da introdurre;  
Distanza lungo l'asta dal nodo scelto;  
Posiziona il nodo al centro dell'asta.

- **Coordinate.**

Coordinate del nodo da inserire.

Il nodo aggiunto può essere spostato solo nel piano verticale contenente l'asta sulla quale si è aggiunto il nodo:



Tutti i dati immessi vengono confermati attraverso il tasto “Applica”.

Il comando “Spezza asta in parti uguali” consente di inserire un set di nodi su un'asta dividendola nel numero di parti voluto.

Scegliendo il modo input “N. tratti” l'asta selezionata verrà divisa in un numero di parti uguali scelto dall'utente. Con il modo “Passo” verrà calcolato il numero di parti in modo tale da avvicinarsi il più possibile alla lunghezza inserita in centimetri dall'utente. Nel caso di andamento ad arco, verrà tenuto conto della curvatura dell'elemento.



Selezionando il campo “Arco” è possibile modellare l'elemento secondo un arco passante per tre punti. I punti utili sono i due estremi dell'asta e il punto identificato dalle distanze relative (rispetto al nodo iniziale o finale, secondo la scelta nel menu a tendina) DX Loc e DZ Loc.

Selezionando le singole aste saranno visualizzati i sistemi di riferimento locale descritti nel capitolo “Il motore di calcolo”.

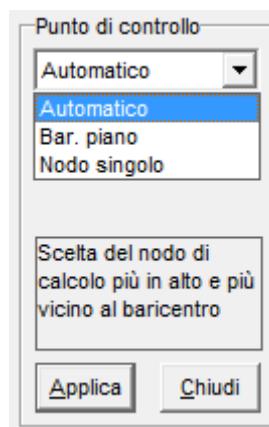
**N.B:** i nodi aggiunti si possono inserire solo sulle travi del piano di sopraelevazione. Non è possibile spezzare pilastri con l'ausilio di nodi aggiunti.

### 1.6.1.2 – Punto di controllo

Consente di selezionare un punto di controllo alternativo al baricentro delle masse dell'ultimo impalcato. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



L'operazione consente di scegliere il punto di controllo con una delle tre seguenti modalità:



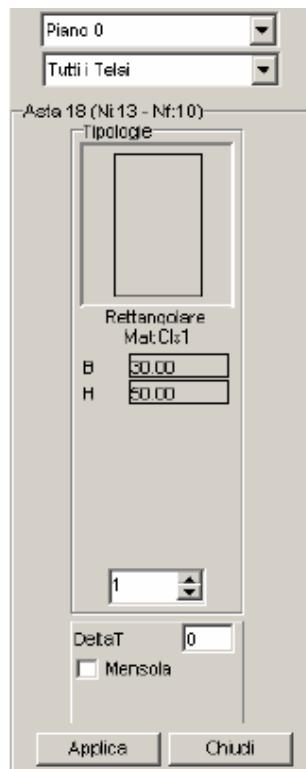
- **Automatico:** sceglie in automatico il punto di controllo coincidente con il baricentro delle masse dell'ultimo impalcato;
- **Bar. piano:** l'utente può scegliere il punto di controllo coincidente con il baricentro delle masse del generico piano;
- **Nodo singolo:** l'utente può scegliere il punto di controllo coincidente con un generico nodo della struttura (questa opzione è importante se si analizza la struttura seguendo le NTC 2018. Per edifici non regolari in pianta le suddette norme impongono di scegliere punti di controllo alternativi).

### 1.6.1.3 – Aste

Consente di inserire un'asta tra due nodi qualsiasi del piano di sopraelevazione. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



L'operazione si attua cliccando sui nodi interessati dall'asta. Sul lato destro della finestra compare la seguente maschera:



In questa sezione è possibile scegliere la **sezione** da assegnare all'asta, lo **stress termico** costante e la variabile che descrive l'asta come di tipo "**Mensola**".

La scelta di trave tipo "mensola" è utile per generare il carico associato al sisma verticale in base alle indicazioni riportate nel D.M. 17/01/2018. Inoltre la trave tipo mensola viene verificata e graficizzata (generazione delle armature longitudinali e delle staffe) in maniera particolare rispetto ad una trave di campata.

Selezionando le singole aste saranno visualizzati i sistemi di riferimento locale descritti nel capitolo "Il motore di calcolo".

**N.B:** le aste aggiunte si possono inserire tra due nodi qualsiasi del piano di sopraelevazione ed i nodi dell'ultimo piano in muratura. Per esempio, è possibile inserire un'asta aggiunta tra due nodi appartenenti a due piani diversi per simulare la presenza di controventi.

#### 1.6.1.4 – Mensole

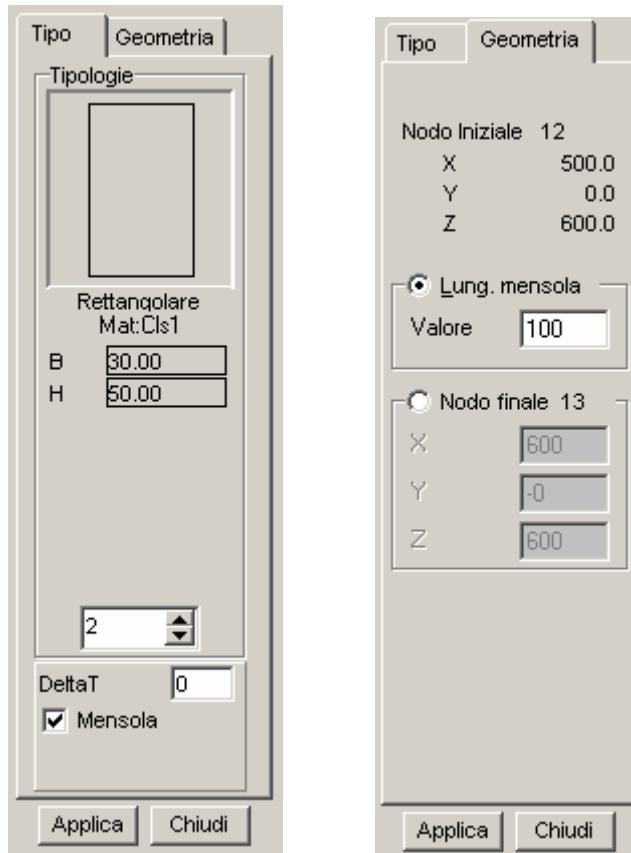
Consente di inserire una mensola. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



L'operazione si attua cliccando su due nodi consecutivi. La mensola sarà aggiunta sul secondo nodo scelto, mentre il primo nodo serve per definire la direzione nello spazio.

Sul lato destro della finestra compare la seguente maschera. Dal pannello "**Tipo**" è possibile scegliere la sezione da assegnare all'asta, lo stress termico costante e la variabile che descrive l'asta come di tipo "Mensola". La scelta di trave tipo "mensola" è utile per generare il carico associato al sisma verticale in base alle indicazioni riportate D.M. 17/01/2018. Inoltre la trave tipo mensola viene verificata e graficizzata (generazione delle armature longitudinali e delle staffe) in maniera particolare rispetto ad una trave di campata.

Dal foglio "**Geometria**" si può scegliere la lunghezza della mensola oppure si possono inserire le coordinate del nodo aggiuntivo.



#### 1.6.1.5 – Master/Slave

L'impalcato del piano si sopraelevazione può essere considerato rigido o deformabile attraverso la gestione del nodo master. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



Di default il programma predispone un master per ogni impalcato e associa tutti i nodi dell'impalcato come "slave", ossia legati al master per i tre gradi di libertà nel piano orizzontale (spostamento lungo x, spostamento lungo y e rotazione attorno a z del sistema di riferimento globale). Se necessario è possibile intervenire sulla definizione dei master agendo sul pulsante "Master/Slave" presente nell'ambiente "Modellazione 3D".

Alla pressione del tasto vengono attivate le seguenti funzioni:



**Introduci:** consente di introdurre il master nel piano di sopraelevazione.



**Cancella:** consente di cancellare il piano di sopraelevazione del piano di sopraelevazione e rendere il piano deformabile.

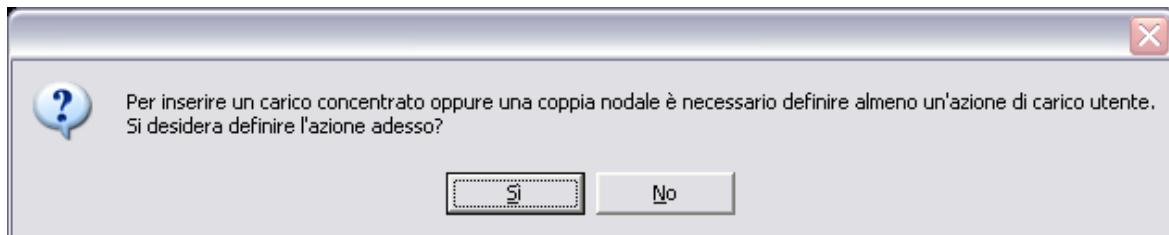
Il nodo master è un nodo aggiuntivo a quelli strutturali, contrassegnato con un asterisco di colore rosso. Il codice identificativo di un nodo master è formato dalla lettera "M" più un numero progressivo.

#### 1.6.1.6 – Carichi concentrati

Consente la gestione delle forze nodali dirette secondo le tre direzioni del sistema di riferimento globali. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



Se non è stata definita un “Azione” nell’ambiente “Combinazioni”, il programma apre automaticamente l’apposita sezione dopo aver chiesto conferma attraverso il seguente messaggio:



Sull’aggiunta di una condizione di carico si rimanda al paragrafo relativo alle “Combinazioni di carico”. Alla pressione del comando descritto, viene visualizzata sul lato destro dello schermo la seguente maschera:



La forza concentrata in direzione Z (verticale) può essere solo negativa (rivolta verso il basso).

I tasti attivati dalla funzione sono:



**Introduci:** consente l’introduzione di una o più forze (in direzione x,y,z globale) cliccando direttamente sul nodo stesso con il tasto sinistro del mouse.



**Cancella:** consente la cancellazione di tutte le forze presenti cliccando direttamente sul nodo voluto.



**Modifica:** consente la modifica delle forze presenti su di un nodo. Le modifiche sono rese effettive cliccando sul tasto “Applica”.



**Introduci multiplo:** consente l’introduzione delle stesse forze su un gruppo di nodi racchiusi nel “box di selezione”. Dopo aver introdotto i valori da applicare basta realizzare la selezione a box racchiudendo i nodi voluti.



**Cancella box:** consente la cancellazione delle forze presenti sui nodi racchiusi nel box di selezione.



**Modifica box:** consente la modifica delle forze presenti su di un gruppo di nodi. Le modifiche sono rese effettive cliccando sul tasto “Applica”. Se sui nodi scelti erano presenti valori tra loro diversi, attraverso la modifica vengono uniformati al valore inserito.

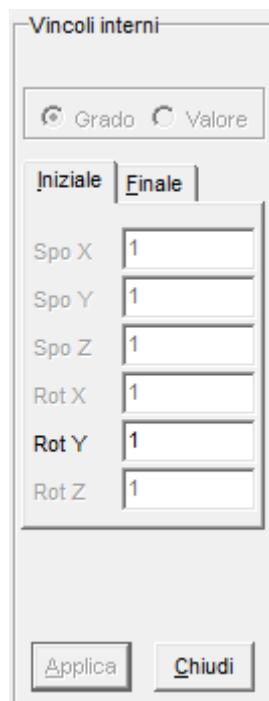
Le forze vengono associate all’”Azione” utente visualizzata nel menu a tendina presente sopra i valori numerici relativi alle forze.

#### 1.6.1.7 – Vincoli interni

Consente la gestione delle condizioni interne di vincolo presenti tra le aste del modello. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



Tali vincoli sono posti come delle sconnessioni tra il nodo e l'asta sulla quale la cerniera è applicata. Alla pressione del tasto sul lato destro dello schermo compare la seguente maschera:



È consentito svincolare soltanto le rotazioni intorno a Y, sia del nodo iniziale che del nodo finale dell'asta. I soli valori possibili sono 0 ed 1. Il numero 0 indica la sconnessione del collegamento (vincolo cerniera), mentre il numero 1 indica l'incastro.

I tasti attivati dalla funzione sono:



**Introduci:** consente l'introduzione di una cerniera (intorno a x,y,z globale) cliccando direttamente sull'asta dal lato più vicino al nodo dove realizzare la cerniera interna.



**Cancella:** consente la cancellazione del vincolo interno presente cliccando sull'asta dal lato più vicino al nodo dove realizzare la cerniera interna.



**Modifica:** consente la modifica del vincolo interno presente cliccando sull'asta dal lato più vicino al nodo da modificare. Le modifiche sono rese effettive cliccando sul tasto “Applica”.

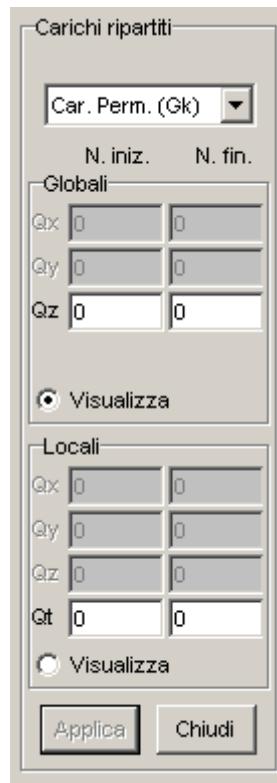
### 1.6.1.8 – Carichi ripartiti

Consente la gestione dei carichi ripartiti (locali e globali) in modo da visualizzare i valori relativi a carichi permanenti e accidentali, e riempire con i carichi voluti le condizioni utente. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



La scelta della condizione a cui associare i carichi inseriti viene fatta dal menù a tendina relativa all'“Azione corrente”.

Alla pressione del tasto sul lato destro dello schermo compare la seguente maschera:



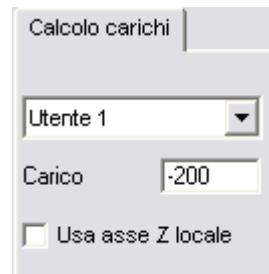
I tasti attivati dalla funzione sono:

**Introduci:** consente l'introduzione di una serie di carichi ripartiti (lungo a x,y,z globale, locale e un'azione torcente) cliccando direttamente sull'asta.

**Cancella:** consente la cancellazione dei carichi presenti cliccando sull'asta voluta. La cancellazione avverrà solo per le condizioni utente.

**Modifica:** consente la modifica dei valori di carico presenti sull'asta. Le modifiche sono rese effettive cliccando sul tasto “Applica”. Selezionando le singole aste saranno visualizzati i sistemi di riferimento locale descritti nel capitolo “Il motore di calcolo”.

**Carico da superficie:** consente di assegnare i carichi ripartiti alle aste selezionate, calcolandolo in funzione della superficie del piano formato dalle due aste. Attivando la funzione verrà visualizzato i seguenti dati:



I dati da scegliere al fine dell'utilizzo della funzione sono:

1. la condizione di carico da riempire (si ricorda che i carichi permanenti e d'esercizio sono utilizzabili solo per le "aste aggiunte");
2. Il valore del carico per unità di superficie;
3. La direzione locale del piano.

La direzione locale del piano viene identificata con la seguente logica:

1. asse X locale del piano coincidente con la direzione della prima asta selezionata;
2. asse Y locale del piano giacente sul piano stesso e di verso positivo diretto verso la seconda asta selezionata;
3. asse Z locale del piano diretto di conseguenza agli altri due assi in modo da formare una terna levogira.

Nel caso si utilizzi l'asse locale, il carico creato verrà assegnato e scomposto lungo gli assi del riferimento locale delle varie aste selezionate. Per la logica usata per creare il sistema di riferimento locale dell'asta si rimanda al paragrafo 2.3 del presente manuale.

Selezionando le singole aste saranno visualizzati i sistemi di riferimento locale descritti nel capitolo "Il motore di calcolo".

#### 1.6.1.9 – Ferri

Consente di assegnare le armature alle aste aggiunte nella "Modellazione 3D". I comandi di inserimento di gestione dell'ambiente sono uguali a quelli già descritti per l'Input Grafico. Il comando "Ferri" attiva le seguenti funzioni:



**Introduci:** consente la definizione delle armature cliccando direttamente sull'asta.



**Cancella:** consente la cancellazione delle armature presenti cliccando sull'asta voluta.

#### 1.6.1.10 – Evidenzia elementi

Consente di evidenziare, utilizzando la colorazione gialla, la tipologia di elemento selezionandola nella maschera presente sulla parte destra dello schermo. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



La scelta ricade tra i seguenti tipi di elementi:

- **Sezioni;**
- **Plinti;**
- **Clis;**
- **Acciaio;**
- **Legno;**
- **Muratura;**

- **Solai;**
- **Strati;**
- **Ferri.**

L'operazione di "filtro" tra le tipologie disponibili, viene effettuata dal menu a tendina posizionata sotto la lista degli elementi.

Questa funzione è attiva anche nell'ambiente "Input Grafico".

#### 1.6.1.11 – Misura Distanza

Consente di misurare la distanza tra due fili fissi. La funzione viene attivata dalla seguente icona:



La misurazione avviene cliccando con il tasto sinistro del mouse sui fili fissi desiderati. I valori misurati compariranno nella seguente maschera:



## 1.7 – Consolidamenti.

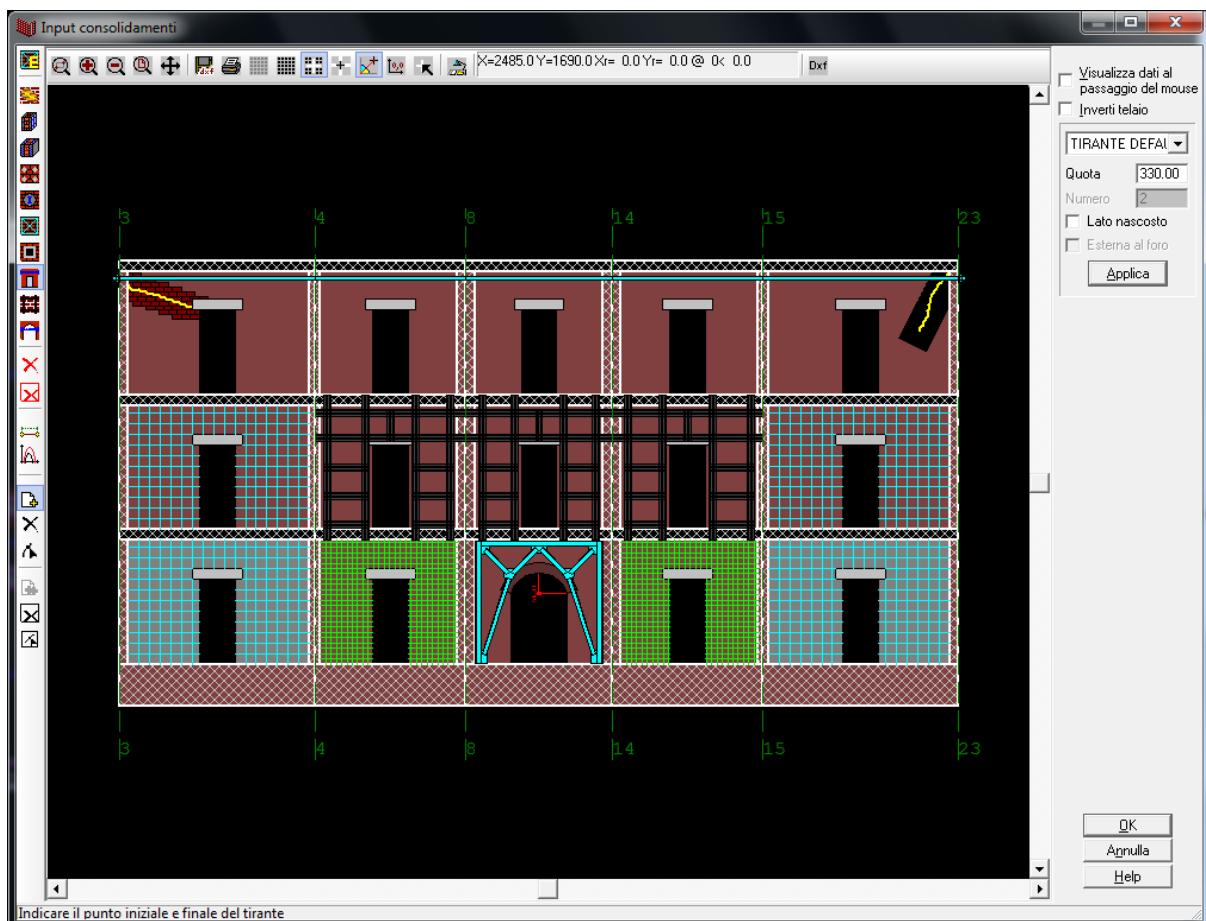
In VEM<sub>NL</sub> è possibile inserire da input una serie di tipologie di consolidamento per le pareti in muratura ed in c.a.. Le tipologie previste sono:

- **Cuci-Scuci;**
- **Intonaco armato;**
- **Pareti in c.a.;**
- **Diatoni artificiali;**
- **Telaio acciaio;**
- **Iniezioni di malta;**
- **Cerchiature;**
- **Tiranti su pareti;**
- **Cuciture di lesioni con reti FRP;**
- **Intonaco armato con reti FRP;**
- **Cerchiature esterne con fasce FRP;**
- **Rinforzo a flessione e taglio nel piano e fuori piano con fasce FRP;**
- **Sistema CAM;**
- **Tiranti su archi e volte;**
- **FRP su archi e volte;**
- **Consolidamento del terreno di fondazione con resine iniettate;**
- **Consolidamento della fondazione con allargamento della sezione;**
- **Ingrossamento pilastri in c.a.;**
- **Rinforzo inferiore trave;**
- **Allargamento trave;**
- **Rinforzo trave;**
- **Nervatura trave a spessore;**

All'input dei consolidamenti si accede cliccando sulla seguente icona presente nell'**Input Grafico** (ad eccezione dei consolidamenti in fondazione, per elementi in c.a. e sulle volte):



e successivamente sul muro da consolidare, la quale apre il seguente ambiente



I comandi presenti in questo ambiente sono i seguenti:



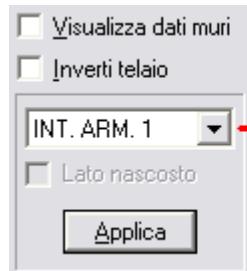
Consente di definire le tipologie da utilizzare. L'utilizzo dell'editor dei consolidamenti è stato ampiamente discusso in precedenza.



Consente l'inserimento del consolidamento "Cuci-scuci". Per poterlo inserire occorre la presenza di una fessura. L'obiettivo di questa tipologia di consolidamento è di ripristinare la resistenza del muro in prossimità delle fessure.



Consente l'inserimento del consolidamento "Intonaco armato". Per poterlo inserire bisogna cliccare sulla parete da consolidare e scegliere la tipologia dal menu a tendina in alto a destra della finestra:



Menu a tendina per la scelta della tipologia

Consente l'inserimento del consolidamento "Pareti in c.a.". Per poterlo inserire bisogna cliccare sulla parete da consolidare e scegliere la tipologia dal menu a tendina in alto a destra della finestra. La parete in c.a. può essere presente su un lato della parete in muratura o su entrambi. Nel caso in cui si sceglie di consolidare con una sola parete bisogna stabilire anche il lato rispetto al quale inserire la parete in c.a.:



Menu a tendina per la scelta della tipologia

Lato sul quale inserire la parete in c.a.

Consente l'inserimento del consolidamento "Iniezioni di malta". Per poterlo inserire bisogna cliccare sulla parete da consolidare e scegliere la tipologia dal menu a tendina in alto a destra della finestra.



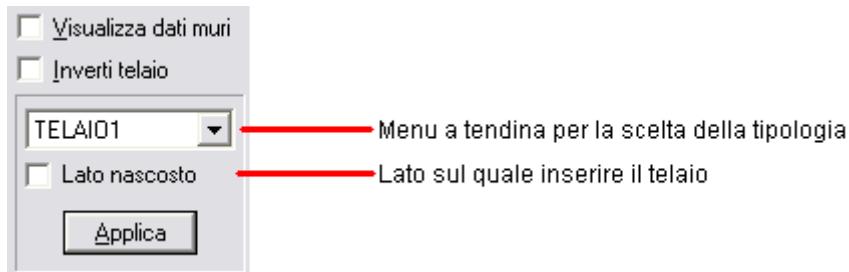
Menu a tendina per la scelta delle tipologie

Consente l'inserimento del consolidamento "Diatoni artificiali". Per poterlo inserire bisogna cliccare sulla parete da consolidare e scegliere la tipologia dal menu a tendina in alto a destra della finestra.

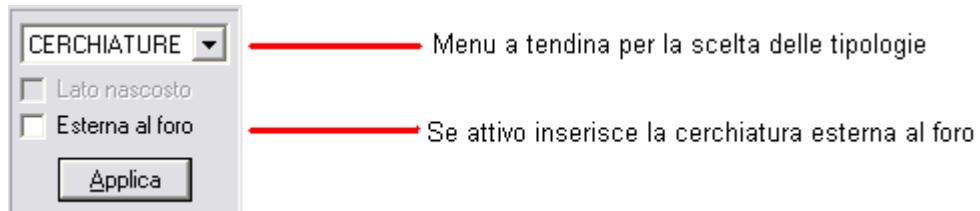


Menu a tendina per la scelta della tipologia

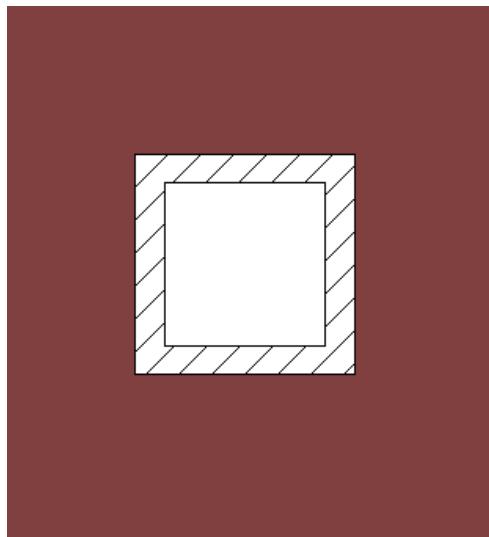
- Consente l'inserimento del consolidamento "Telai metallici". Per poterlo inserire bisogna cliccare sulla parete da consolidare e scegliere la tipologia dal menu a tendina in alto a destra della finestra. Il telaio può essere presente su un lato della parete in muratura o su entrambi. Nel caso in cui si sceglie di consolidare con un solo telaio bisogna stabilire anche il lato rispetto al quale inserire il telaio:



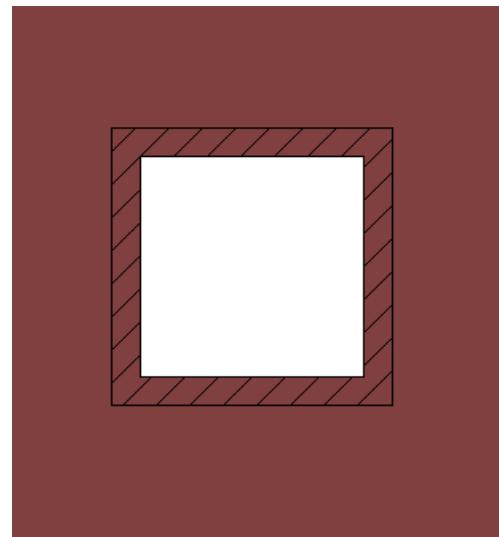
- Consente l'inserimento del consolidamento "Cerchiature". Per poterlo inserire bisogna cliccare sul foro da consolidare e scegliere la tipologia dal menu a tendina in alto a destra della finestra.



L'opzione "Esterna al foro" inserisce la cerchiatura nella muratura circostante al foro (non richiede il ridimensionamento del foro).



"Esterna al foro" non attivo



"Esterna al foro" attivo

- Consente l'inserimento del consolidamento "Tiranti metallici". L'inserimento avviene cliccando in sequenza sui fili fissi estremi. La tipologia si sceglie dal menu a tendina in alto a destra della finestra.

Il tirante può essere presente su un lato delle pareti o su entrambi. Nel caso in cui si sceglie di consolidare con un solo tirante bisogna stabilire anche il lato rispetto al quale inserire il tirante:



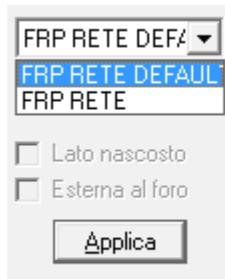
Quota del tirante riferita all'estradosso del piano inferiore  
Lato sul quale si inserisce il tirante



Consente di inserire i rinforzi con FRP. Cliccando sul comando si attivano i seguenti:



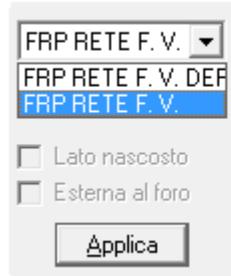
Consente di inserire la rete per le cuciture delle lesioni. Per poterlo inserire occorre la presenza di una fessura. L'obbiettivo di questa tipologia di consolidamento è di ripristinare la resistenza del muro in prossimità delle fessure. Il compito della rete è quello di trasferire le azioni di trazione in prossimità della lesione. Per inserire correttamente il consolidamento occorre selezionare la tipologia dal menu a tendina in alto a destra della videata.



Menu a tendina per la scelta della tipologia



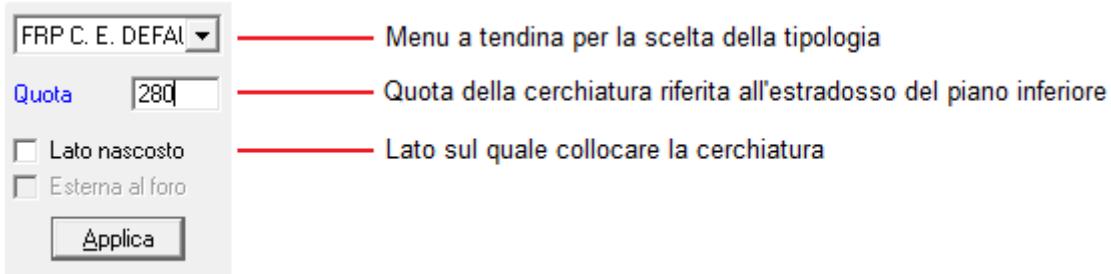
Consente l'inserimento del consolidamento "Intonaco armato con rete in FRP". Per poterlo inserire bisogna cliccare sulla parete da consolidare e scegliere la tipologia dal menu a tendina in alto a destra della finestra:



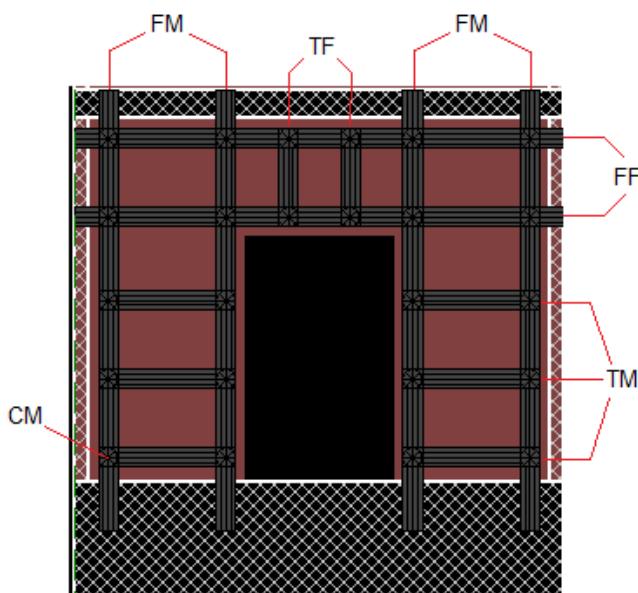
Menu a tendina per la scelta della tipologia



Consente l'inserimento del consolidamento "Cerchiature esterne". L'inserimento avviene cliccando in sequenza sui fili fissi estremi. La tipologia si sceglie dal menu a tendina in alto a destra della finestra. La cerchiatura esterna può essere presente solo su un lato della parete. Per l'inserimento corretto del consolidamento occorre stabilire inoltre il lato e la quota.



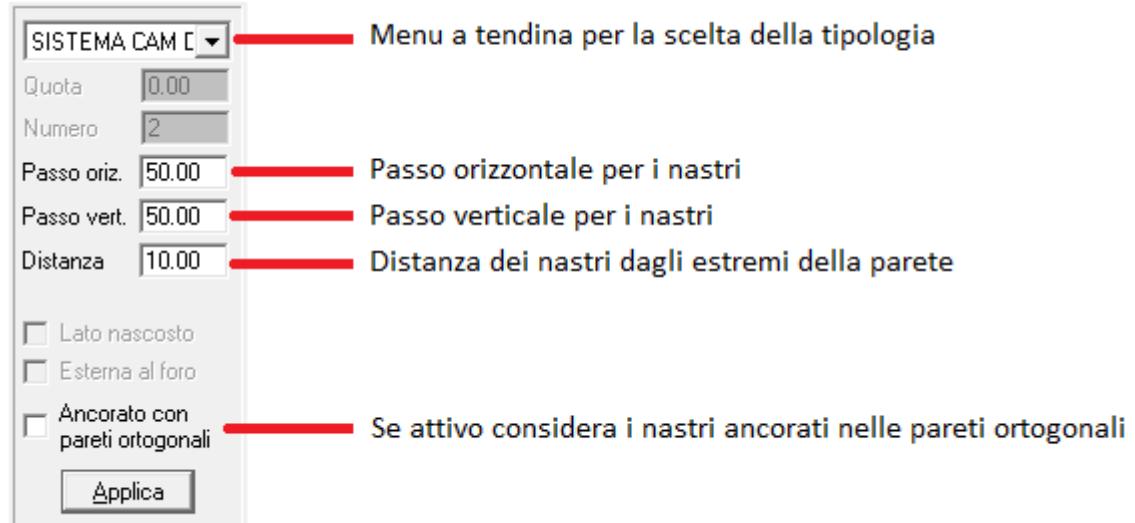
 Consente di inserire il rinforzo a pressoflessione e taglio degli elementi in muratura. Il rinforzo può essere inserito per consolidare a pressoflessione e taglio i maschi murari e le fasce. Si indica con FM il rinforzo a pressoflessione dei maschi, con TM il rinforzo a taglio dei maschi, con FF il rinforzo a pressoflessione delle fasce, con TF il rinforzo a taglio delle fasce e con CM i connettori meccanici trasversali.



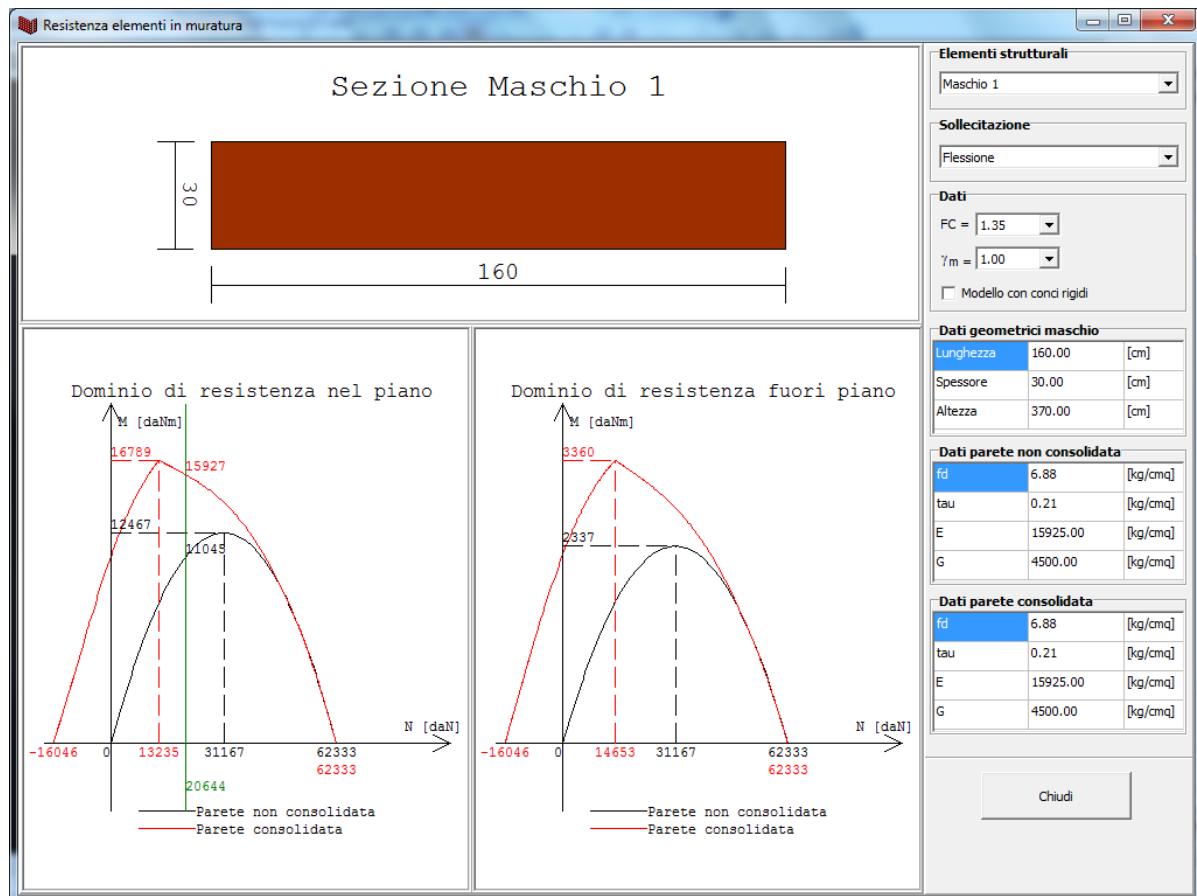
Il consolidamento si considera su entrambi i lati del muro. I rinforzi per pressoflessione (FF ed FM) sono sempre inseriti (in modo automatico) simmetricamente. In ogni elemento, questo consolidamento è presente in un numero di quattro fasce, due per lato (il sistema deve funzionare come una sezione in c.a. armata simmetricamente). I rinforzi per taglio (TF ed TM) richiedono la presenza dei rinforzi a flessione in quanto si ha l'esigenza di formare un traliccio isostatico alla Ritter- Morsch.

Per l'inserimento del consolidamento è sufficiente collocarsi con il mouse sul maschio o sulla fascia da consolidare, scegliendo la tipologia del rinforzo e fissando una distanza dall'estremo delle pareti. Inoltre si può scegliere se il rinforzo è solo per pressoflessione che taglio o solo per pressoflessione.

 Consente di consolidare la parete con il sistema CAM. Per poterlo inserire bisogna cliccare sulla parete da consolidare e scegliere la tipologia dal menu a tendina in alto a destra della finestra. Oltre alla tipologia occorre scegliere il passo orizzontale e verticale dei nastri e la distanza dai bordi della parete.



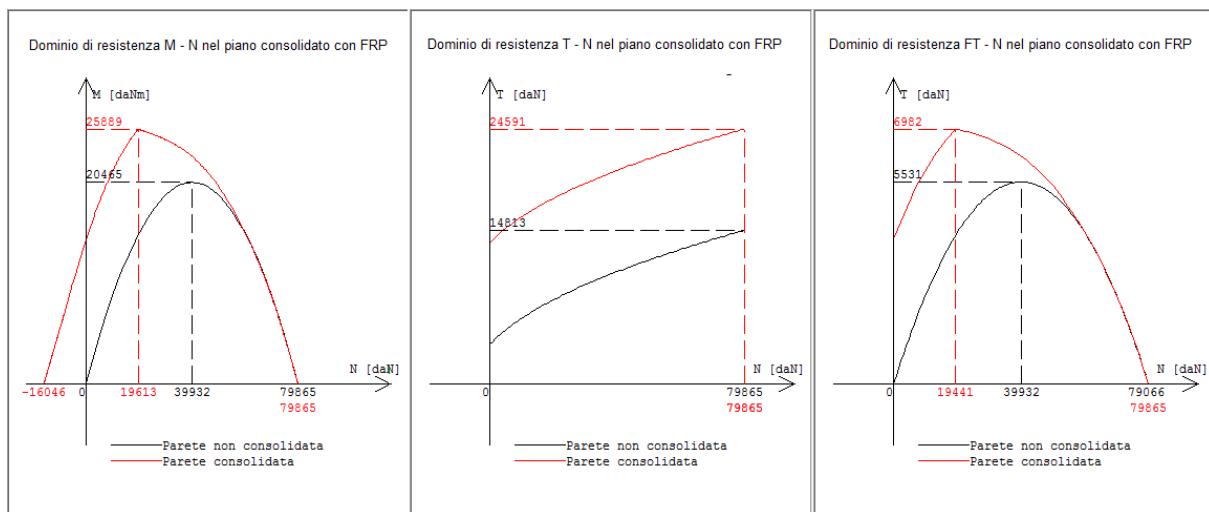
- Consente di eliminare tutti i consolidamenti presenti su una parete.
- Consente di eliminare tutti i consolidamenti inseriti su tutte le pareti selezionate dal box finestra.
- Consente di visualizzare i domini di resistenza dei maschi murari. Cliccando sull'icona si apre la seguente finestra:



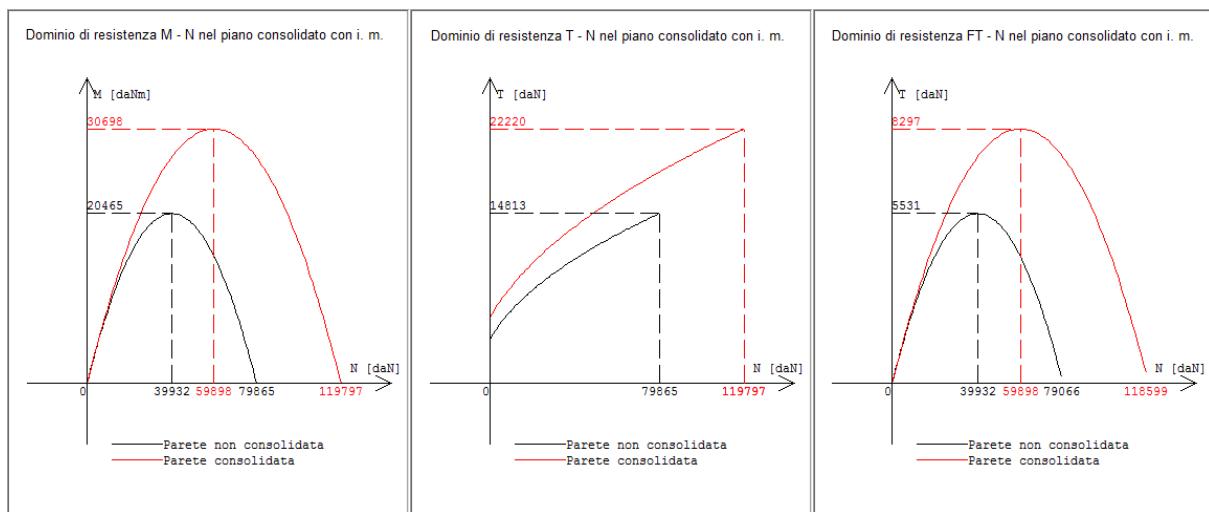
Vengono riportati i domini di resistenza a Flessione (M - N), a Taglio (T - N) ed a Flessione-Taglio (FT - N) dei maschi murari nel piano e fuori piano. In quest'ultimo caso il momento del dominio (M - N) viene trasformato in taglio secondo la nota formula  $M = T \cdot h$  (dove  $h$  è la distanza tra la sezione di verifica e quella a momento nullo; in questa fase l'elemento si considera libero di traslare in testa) e confrontato con quello del dominio (T - N). Naturalmente la resistenza a taglio dell'elemento è la minore dei due.

Nella precedente maschera, la curva nera rappresenta il dominio del maschio non consolidato, mentre la curva rossa il dominio del maschio consolidato. La linea verde ci consente di valutare per un dato sforzo normale (numero verde vicino alla linea verde) la resistenza a flessione (o taglio) dell'elemento consolidato (numero rosso vicino alla linea verde) e non consolidato (numero nero vicino la linea verde).

A titolo di esempio, nella figura successiva vengono riportati i domini di resistenza di una parete consolidata con fibre di carbonio resistenti a flessione e taglio ed i domini della stessa parete consolidata con iniezioni di malta.



Rinforzo del maschio a flessione e taglio nel piano con FRP



Rinforzo del maschio con iniezione di malta

Dalle precedenti immagini si può osservare che il rinforzo con FRP dà un incremento alla resistenza per valori bassi dello sforzo normale o per elementi resistenti a trazione, mentre il rinforzo con iniezione di malta dà un incremento positivo alla resistenza per valori alti dello sforzo normale. Questi diagrammi ci consentono di capire in fase di consolidamento qual'è l'intervento più adatto da utilizzare. Per esempio, se la rottura dell'elemento avviene per un valore dello sforzo normale elevato,

l'intervento con FRP non dà alcun incremento alla resistenza in quanto le due curve (consolidata e non) sono pressoché coincidenti. In questo caso è più adatto il consolidamento con iniezione di malta. Viceversa, se la rottura dell'elemento avviene per un valore dello sforzo normale basso, il rinforzo con FRP è più adatto delle iniezioni di malta.

Di seguito vengono riportati i dati di input da inserire.

The dialog box contains several sections:

- Elementi strutturali:** A dropdown menu showing "Maschio 1". A red arrow points to it with the label "Selezione del maschio".
- Sollecitazione:** A dropdown menu showing "Flessione - Taglio". A red arrow points to it with the label "Selezione del dominio da visualizzare".
- Dati:**
  - FC = 1.35 (Fattore di confidenza)
  - $\gamma_m = 1.00$  (Coefficiente di sicurezza del materiale)
  - Modello con conci rigidi (Modello di calcolo con conci rigidi)
- Dati geometrici maschio:**

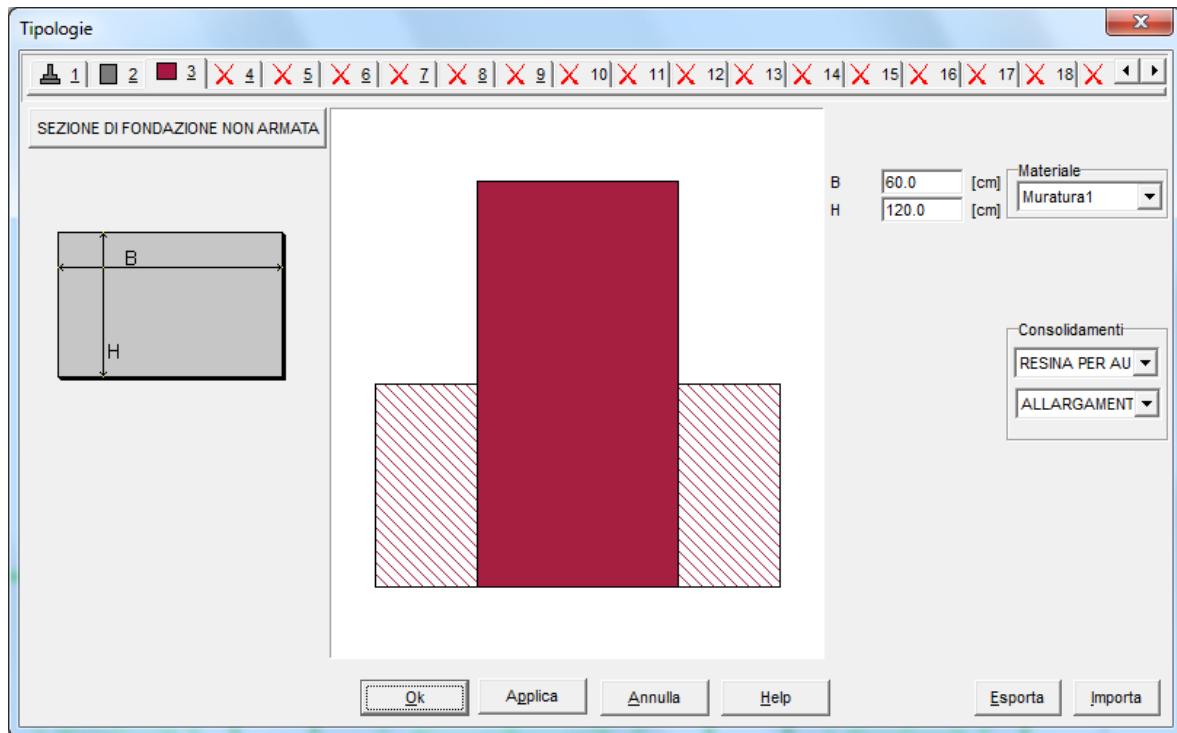
Lunghezza	205.00	[cm]
Spessore	30.00	[cm]
Altezza	370.00	[cm]
- Dati parete non consolidata:**

fd	6.88	[kg/cmq]
tau	0.21	[kg/cmq]
E	15925.00	[kg/cmq]
G	4500.00	[kg/cmq]
- Dati parete consolidata:**

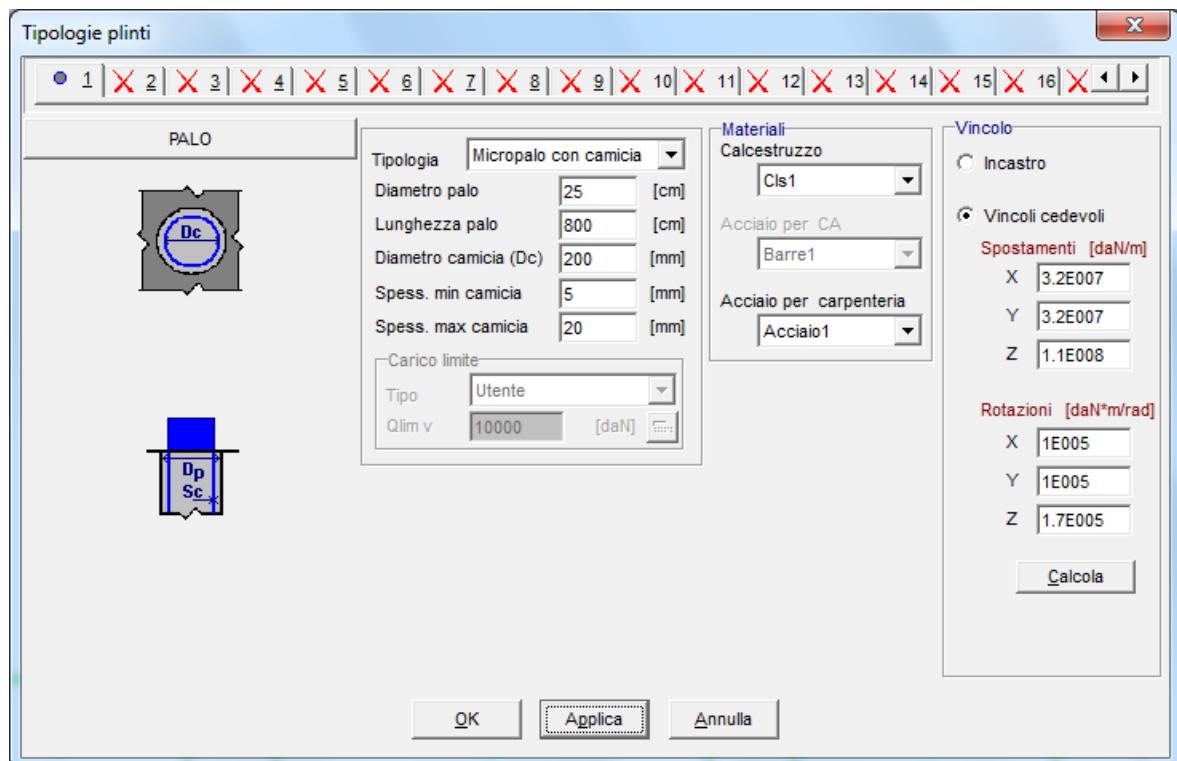
fd	10.31	[kg/cmq]
tau	0.31	[kg/cmq]
E	23887.50	[kg/cmq]
G	6750.00	[kg/cmq]
- Chiudi:** A button at the bottom right.

Viene richiesto, il fattore di confidenza, il coefficiente di sicurezza del materiale ed il tipo di modello da utilizzare in quanto in questa fase il software non conosce le opzioni di calcolo che solo successivamente l'utente va a definire.

L'inserimento del consolidamento in fondazione avviene nell'ambiente relativo alle Tipologie delle sezioni in cui oltre a definire le caratteristiche geometriche della trave di fondazione esistente ed il suo materiale, permette di inserire anche i consolidamenti. Per ogni sezione risulta possibile assegnare al massimo una tipologia di consolidamento con resina per aumento portanza ed una di allargamento sezione selezionandole fra le tipologie inserite nell'editor tipologie consolidamenti.



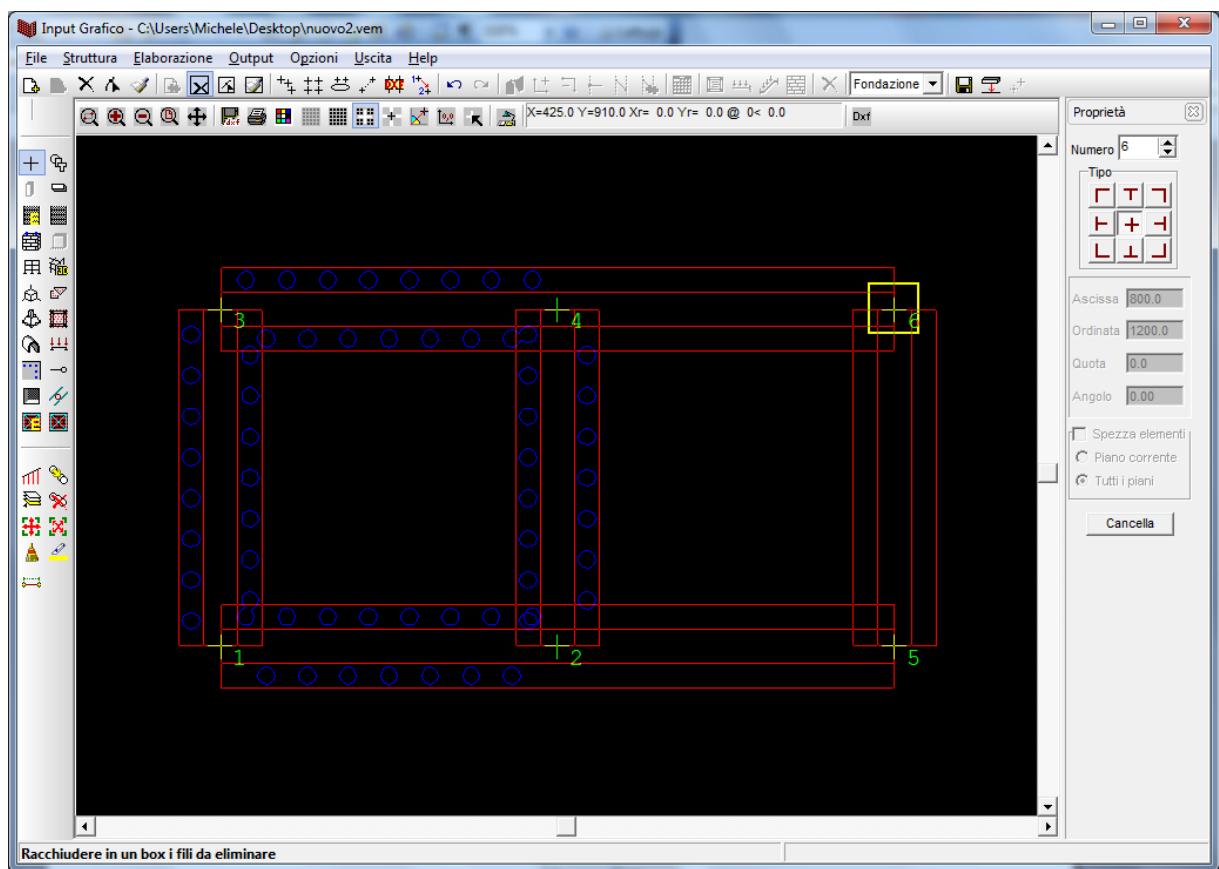
È possibile incrementare ulteriormente la resistenza di questo tipo di consolidamento attraverso l'utilizzo di pali e micropali. Dopo aver assegnato il consolidamento con allargamento della sezione, il software consente di inserire dei pali in c.a., micropali con camicia o micropali con resina per trasferire il carico agli strati più profondi del terreno di fondazione. A tale scopo deve essere definita la tipologia di pali da associare attraverso l'editor "Tipologia plinti" contrassegnato dalla seguente icona . Si definisce la tipologia di palo desiderata attraverso il seguente ambiente:

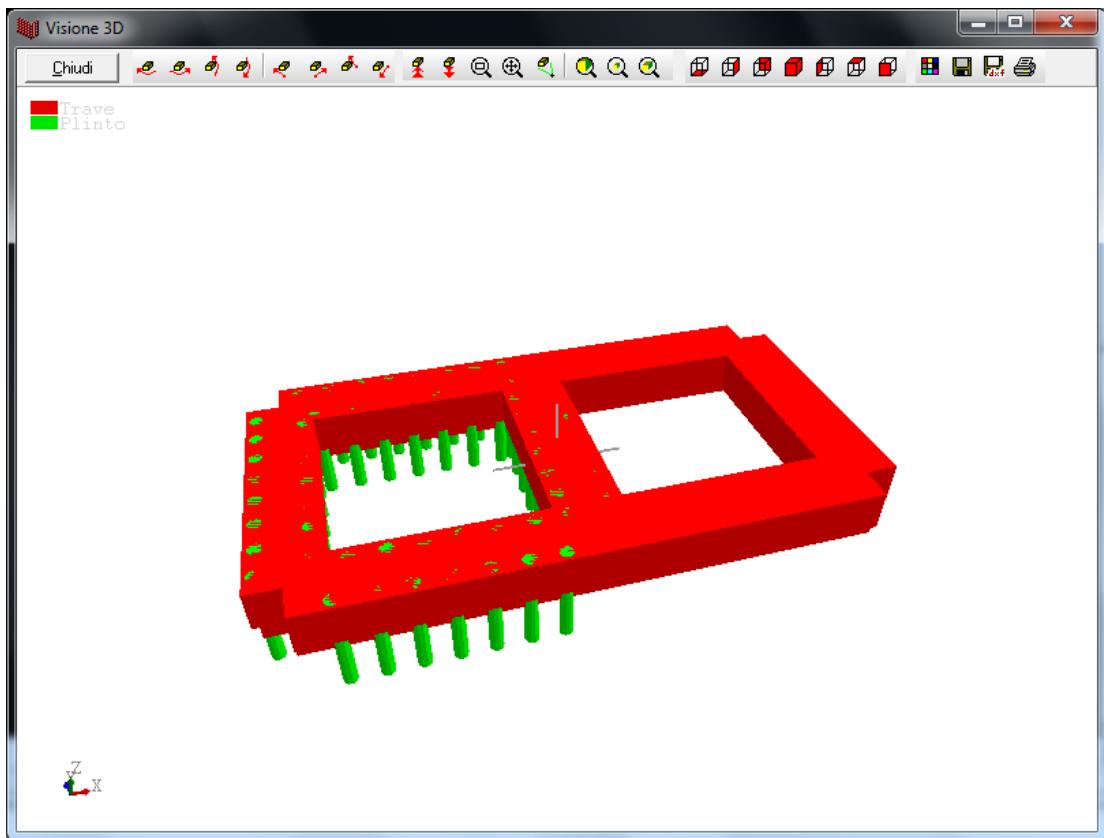


Attivando prima il comando Plinti  e poi Introduci Multiplo  i pali di fondazione potranno essere inseriti sotto i fili fissi, sotto le travi o le platee.

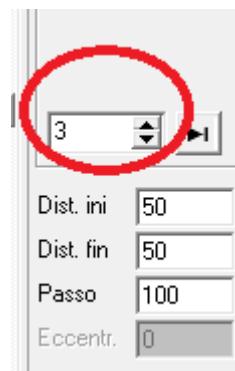


Selezionando l'inserimento dei pali sotto travi di fondazioni (vedi precedente immagine) il software consente di associare i pali alla travi di fondazione selezionate.





Selezionando la tipologia di palo da assegnare alla trave di fondazione attraverso la seguente schermata



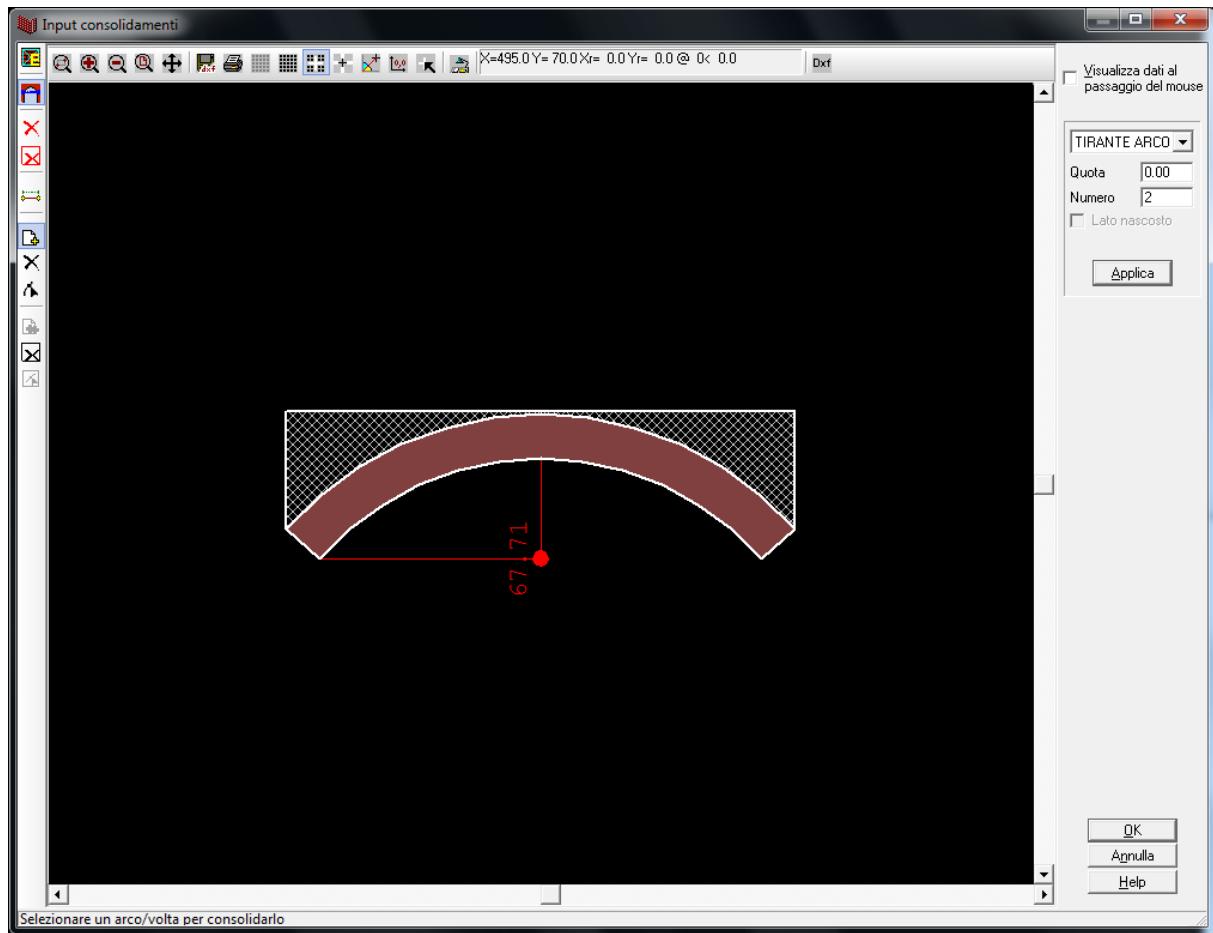
il software richiede dei parametri per l'inserimento dei pali nella trave consolidata:

Dist. Ini. = Distanza dall'estremo iniziale in cm del primo palo di fondazione;

Dist. Fin.= Distanza dall'estremo finale in cm dell'ultimo palo di fondazione;

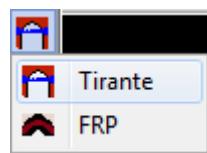
Passo = Interasse massimo dei pali in cm per ogni lato del consolidamento;

Per il consolidamento delle volte occorre cliccare sul comando contrassegnato dalla seguente icona e successivamente sulla volta da consolidare. A seguito delle precedenti operazioni, compare il seguente ambiente:

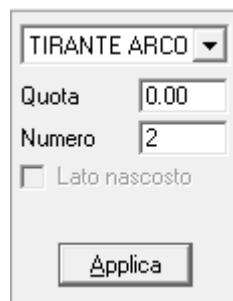


È possibile consolidare la volta con tiranti metallici e con fibre di carbonio disposti nelle due direzioni della volta stessa sia all'intradosso che all'estradosso.

Per consolidare la volta con tiranti, occorre cliccare sul comando riportato sotto:



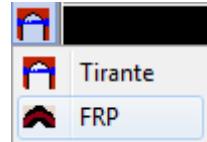
il quale attiva i seguenti comandi:



Dalla precedente si assegna:

- la tipologia del tirante (definita dall'editor dei consolidamenti – vedi punto 1.4.2.20 del manuale);
- la quota del tirante (riferito al punto iniziale dell'estradosso della volta);
- il numero di tiranti (si intendono uniformemente distribuiti su tutta la lunghezza della volta);

Per consolidare la volta con FRP, occorre cliccare sul comando riportato sotto:



il quale attiva i seguenti comandi:

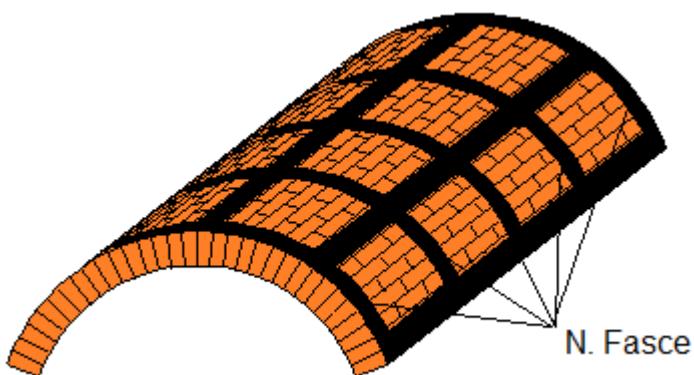
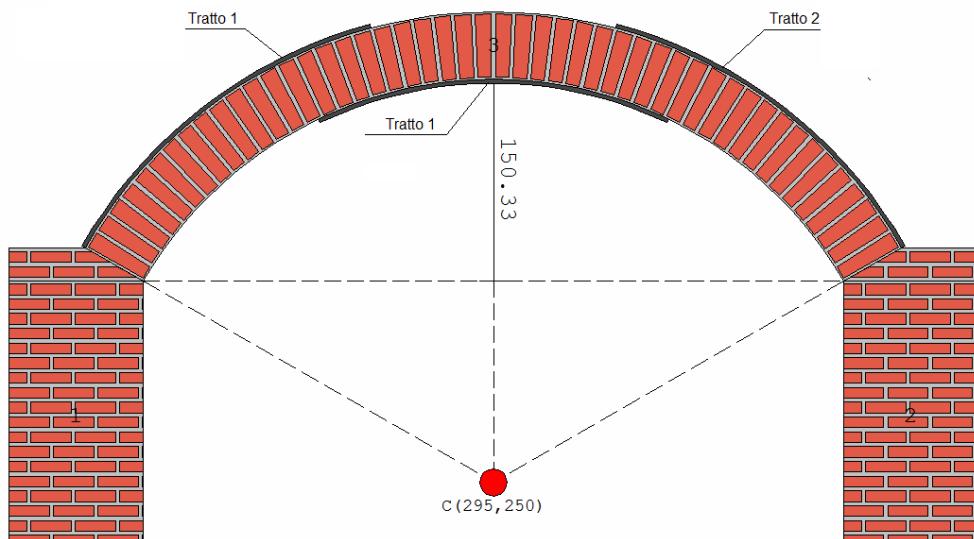


Dalla precedente si assegna:

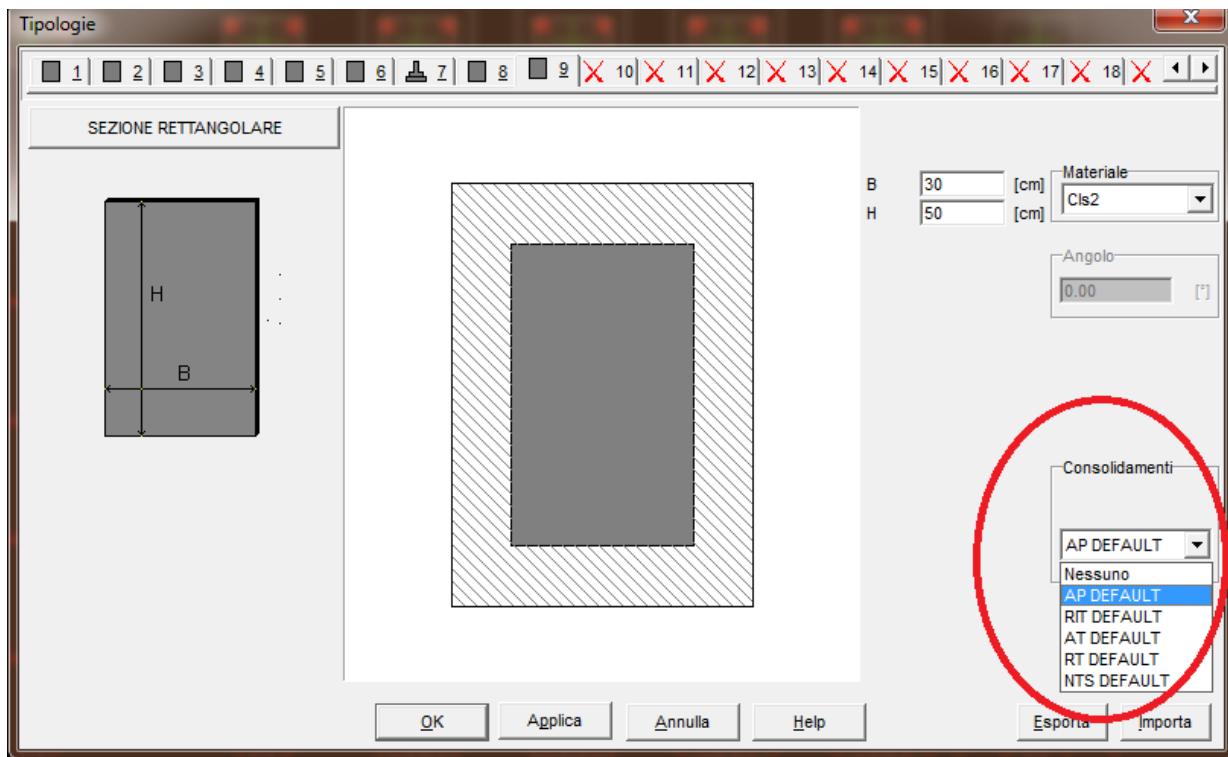
- la tipologia di FRP (definita dall'editor dei consolidamenti – vedi punto 1.4.2.20 del manuale);
- le fibre da collocare all'estradosso della trave;
- le fibre da collocare all'intradosso della trave;

Per definire il consolidamento all'intradosso ed all'estradosso della volta occorre inserire i seguenti dati:

- **N. tratti:** sia all'intradosso che all'estradosso della volta è possibile consolidare con uno o con due tratti di fibre (come riportato nella figura successiva). Se N. tratti = 0, il rinforzo non è presente.
- **Tratto 1:** nel caso in cui è previsto un solo tratto di consolidamento sulla volta (concetto valido sia per l'intradosso che per l'estradosso) occorre definire i seguenti dati:
  - N. Fasce: sono il numero delle fasce uniformemente distribuite sulla lunghezza della volta;
  - Xin: coordinata iniziale del rinforzo espresso in percentuale. I valori assumibili sono compresi tra 0 ed 1. Per esempio, se si assume il valore 0, il rinforzo parte dal valore iniziale della volta. Se si assume 0.5, parte dal valore centrale dello sviluppo della volta.
  - Xfi: coordinata finale del rinforzo espresso in percentuale. I valori assumibili sono compresi tra 0 ed 1. Per esempio, se si assume il valore 0.5, il rinforzo finisce nel punto centrale dello sviluppo della volta. Se si assume 1.0, termina alla fine della volta.
- **Tratto 2:** nel caso in cui è previsto il secondo tratto, occorre definire i dati come visto per il Tratto 1.



L'inserimento del consolidamento per elementi in c.a. avviene nell'ambiente relativo alle Tipologie travi e pilastri  in cui oltre a definire le caratteristiche geometriche della sezione rettangolare esistente da consolidare ed il suo materiale permette di inserire i consolidamenti. Risulta possibile assegnare la tipologia di consolidamento voluta selezionandola fra le tipologie inserite nell'editor tipologie consolidamenti.

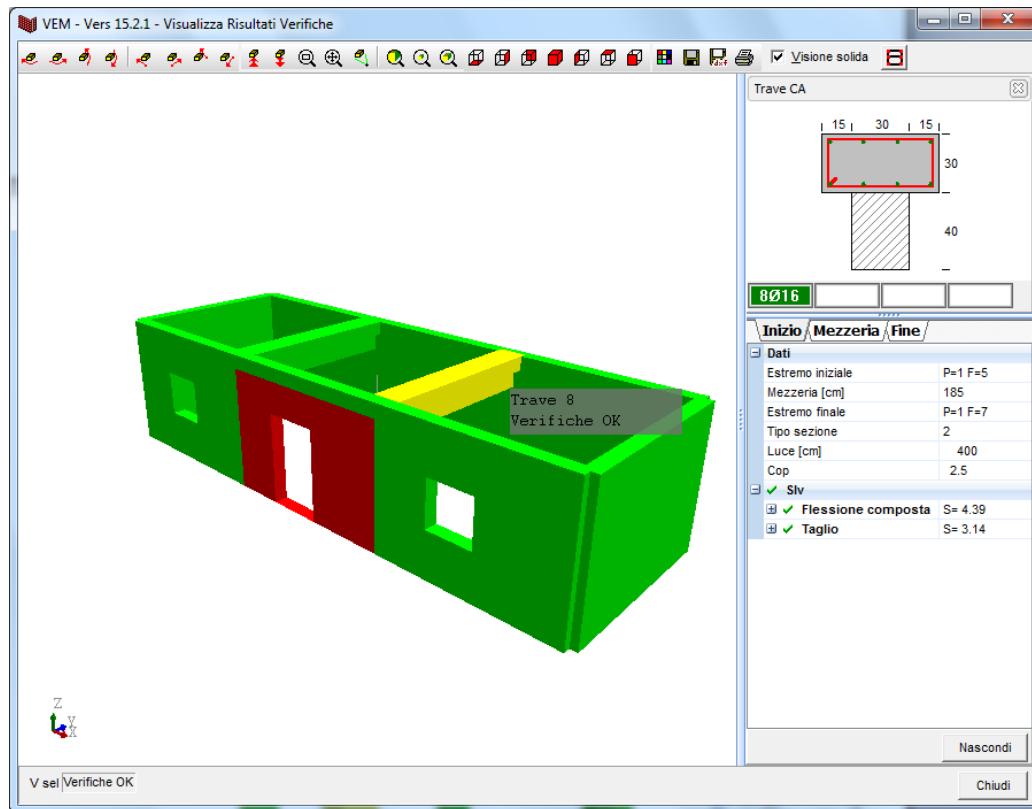


Dopo aver inserito il consolidamento già in input grafico ed in visione 3D il software consente di visionare la variazione al modello strutturale.

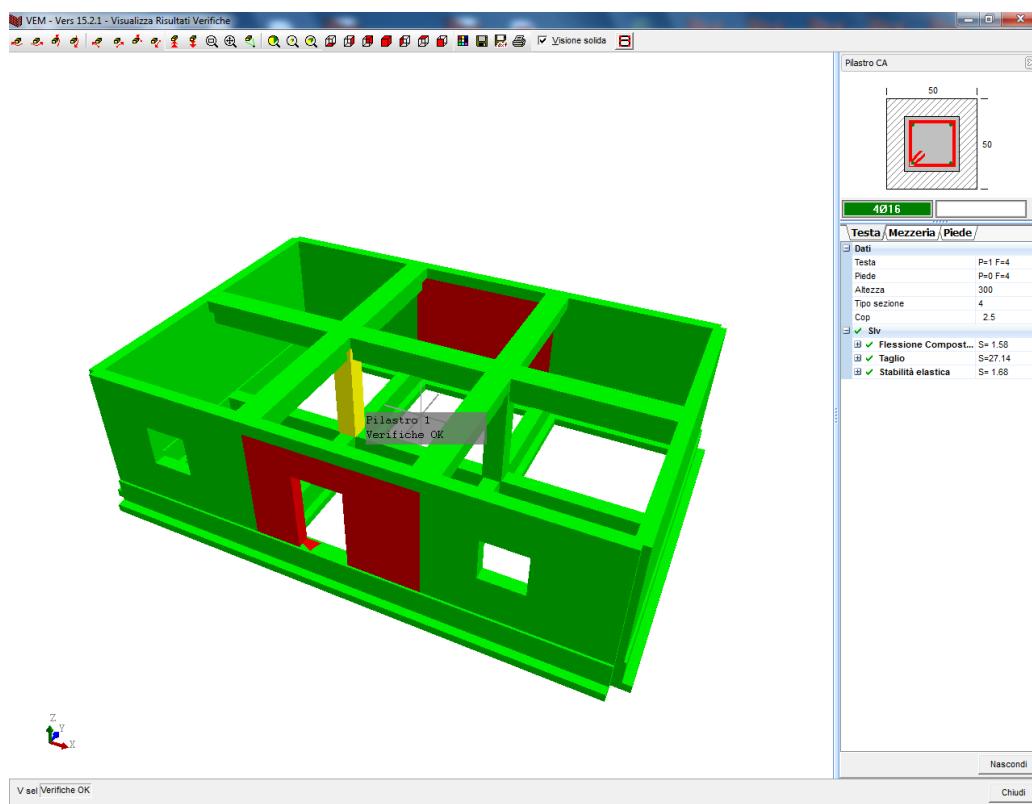
Per visualizzare i risultati delle verifiche eseguite e quindi valutare il margine di sicurezza ottenuto nei vari elementi consolidati basta selezionare il comando “Risultati verifiche” contrassegnato dalla seguente .

Selezionando il singolo elemento strutturale si visualizzerà una sintesi dei risultati di calcolo dell'elemento consolidato e si potranno valutare gli interventi di consolidamento effettuati o prevederne degli altri.

### Esempio trave di elevazione consolidata

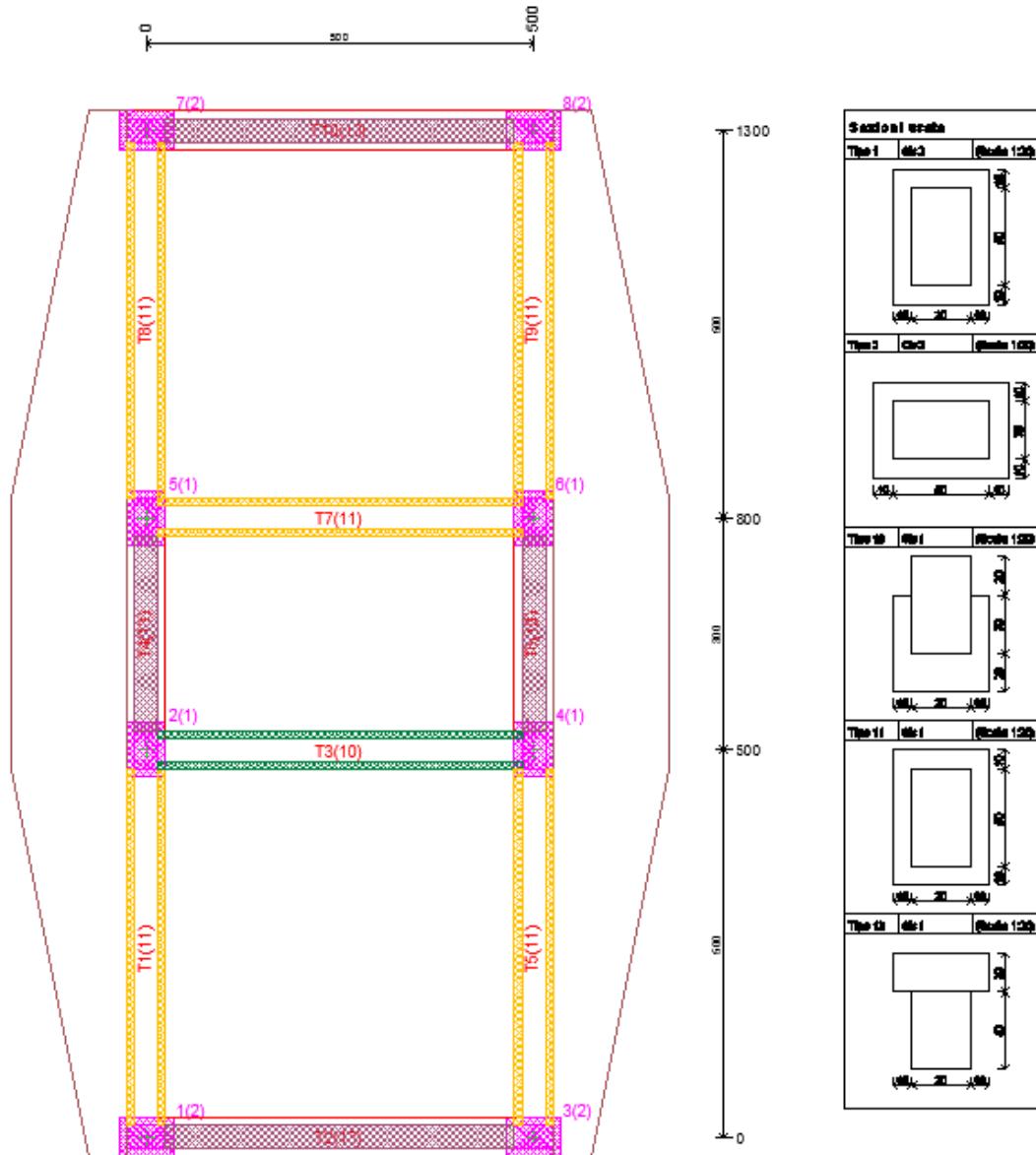


### Esempio pilastro consolidato

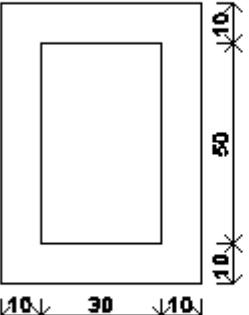
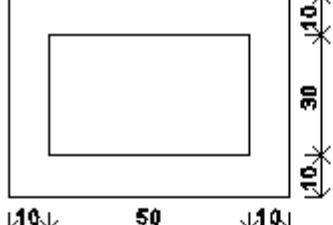
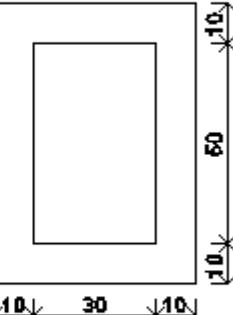
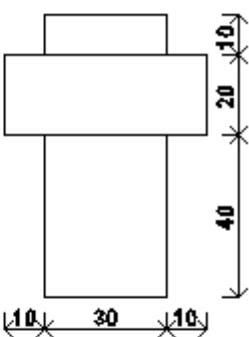
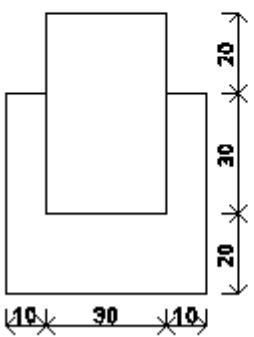
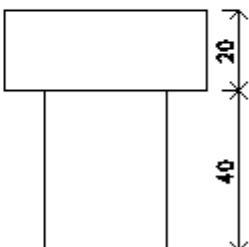


Il software genera la pianta delle carpenterie evidenziando gli elementi di elevazione, sia travi che pilastri, consolidati e le tipologie delle sezioni consolidate. Si riportano in seguito alcuni esempi di graficizzazione.

Carpenteria Piano 1 (Scala 1:50)

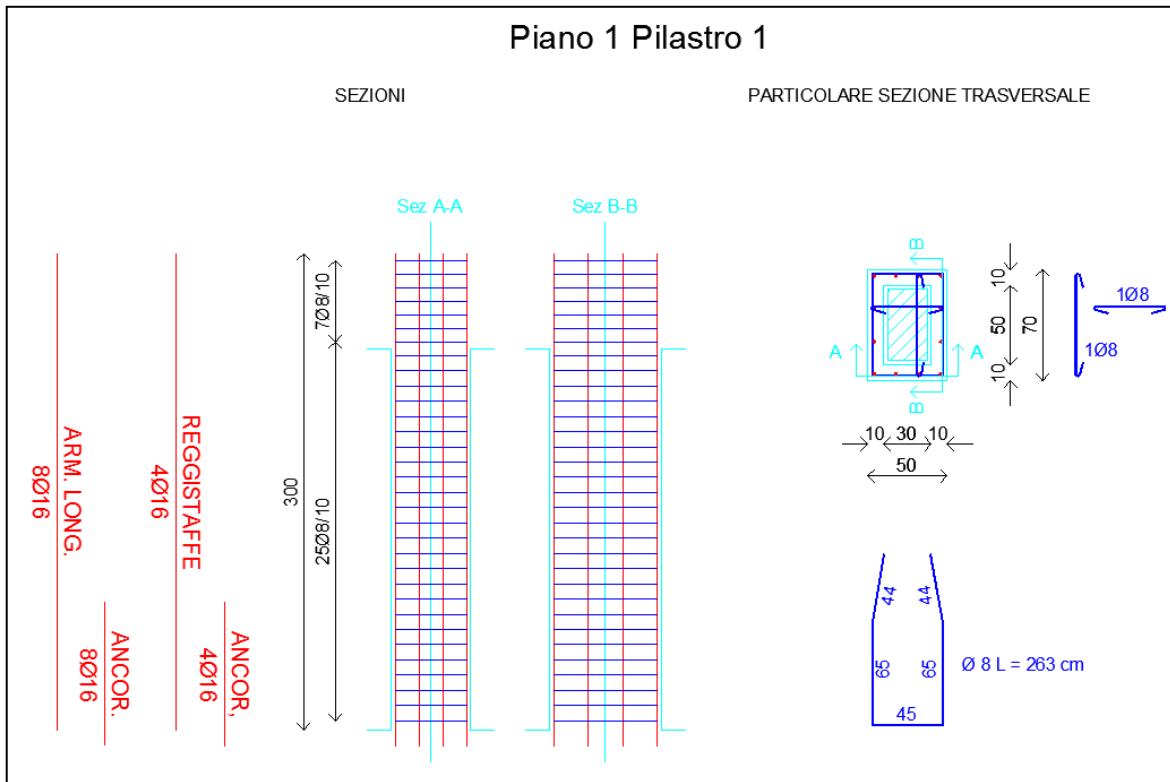


Tipologie sezioni consolidate

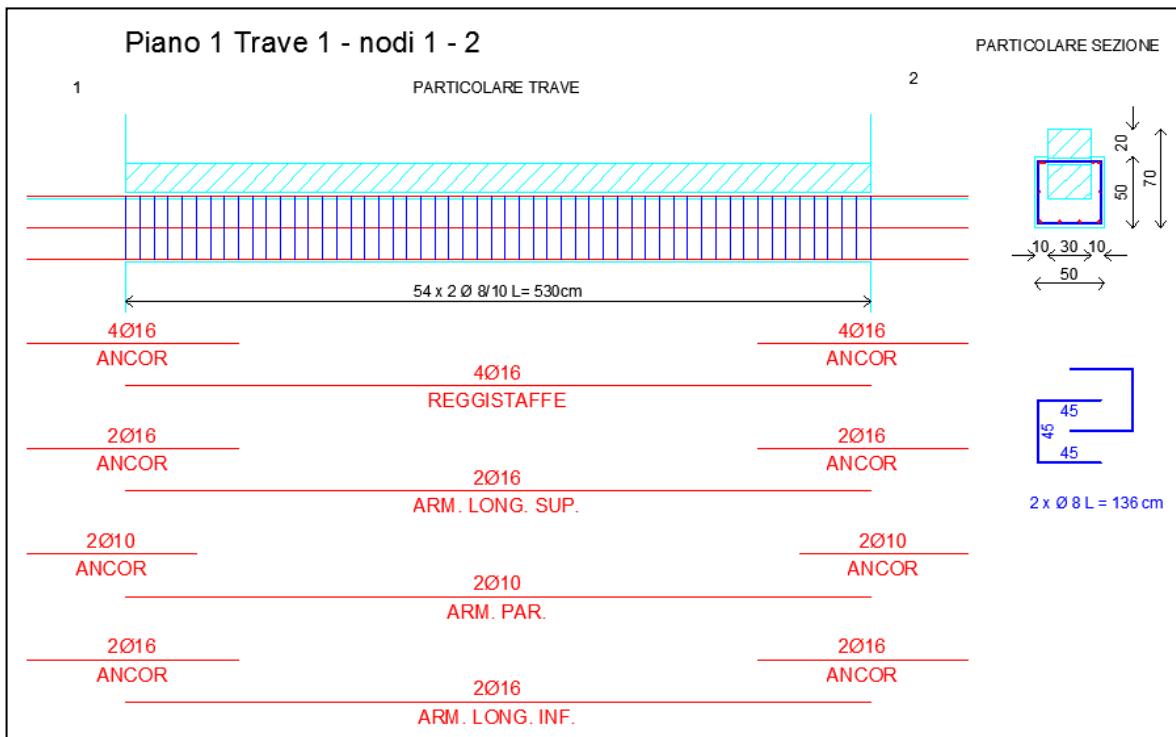
<b>Sezioni usate</b>		
Type 1	Cls2	(Scala 1:20)
		
Type 2	Cls2	(Scala 1:20)
		
Type 11	Cls1	(Scala 1:20)
		
Type 12	Cls1	(Scala 1:20)
		
Type 10	Cls1	(Scala 1:20)
		
Type 13	Cls1	(Scala 1:20)
		

I software origina inoltre in Graficizzazione gli esecutivi dei Consolidamenti in c.a. in elevazione con gli elaborati delle travi e dei pilastri consolidati.

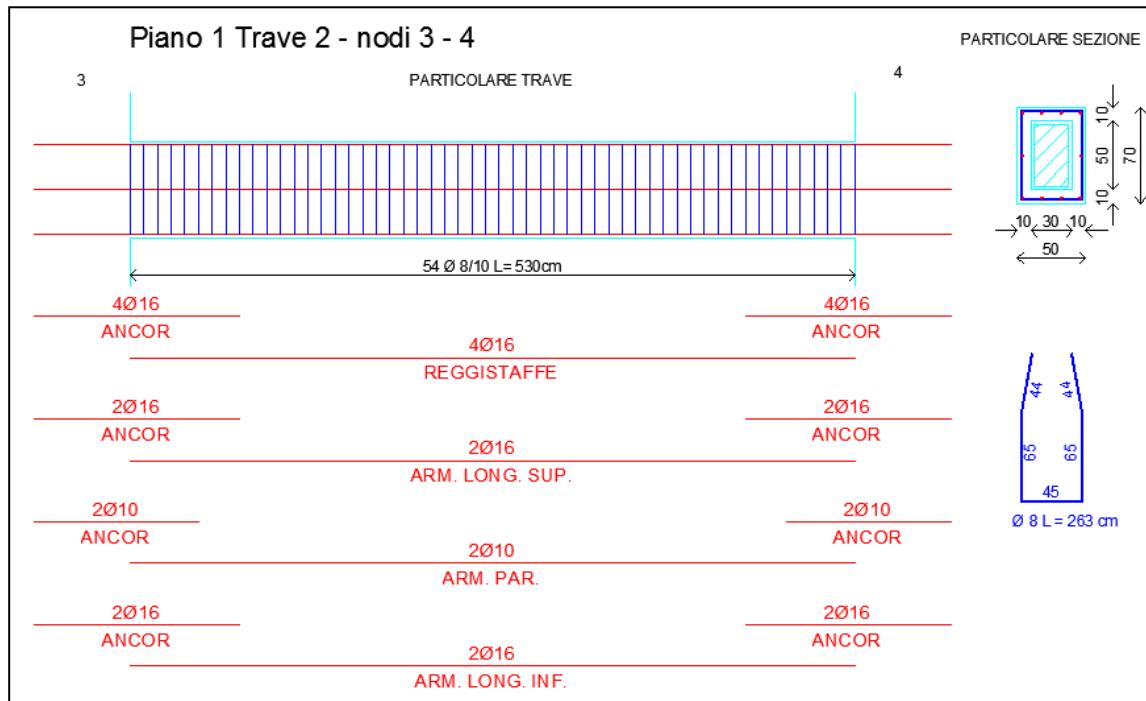
Esempio 1 – Elaborato pilastro consolidato mediante allargamento pilastro esistente



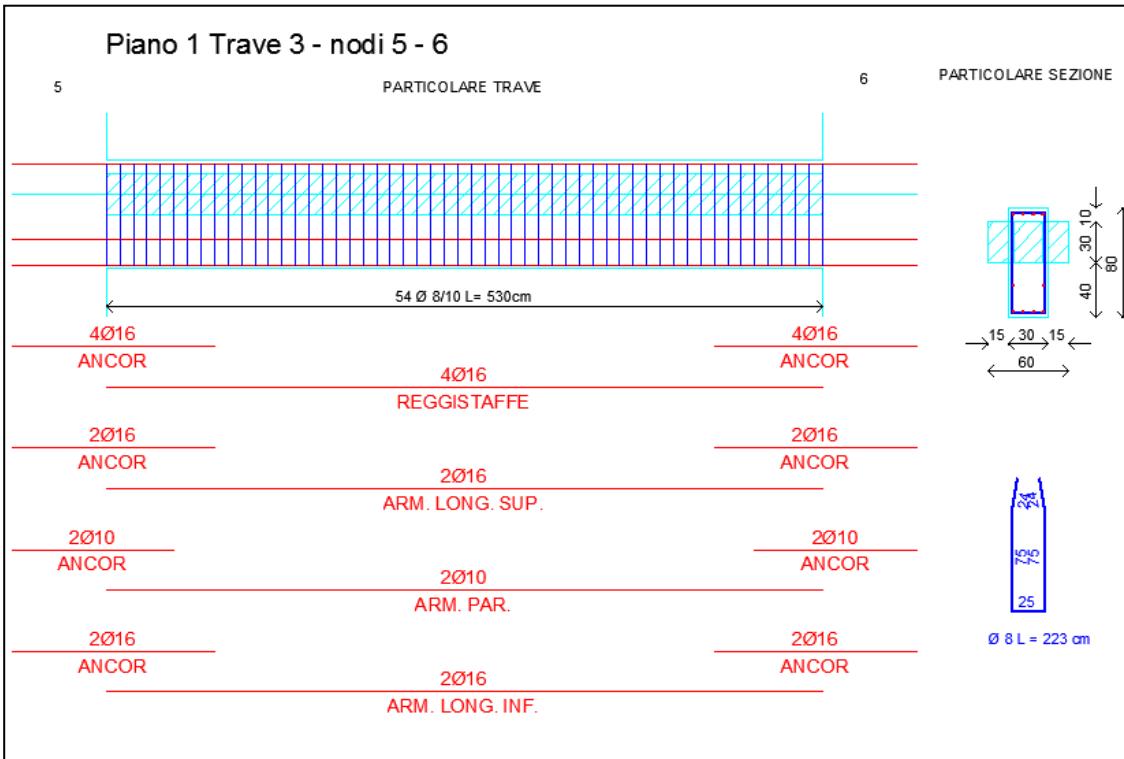
Esempio 2 – Elaborato trave consolidata mediante rinforzo inferiore trave



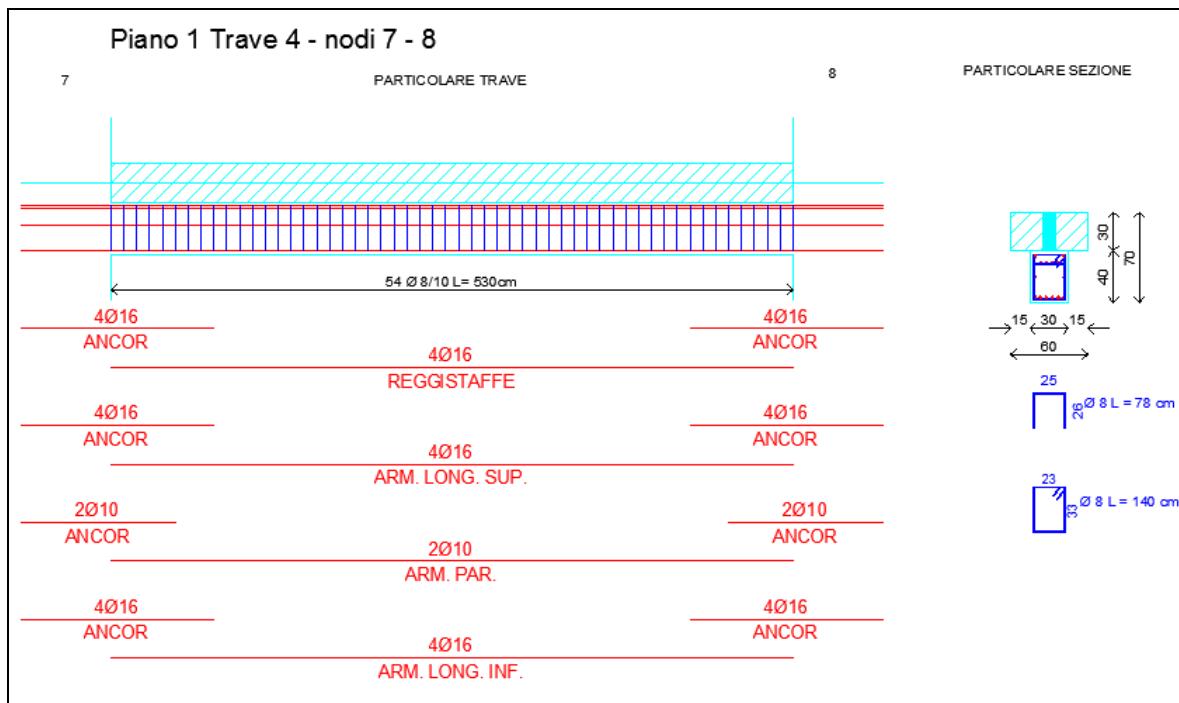
Esempio 3 – Elaborato trave consolidata mediante allargamento trave



Esempio 4 – Elaborato trave consolidata mediante rinforzo trave



Esempio 5 – Elaborato trave consolidata mediante nervatura trave a spessore



## Capitolo 2

### Il motore di calcolo

#### 2.1 – Introduzione.

Questa sezione del manuale descrive i concetti teorici e la modellazione strutturale su cui poggia il calcolo di VEM<sub>NL</sub>. La descrizione è relativa alla soluzione delle incognite strutturali e alle sollecitazioni di calcolo agenti sulle varie parti della struttura. Per tutto ciò che concerne le verifiche strutturali dei singoli elementi si rimanda il lettore all'apposito capitolo.

L'analisi numerica della struttura viene condotta attraverso l'utilizzo del metodo degli elementi finiti ipotizzando un comportamento elastico-lineare.

Il metodo degli elementi finiti consiste nel sostituire il modello continuo della struttura con un modello discreto equivalente e di approssimare la funzione di spostamento con un polinomio algebrico, definito in regioni (dette appunto elementi finiti) che sono delle funzioni interpolanti il valore di spostamento definito in punti discreti (detti nodi).

Gli elementi finiti utilizzabili ai fini della corretta modellazione della struttura verranno descritti di seguito.

Il modello di calcolo è articolato sulla base dell'ipotesi di impalcato rigido, in funzione della reale presenza di solai continui atti a irrigidire tutto l'impalcato. Tale ipotesi viene realizzata attraverso l'introduzione di adeguate relazioni cinematiche tra i gradi di libertà dei nodi costituenti l'impalcato e i gradi di libertà del nodo "master" posizionato nel centro di massa dell'impalcato stesso.

#### 2.2 – Oggetti ed elementi.

Le parti fisiche della struttura vengono rappresentati nel solutore come elementi. Tali elementi, automaticamente associati dal programma agli oggetti reali introdotti dall'input, sono i seguenti:

- **Nodi** : Sono entità geometriche determinate tramite le tre coordinate nel riferimento globale. I nodi, nello spazio tridimensionale, posseggono tre gradi di libertà traslazionali e tre rotazionali. Essi sono posizionati in modo da definire gli estremi degli elementi finiti e, di regola, in ogni discontinuità strutturale, di carico, di caratteristiche meccaniche, di campo di spostamento.
- **Aste** : Si tratta di elementi finiti monodimensionali ad asse rettilineo delimitate da 2 nodi (i nodi di estremità). Per questi elementi generalmente la funzione interpolante è quella del modello analitico per cui la mesh non influisce sensibilmente sulla convergenza. Le aste sono dotate di rigidità assiale, flessionale, e a taglio, secondo i due modelli classici della trave inflessa: Eulero-Bernoulli e Timoshenko. Alla singola asta è possibile associare una sezione costante per tutta la sua lunghezza. Le aste possono essere di tipo "Beam" e "Truss". In quest'ultime gli estremi dell'elemento vengono considerati non reagenti a nessun tipo di momento, in modo da simulare la presenza di cerniere sferiche.
- **Asta su suolo elastico** : Si tratta di elementi finiti monodimensionali ad asse rettilineo, di definizione simile alle "aste". Sono utili a modellare travi di fondazione, considerate poggianti su suolo alla Winkler, e reagenti sia rispetto alle componenti traslazionali di cinematicismo, sia rotazionali.

- **Lastra-piastra** : Si tratta di elementi finiti bidimensionali, definiti da 3 o 4 nodi, posti ai vertici rispettivamente di un triangolo o di un quadrilatero irregolare. La geometria reale dell'elemento viene ricondotta ad un triangolo rettangolo (elemento a 3 nodi) o a un quadrato definito nella trattazione isoparametrica. L'elemento lastra-piastra non ha rigidezza per la rotazione intorno all'asse perpendicolare al suo piano e viene trattato secondo la teoria di Mindlin-Reissner. Nel modello considerato si tiene conto dell'accoppiamento tra azioni flessionali e membranali.

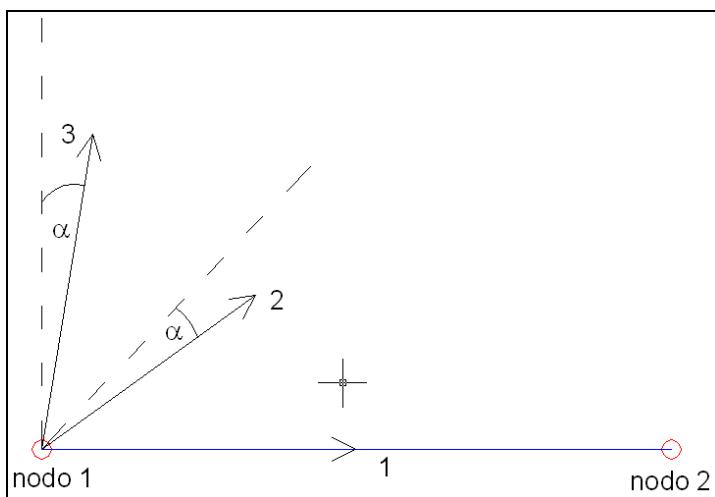
Tutti gli elementi descritti sono utilizzati dal programma per modellare la struttura. All'avvio del calcolo il programma converte gli oggetti introdotti in elementi di calcolo. La mesh relativa alla struttura viene identificata con la generazione automatica dei nodi e la creazione degli elementi finiti per simulare il comportamento strutturale.

### 2.3 – Sistema di coordinate.

I sistemi di riferimento sono usati per definire localmente le parti del modello strutturale e per riferire i carichi, gli spostamenti, le sollecitazioni, le tensioni, le reazioni. Per la risoluzione della struttura il programma utilizza due distinti sistemi di riferimento tridimensionali:

- **Globale**: unico per tutti gli elementi finiti e utile a risolvere l'intera struttura. Viene definito con l'asse Z lungo la direzione della forza di gravità ma con verso positivo opposto, e gli assi X e Y tali da formare una terna ortogonale levogira (identificabile con la "regola della mano destra") ;
- **Locale**: definito per ogni elemento e utile a riferire la rigidezza e i carichi locali.

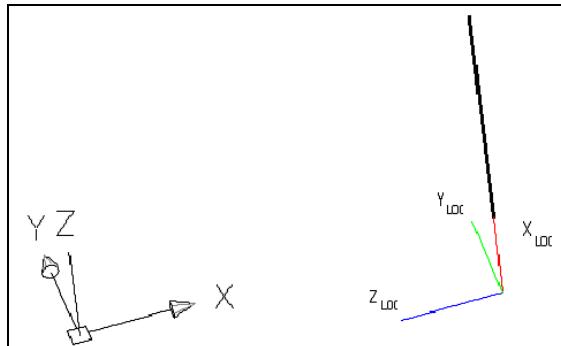
Per gli elementi BEAM il sistema di riferimento locale viene definito in base alla geometria dell'asta. L'asse 1 è il versore coincidente con la direzione dell'asta indicata dal primo al secondo nodo, secondo la seguente figura:



L'asse 2 e il 3 vengono costruiti realizzando una roto-traslazione rigida nello spazio del sistema di riferimento globale, in modo che l'asse X coincida con l'asse 1 locale. Il sistema di riferimento locale è dotato di un angolo  $\alpha$  di deviazione (positivo antiorario) relativamente alla torsione intorno all'asse 1 in modo da considerare eventuali torsioni della sezione.

La matrice di rotazione, utile a definire le trasformazioni di base, è calcolata in modo tale che il sistema di riferimento locale e globale coincidano in direzione e verso se i due punti hanno angolo nullo nel piano XY (il segmento che li congiunge ha direzione e verso dell'asse x) e la torsione è nulla. Un caso particolare si presenta quando i due nodi sono perfettamente allineati in verticale (angolo di 90 o 270 gradi dal piano XY). In tal caso è possibile scegliere tra infiniti sistemi di riferimento, uno per ogni possibile angolo nel piano XY. Per eliminare questa arbitrarietà, nella generazione automatica del modello in VEM<sub>NL</sub>, è stata prevista la possibilità di imporre due angoli di torsione diversi : uno per il caso verticale (*angTorsVert*) ed uno per gli altri casi (*angTors*). La scelta di tali angoli dipende dall'utilizzo della matrice di rotazione stessa, come sarà chiaro dagli esempi seguenti. Quando l'angolo

di torsione verticale è nullo se il sistema di riferimento è quello illustrato in figura (è stata impostata la continuità con il caso di due punti aventi angolo nullo nel piano XY angolo pressoché pari a 90° dal piano XY).

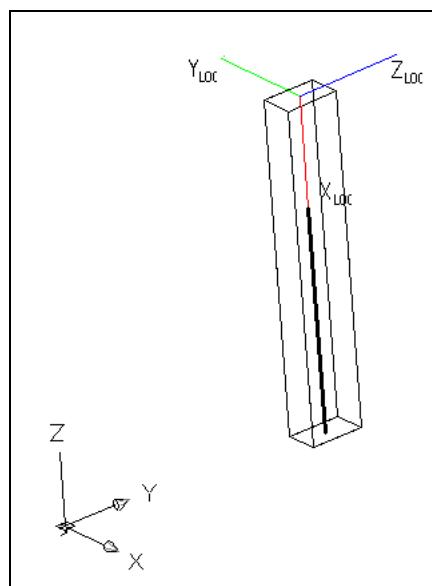


Per comprendere meglio la modellazione automatica di  $VEM_{NL}$ , riportiamo due esempi relativi al caso pilastro e trave supponendo che non siano presenti angoli di torsione propri delle aste (tipologia, filo fisso, angolo di torsione imposto all'asta). In caso di presenza di questi angoli di torsione i sistemi di riferimento descritti sotto ruotano in maniera solidale con l'asta.

#### ESEMPIO 1: MATRICE DI ROTAZIONE DEL PILASTRO DEL $VEM_{NL}$

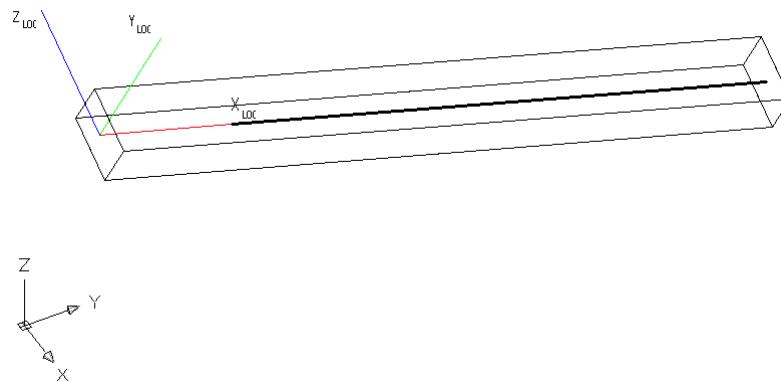
Nel  $VEM_{NL}$ , per scelta di input, il pilastro può essere pensato come una trave verticale avente angolo di  $-90^\circ$  nel piano XY. Inoltre nel caso in cui l'asta del pilastro non è esattamente verticale per mantenere il sistema di riferimento coerente con il caso verticale è necessario imporre un ulteriore angolo di torsione  $\Delta\alpha$  pari all'angolo dell'asta nel piano XY (confondendo quest'angolo con un angolo di torsione). Per cui si pone  $angTorsVert=-90$  e  $angTors=angTorsVert-\Delta\alpha$ .

Il sistema di riferimento del pilastro è, con queste assunzioni, sempre quello illustrato in figura:

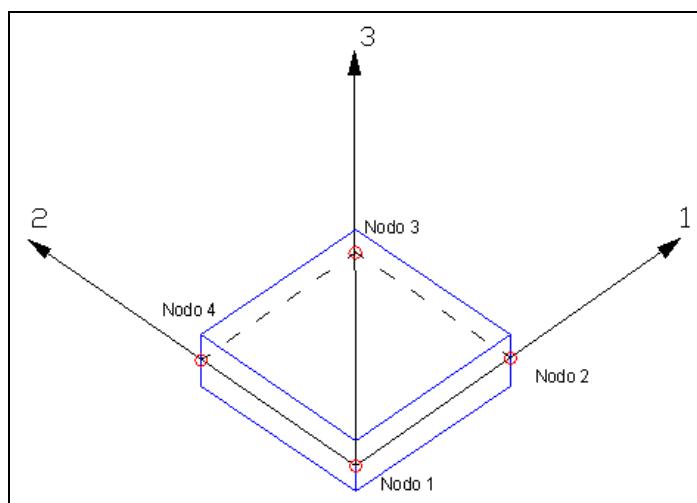


#### ESEMPIO 2: MATRICE DI ROTAZIONE DELLA TRAVE DEL $VEM_{NL}$

Per la trave non verticale non è necessaria la presenza di angoli di torsione. Per la trave verticale, se è un tratto di asta spezzata oppure un'asta derivante da una travatura reticolare, è necessaria la presenza di un angolo di torsione pari all'angolo dell'asta originale nel piano XY.



Anche per gli elementi SHELL il sistema di riferimento è legato alla geometria. In particolare, l'asse 1 ha direzione coincidente con il vettore congiungente il primo e il secondo nodo dell'elemento. Gli altri due assi sono creati in modo da formare una terna ortogonale levogira (identificabile con la "regola della mano destra");



Più precisamente, nel caso di modellazione di pareti e piastre le sollecitazioni relative ai singoli elementi finiti (automaticamente creati secondo una mesh i cui criteri vengono riportati in seguito) vengono riferiti al sistema di riferimento locale del macroelemento piastra o parete.  
Quando si utilizza la schematizzazione a telaio per gli elementi in muratura, questi seguono le stesse proprietà degli elementi monodimensionali sopra descritti.

## 2.4 – Nodi e gradi di libertà.

I nodi nell'analisi agli elementi finiti giocano un ruolo fondamentale, in quanto rappresentano i punti in cui sono definite le funzioni interpolanti degli spostamenti. È in questi punti che vengono calcolati gli spostamenti della struttura (spostamenti nodali) attraverso la risoluzione dei sistemi lineari.

I nodi vengono automaticamente creati dal programma il quale provvede ad inserirli nelle discontinuità strutturali, in modo che gli estremi degli elementi ne vengano definiti. Le tre coordinate di posizionamento dei nodi sono riferite al sistema globale.

I nodi vengono creati all'intersezione degli elementi strutturali (pilastri e travi) ed internamente ad oggetti parete. In quest'ultimo caso i nodi sono definiti dal passo della meshatura scelta.

Le deformazioni della struttura sono governate dagli spostamenti dei nodi. Le componenti di spostamento (traslazioni e rotazioni) dei nodi sono chiamati **gradi di libertà** del problema. Ogni nodo, nello spazio, ha sei gradi di libertà: tre traslazionali e tre rotazionali riferiti al sistema di riferimento globale. I vincoli applicati annullano i gradi di libertà (cioè il valore dello spostamento) i quali vengono

ignorati come incognite ed utilizzati per il calcolo delle reazioni vincolari. Tali reazioni vengono esplicate nella direzione dei gradi di libertà bloccati.

## 2.5 – Relazioni Master-Slave.

I gradi di libertà della struttura possono essere relazionati attraverso delle equazioni ai fini di modellare la struttura ad impalcato rigido. Ogni modellazione viene eseguita attraverso delle relazioni cinematiche tra gli spostamenti dei nodi chiamati "slave" e gli spostamenti di un nodo rappresentativo chiamato "master". L'ipotesi di rigidità è realistica se la struttura è costituita da orizzontamenti sufficientemente rigidi ed efficacemente ammorsati alle pareti. I nodi "slave" sono legati a quelli "master" dalle seguenti relazioni:

$$Ux_s = Ux_m + (y_m - y_s) \times Rz_m$$

$$Uy_s = Uy_m - (x_s - x_m) \times Rz_m$$

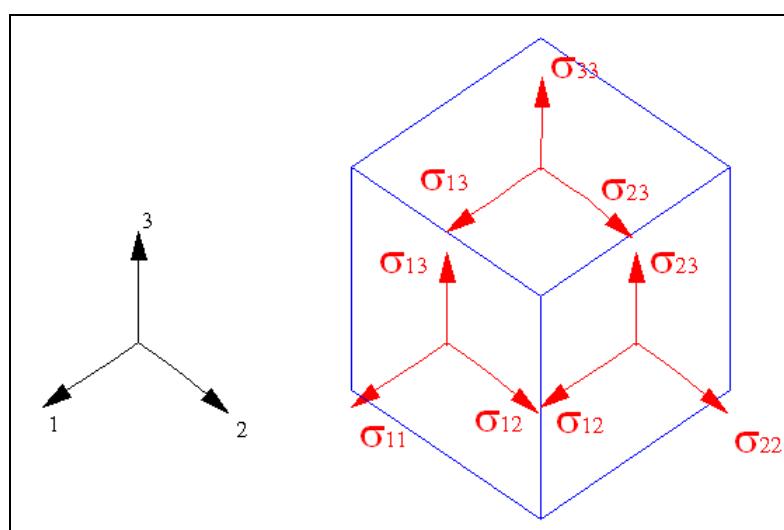
$$Rz_s = Rz_m$$

Dove i pedici "s" e "m" indicano rispettivamente il nodo "slave" e "master". Il nodo master è rappresentativo dell'impalcato, per cui in esso è contenuta tutta la massa dell'impalcato e le componenti di rigidezza relative alle trasformazioni matriciali. Per tali motivi esso viene posizionato nel centro di massa dei nodi appartenenti allo stesso master.

## 2.6 – Proprietà dei materiali.

Il comportamento dei materiali utilizzati nel calcolo è di tipo omogeneo isotropo con legame elastico-lineare. Le proprietà elastiche e meccaniche dei materiali sono definite rispetto al sistema di riferimento locale. Il sistema di riferimento locale è importante nel caso di materiale anisotropi o ortotropi, è indifferente nel caso di materiali isotropi, in quanto le caratteristiche meccaniche e elastiche sono indipendenti da ogni sistema di riferimento utilizzate.

Le caratteristiche elastiche sono relazionate alle tensioni e alle deformazioni attraverso il materiale. Le tensioni sono definite come forze per unità di superficie agenti sulle facce di un solido che chiameremo "cubetto elementare". Utilizzando il sistema di riferimento locale possiamo riassumere il tutto nella seguente figura:



I termini  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{33}$  sono le componenti di tensione che provocano l'allungamento del cubetto nella dimensione considerata. I termini  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$ ,  $\sigma_{23}$  sono le componenti di tensione che provocano distorsioni angolari tra le direzioni considerate.

Alcune delle componenti di tensione non sono presenti in tutti gli elementi. Per esempio nelle aste sono assunte nulle le  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{33}$ ,  $\sigma_{23}$ , mentre nelle piastre è nulla la  $\sigma_{33}$ . Le componenti di deformazione del cubetto si calcolano come:

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x_1}$$

$$\varepsilon_{22} = \frac{\partial u_2}{\partial x_2}$$

$$\varepsilon_{33} = \frac{\partial u_3}{\partial x_3}$$

$$\gamma_{12} = \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1}$$

$$\gamma_{13} = \frac{\partial u_1}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_1}$$

$$\gamma_{23} = \frac{\partial u_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2}$$

dove  $u_1$ ,  $u_2$  ed  $u_3$  sono gli spostamenti riferiti al sistema di riferimento locale. Le deformazioni possono essere anche causate da dilatazioni termiche applicate sugli elementi strutturali.

Come già accennato il comportamento dei materiali in VEM<sub>NL</sub> è di tipo isotropico. Ciò vuol dire che l'elementino solido ha il medesimo comportamento indipendentemente dalla direzione considerata.

La correlazione tra deformazioni e tensioni è riportata nella seguente relazione:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{v}{E} & -\frac{v}{E} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{E} & \frac{1}{E} & -\frac{v}{E} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{E} & \frac{1}{E} & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ \text{sym} & & & \frac{1}{G} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1}{G} & 0 \\ & & & & & \frac{1}{G} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha \\ \alpha \\ \alpha \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Delta T$$

dove  $E$  è il modulo elastico longitudinale,  $v$  è il coefficiente di Poisson,  $G$  è il modulo elastico a taglio e  $\alpha$  è il coefficiente di espansione termica. Il modulo elastico a taglio è calcolabile dalla seguente relazione:

$$G = \frac{E}{2(1+v)}$$

Il modulo elastico longitudinale è sempre positivo e il coefficiente di Poisson deve soddisfare le seguenti limitazioni:

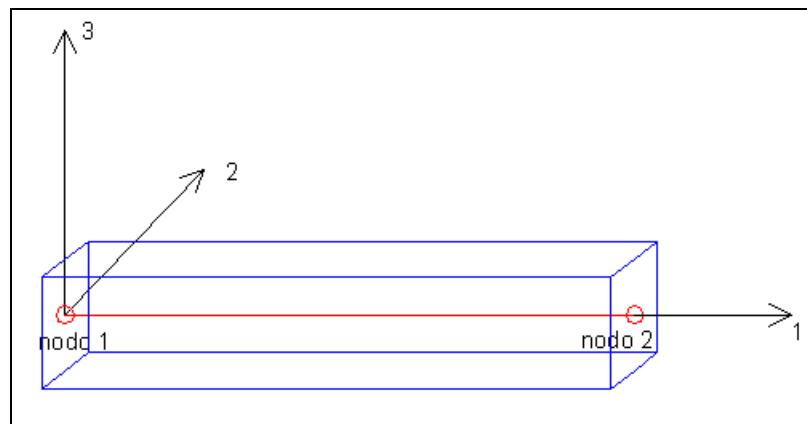
$$0 < v < 0.5$$

## 2.7 – Elementi BEAM e TRUSS.

In questa sezione approfondiremo la trattazione degli elementi finiti BEAM e TRUSS, utili alla modellazione di travi, pilastri e se si considera la schematizzazione a telai anche per i setti murari.

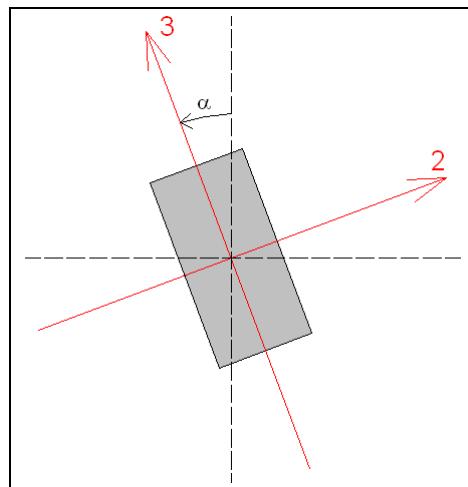
La differenza tra BEAM e TRUSS sta nel grado di connessione alle estremità. Infatti l'elemento TRUSS (noto come biella) presenta sconnessioni ai momenti flettenti e torcente di estremità.

Approfondiamo solo l'elemento BEAM. Questo elemento finito possiede 12 gradi di libertà in quanto i due nodi di estremità hanno 6 gradi di libertà ciascuno: 3 alla traslazione e 3 alla rotazione:



Il sistema di riferimento locale viene costruito partendo dall'asse 1 fatto coincidere con la linea d'asse della trave e orientato positivamente dal nodo 1 al 2. Gli altri due assi sono costruiti attraverso una roto-traslazione rigida del sistema di riferimento di riferimento globale in modo da sovrapporre l'asse x all'asse 1, secondo le indicazioni riportate precedentemente.

I momenti di inerzia della sezione sono riferiti agli assi 2 e 3. Tutte le proprietà delle sezioni, i carichi e le caratteristiche della sollecitazione sono riferite agli assi locali della trave. Eventuali rotazioni della sezione vengono considerate ruotando il sistema di riferimento locale coerentemente all'angolo  $\alpha$ :



I dati relativi alla sezione sono:

- **Area della sezione trasversale;**
- **Momenti principali di inerzia;**
- **Momento d'inerzia torsionale;**

I tipi di sezione utilizzabili in VEM<sub>NL</sub> verranno approfondite nella sezione riguardante le verifiche strutturali.

Come già spiegato il materiale costituente la trave è assunto essere di tipo isotropo. I parametri atti a definirlo sono il modulo elastico longitudinale E ed il coefficiente di Poisson. Le altre caratteristiche del materiale sono costituite dal peso proprio per unità di lunghezza della trave (automaticamente calcolato dal programma), dalla massa per unità di lunghezza (automaticamente calcolato dal programma) e dal coefficiente termico di dilatazione lineare.

Sulla linea d'asse della trave possono agire contemporaneamente più carichi:

- **Carichi distribuiti uniformi** espressi nel sistema di riferimento locale dell'asta;
- **Carichi distribuiti uniformi** espressi nel sistema di riferimento globale;
- **Carichi trapezoidali** espressi nel sistema di riferimento locale dell'asta;
- **Variazioni termiche uniformi**;

I carichi ripartiti (uniformi o trapezoidali) interessano tutta la lunghezza dell'asta ed hanno componenti lungo gli assi locali 1,2,3 del sistema di riferimento locale. È tuttavia possibile introdurre lo stesso tipo di carico riferito al riferimento globale X,Y,Z.

Tutti i tipi di carico ripartito possono essere forze o momenti, entrambi riferiti all'unità di lunghezza. I carichi termici introducibili sono del tipo lineare costante e provocano allungamenti della trave lungo il proprio asse.

La valutazione dei momenti di incastro perfetto indotti dagli schemi di carico tiene conto della presenza all'estremità della trave dei tronchi rigidi.

I dati di output relativi agli elementi FOND sono:

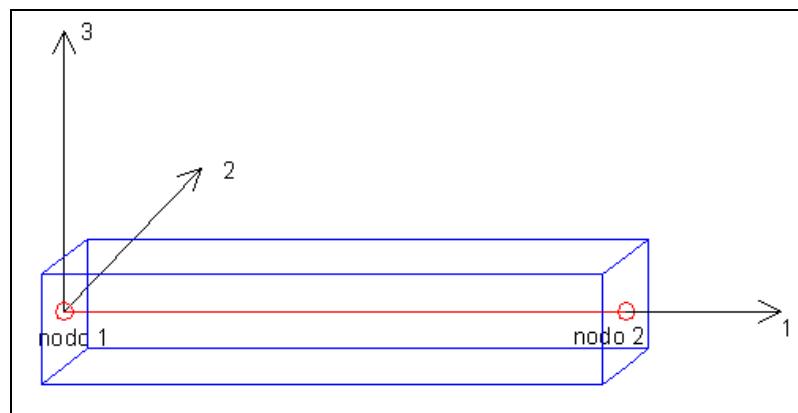
- **Forze interne** ( $N_1, T_2, T_3$ );
- **Momenti interni** ( $M_T, M_{12}, M_{13}$ ).

## 2.8 – Elemento FOND.

Questo tipo di elemento finito viene utilizzato per modellare travi rovesce di fondazione. Questo elemento si discosta dal BEAM in quanto è vincolato attraverso delle molle traslazionali e rotazionali atte a simulare l'iterazione terreno-fondazione.

Il programma aggiunge alla matrice di rigidezza elastica dell'asta quella del contributo delle molle ripartite sulle facce della fondazione. I valori di tali contributi sono calcolate computando i coefficienti funzione delle aree di contatto terreno-fondazione. Tutti i calcoli sono effettuati sulla base di cinematicismi unitari.

Questo elemento finito possiede 12 gradi di libertà in quanto i due nodi di estremità hanno 6 gradi di libertà ciascuno: 3 alla traslazione e 3 alla rotazione:



Il sistema di riferimento locale viene costruito partendo dall'asse 1 fatto coincidere con la linea d'asse della trave e orientato positivamente dal nodo 1 al 2. Gli altri due assi sono costruiti attraverso una roto-traslazione rigida del sistema di riferimento di riferimento globale in modo da sovrapporre l'asse x all'asse 1.

I momenti di inerzia della sezione sono riferiti agli assi 2 e 3.

Tutte le proprietà delle sezioni, i carichi e le caratteristiche della sollecitazione sono riferite agli assi locali della trave. Eventuali rotazioni della sezione vengono considerate riferendo le inerzie agli assi locali di riferimento.

I dati relativi alla sezione sono:

- **Area della sezione trasversale;**
- **Momenti principali di inerzia;**
- **Momento d'inerzia torsionale;**
- **Modulo di Winkler verticale;**
- **Modulo di Winkler orizzontale;**

I tipi di sezione utilizzabili in VEM<sub>NL</sub> verranno approfondite nella sezione riguardante le verifiche strutturali.

Come già spiegato il materiale costituente la trave è assunto essere di tipo isotropo. I parametri atti a definirlo sono il modulo elastico longitudinale E e il coefficiente di Poisson. Le altre caratteristiche del materiale sono costituite dal peso proprio per unità di lunghezza della trave (automaticamente calcolato dal programma), dalla massa per unità di lunghezza (automaticamente calcolato dal programma) e dal coefficiente termico di dilatazione lineare.

Sulla linea d'asse della trave possono agire contemporaneamente più carichi:

- **Carichi distribuiti uniformi** espressi nel sistema di riferimento locale dell'asta;
- **Carichi distribuiti uniformi** espressi nel sistema di riferimento globale;
- **Carichi trapezoidali** espressi nel sistema di riferimento locale dell'asta;
- **Variazioni termiche uniformi;**

I carichi ripartiti (uniformi o trapezoidali) interessano tutta la lunghezza dell'asta ed hanno componenti lungo gli assi locali 1,2,3 del sistema di riferimento locale. È tuttavia possibile introdurre lo stesso tipo di carico riferito al riferimento globale X,Y,Z.

Tutti i tipi di carico ripartito possono essere forze o momenti, entrambi riferiti all'unità di lunghezza. I carichi termici introducibili sono del tipo lineare costante e provocano allungamenti della trave lungo il proprio asse.

La valutazione dei momenti di incastro perfetto indotti dagli schemi di carico tiene conto della presenza all'estremità della trave dei tronchi rigidi.

I dati di output relativi agli elementi FOND sono:

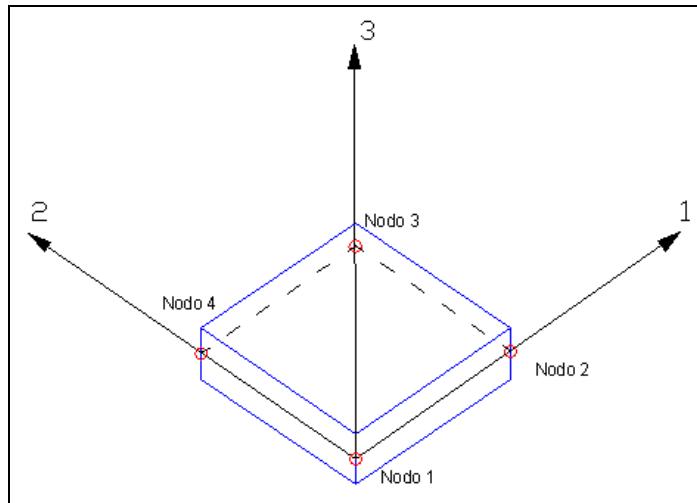
- **Forze interne** ( $N_1, T_2, T_3$ );
- **Momenti interni** ( $M_T, M_{12}, M_{13}$ ).

## 2.9 – Elemento SHELL.

In questa sezione approfondiremo la trattazione dell'elemento finito SHELL, utile alla modellazione di piastre orizzontali, platee di fondazione, pareti verticali e volte di varia forma. Questo tipo di elemento finito segue sempre la giacitura di un piano.

L'elemento lastra-piastra, nel seguito denominato guscio, possiede nel sistema di riferimento locale come in quello globale 6 gradi di libertà per nodo. L'elemento è computato sovrapponendo il comportamento lastra o membrana, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (una coppia di spostamenti planari e un grado di libertà alla rotazione intorno ad un asse perpendicolare al piano medio), e il comportamento piastra, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (uno spostamento perpendicolare al piano medio e una coppia di rotazioni ortogonali aventi assi sostegno paralleli al piano medio).

La geometria dell'elemento finito SHELL può essere definita attraverso 3 o 4 nodi. La trattazione nei due casi è completamente diversa. L'elemento a 3 nodi viene usato per creare esclusivamente mesh di transizione nel caso di figure irregolari. Il sistema di riferimento locale viene posizionato attraverso una roto-traslazione rigida facendo coincidere il vettore congiungente il primo e il secondo nodo dell'elemento con l'asse X del sistema di riferimento e denominandolo come asse 1:



Tutte le proprietà della sezione, i carichi e le caratteristiche della sollecitazione sono riferite agli assi locali dell'elemento.

Il parametro geometrico che definisce l'elemento, oltre le coordinate dei nodi, è lo spessore della sezione trasversale.

Il materiale costituente il guscio è assunto essere di tipo isotropo. I parametri atti a definirlo sono il modulo elastico longitudinale E e il coefficiente di Poisson. Le altre caratteristiche del materiale sono costituite dal peso proprio per unità di superficie (automaticamente calcolato dal programma), dalla massa per unità di superficie (automaticamente calcolato dal programma) e dal coefficiente termico di dilatazione lineare.

Sull'elemento SHELL è possibile introdurre vari tipi di carico:

- **Carichi ripartiti** per unità di superficie agenti ortogonalmente al piano dell'elemento;
- **Carichi** (rispetto al sistema di riferimento locale e globale) ripartiti trapezoidali per unità di lunghezza applicati sui lati dell'elemento;
- **Variazioni termiche** costanti sul volume dell'elemento.

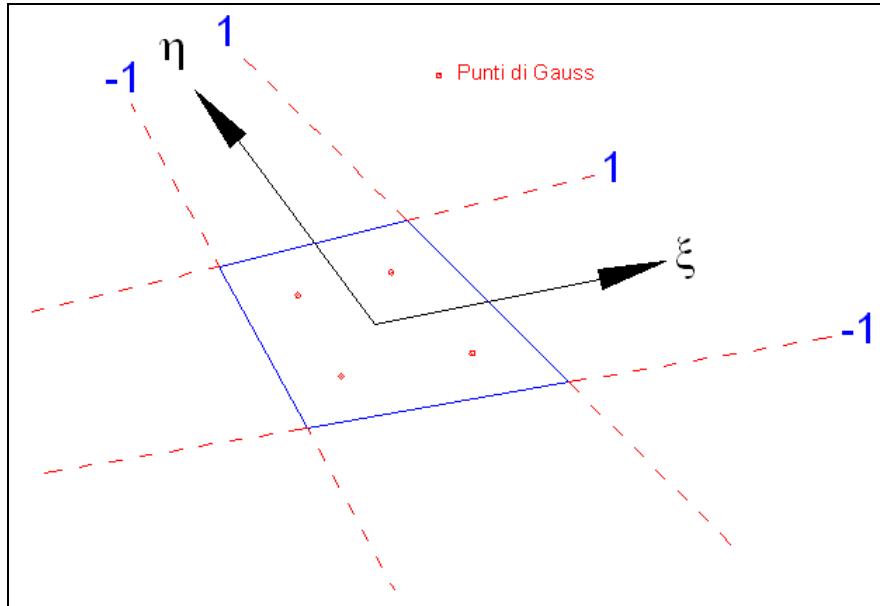
La formulazione dell'elemento è basata sulla teoria di Mindlin-Reissner in cui viene considerato anche il contributo della deformazione dovuta al taglio risolvendolo secondo la formulazione isoparametrica. Tutte le caratteristiche sono calcolate attraverso l'integrazione numerica ai punti di Gauss secondo la regola 2x2 ed estrapolate ai nodi.

Una volta ricondotte alle coordinate isoparametriche, le funzioni di forma nei due casi sono le seguenti:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{Elementi Quadrangolari} \\
 \begin{aligned}
 N_1 &= \frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta) \\
 N_2 &= \frac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta) \\
 N_3 &= \frac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta) \\
 N_4 &= \frac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta)
 \end{aligned}
 \end{array} \right.$$
  

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{Elementi Triangulari} \\
 \begin{aligned}
 N_1 &= (1-\xi-\eta) \\
 N_2 &= \xi \\
 N_3 &= \eta
 \end{aligned}
 \end{array} \right.$$

Il significato delle coordinate parametriche è spiegato, per gli elementi quadrangolari, nella seguente figura:



Ogni oggetto piastra o parete introdotto dall'input viene meshato automaticamente dal programma secondo algoritmi di calcolo geometrici. La definizione della mesh è fondamentale per la corretta risoluzione della struttura.

Lo stesso elemento SHELL può essere utilizzato per modellare platee di fondazione attraverso l'introduzione di molle distribuite sulla superficie dell'elemento che vengono automaticamente concentrate (rappresentative della propria area di influenza e calcolate attraverso l'integrazione di Gauss) e applicate ai nodi di estremità.

La massa dell'elemento viene calcolata e rappresentata dai valori nodali (lumped).

I dati di output relativi agli elementi SHELL sono:

- **Forze interne** per unità di lunghezza ( $F_{11}, F_{22}, F_{12}$ );
- **Momenti interni** per unità di lunghezza ( $M_{11}, M_{22}, M_{12}$ );
- **Risultanti di taglio** interno per unità di lunghezza ( $V_{13}, V_{23}$ ).

Le forze interne sono correlate alle tensioni dalle seguenti relazioni:

$$\sigma_{11} = \frac{F_{11}}{s} - \frac{6 \cdot M_{11}}{s^2}$$

$$\sigma_{22} = \frac{F_{22}}{s} - \frac{6 \cdot M_{22}}{s^2}$$

$$\sigma_{12} = \frac{F_{12}}{s} - \frac{6 \cdot M_{12}}{s^2}$$

$$\sigma_{13} = \frac{V_{13}}{s}$$

$$\sigma_{23} = \frac{V_{23}}{s}$$

$$\sigma_{33} = 0$$

dove  $s$  è lo spessore trasversale dell'elemento.

## 2.10 – Condizioni di carico

Il programma provvede a creare automaticamente le condizioni di carico da applicare alla struttura. Le condizioni create sono:

- **Carichi permanenti;**
- **Carichi accidentali;**
- **Carichi termici;**
- **Carichi sismici.**

Nei carichi permanenti vengono computati il peso proprio della struttura, le strutture secondarie (solai, scale, balconi) con tutti i relativi sovraccarichi, muri di tamponamento. Nei carichi accidentali vengono computati tutti i carichi di esercizio relativamente alle reali superfici di influenza.

I carichi vengono computati in funzione dei pannelli di carico associati agli elementi strutturali secondari (solai, scale, muri di tamponamento e balconi)

I carichi termici sono generati in automatico dipendentemente al valore di salto termico differenziato per aste di elevazione e di fondazione.

Anche i carichi sismici sono creati automaticamente nel caso di analisi statica. Il calcolo delle forze sismiche (solo nell'analisi statica equivalente al sisma) avviene come descritto dalla normativa.

La ripartizione delle forze di piano avviene in funzione della rigidezza degli elementi verticali calcolata come:

$$K_{Xi} = \frac{1}{\left( \frac{\chi \cdot I}{G \cdot A} \right) + \left( \frac{I^3}{12 \cdot E \cdot I_Y} \right)}$$

$$K_{Yi} = \frac{1}{\left( \frac{\chi \cdot I}{G \cdot A} \right) + \left( \frac{I^3}{12 \cdot E \cdot I_X} \right)}$$

Le forze da applicare ad ogni singolo elemento resistente al sisma sono le seguenti:

$$F_{Xi} = F_{pX} \left[ \frac{K_{Xi}}{\sum K_{Xi}} + \frac{K_{Xi}(x_i - X_R) \cdot e_Y}{J_r} \right]$$

$$F_{Yi} = F_{pY} \left[ \frac{K_{Yi}}{\sum K_{Yi}} + \frac{K_{Yi}(y_i - Y_R) \cdot e_X}{J_r} \right]$$

dove

$$J_r = \sum K_{Xi} (y_i - Y_R)^2 + \sum K_{Yi} (x_i - X_R)^2$$

Il carico sismico verticale viene generato localmente nei seguenti casi:

- **elementi orizzontali con luce superiore a 20 m;**
- **elementi a mensola;**
- **strutture spingenti.**

Il motore di calcolo di VEM<sub>NL</sub> provvede anche alla generazione automatica delle coppie di piano torcenti relative all'eccentricità accidentale dovuta ad imperfezioni della struttura. Le coppie di piano

create relativamente alle due direzioni X e Y vengono ripartite agli elementi verticali con l'equivalente metodo di ripartizione spiegato precedentemente.

## 2.11 – Tipi di analisi

VEM<sub>NL</sub> consente di effettuare il calcolo della struttura secondo le seguenti analisi:

- **Statica lineare con discretizzazione a telai equivalenti;**
- **Statica lineare con discretizzazione a mesh;**
- **Dinamica lineare con discretizzazione a telai equivalenti;**
- **Dinamica lineare con discretizzazione a mesh;**
- **Statica non lineare con discretizzazione a telai equivalenti (metodo pushover);**

Tutti i metodi di calcolo si fondano su algoritmi di calcolo dell'analisi matriciale create appositamente per l'ottimizzazione su elaboratore elettronico.

Le matrici di massa e rigidezza sono memorizzate nella forma di **matrice sparsa**, un formato compatto che consente di memorizzare solo le posizioni diverse da zero. Nel caso specifico delle problematiche connesse al calcolo strutturale consente un risparmio di memoria fino al 95% e l'utilizzo di algoritmi per la risoluzione dei sistemi lineari ed il calcolo degli autovalori notevolmente ottimizzati.

### 2.11.1 – Analisi Statica Lineare

Dopo il calcolo e l'assemblaggio della matrice di rigidezza, effettuata solo sui nodi liberi (e quindi relativamente alle incognite di spostamento), si passa alla risoluzione del sistema di equazioni lineari di equilibrio della struttura:

$$[F] = [K] \times [u]$$

dove

- $[F]$  è il vettore dei carichi applicati ai nodi;
- $[K]$  è la matrice di rigidezza bandata relativa ai cinematicismi liberi;
- $[u]$  è il vettore degli spostamenti nodali.

La risoluzione del sistema avviene attraverso la triangolarizzazione della matrice di rigidezza bandata e con la successiva sostituzione all'indietro. Il controllo di labilità viene fatto controllando che sulla diagonale della matrice decomposta non vi siano valori nulli. È tuttavia possibile che per motivi esclusivamente numerici alcune forme di labilità non vengano riscontrate dall'algoritmo.

Una volta calcolati gli spostamenti nodali incogniti, vengono calcolati le deformazioni interne ad ogni singolo elemento utilizzando le funzioni di forma utili alla definizione degli elementi finiti. Dallo stato deformativo si passa, infine, al calcolo delle caratteristiche di sollecitazione, definite rispetto al sistema di riferimento locale, di ogni elemento presente nel modello. La differenza tra l'analisi statica lineare con discretizzazione a "mesh" ed a "telai equivalenti" sta nella discretizzazione della struttura, nel primo caso i setti murari si considerano bidimensionali, secondo la tecnica illustrata nel paragrafo "**Elemento SHELL**", nel secondo caso si considerano monodimensionali, secondo la tecnica illustrata nel paragrafo "**Elementi BEAM e TRUSS**".

### 2.11.2 – Analisi Dinamica Lineare.

L'analisi dinamica di VEM<sub>NL</sub> consente di determinare le oscillazioni libere della struttura discretizzata. Questi modi di vibrare sono legati agli autovalori e autovettori del sistema dinamico generalizzato, che può essere riassunto in:

$$[K] \times \{a\} = \omega^2 [M] \times \{a\}$$

dove

- $[K]$  è la matrice di rigidezza della struttura;
- $[M]$  è la matrice delle masse strutturali;
- $\{a\}$  sono gli autovettori del problema generalizzato (forme modali);
- $\omega^2$  sono gli autovalori del sistema generalizzato;

Per la soluzione del problema generalizzato agli autovalori è stata utilizzata una variante del metodo di Arnoldi, detta Implicit Restarted Arnoldi Method (IRAM), un algoritmo iterativo che consente di calcolare un numero relativamente piccolo di autovalori per ogni passo ottimizzando la memoria occupata ed il tempo di calcolo.

Il numero di autovalori per ogni passo può essere scelto dall'input. L'algoritmo itera per calcolare un numero di autovalori tale da soddisfare il requisito dell'85% delle masse eccitate per ciascuna direzione del sisma (vedi punto 7.3.3.1 del D.M. 17/01/2018).

È prevista la possibilità di effettuare una sola iterazione. Quest'ultima opzione unita alla possibilità di scegliere il numero di autovalori da calcolare ad ogni passo consente, se necessario, di effettuare un'analisi di massima della struttura, calcolando gli autovalori che di fatto influenzano il comportamento della struttura senza essere vincolati all'85% di legge.

Successivamente viene calcolata la frequenza ( $f$ ) dei modi di vibrare come:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

Il periodo ( $T$ ) è calcolato come:

$$T = \frac{1}{f}$$

Utilizzando il vettore di trascinamento  $\underline{d}$  (o di direzione di entrata del sisma) calcoliamo i "fattori di partecipazione modali"  $\Gamma_i$ :

$$\Gamma_i = \underline{\phi}_i^T \times [M] \times \underline{d}$$

dove

$\underline{\phi}_i$  è l'autovettore normalizzato relativo al modo  $i$ -esimo.

Per ogni direzione del sisma vengono scelti i modi efficaci al raggiungimento del valore limite imposto dalla normativa (85 %).

Il parametro di riferimento è il "fattore di partecipazione delle masse", la cui formulazione è:

$$\Lambda_{xi} = \frac{\Gamma_i^2}{M_{tot}}$$

I cinematismi  $\underline{u}$  vengono calcolati come:

$$\underline{u} = \frac{\Gamma_i \cdot S_d(T_i)}{\omega_i^2}$$

dove

$S_d(T_i)$  è ordinata dello spettro di risposta orizzontale o verticale (vedi punto 3.2.5 norma);  
 $\omega_i^2$  è l'autovalore del modo i-esimo.

Gli effetti relativi ai modi di vibrare, vengono combinati utilizzando la combinazione quadratica completa (CQC):

$$E = \sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j}$$

dove

$\rho_{ij} = \frac{[8 \cdot \xi^2 \cdot (1 + \beta_{ij}) \cdot \beta_{ij}^{3/2}]}{[(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij} \cdot (1 + \beta_{ij}^2)^2 + 8 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij}^2]}$  è il coefficiente di correlazione tra il modo i-esimo e il modo j-esimo;

$\xi$  è il coefficiente di smorzamento viscoso;

$\rho_{ij}$  è il rapporto tra le frequenze di ciascuna coppia di modi  $\left( \frac{f_i}{f_j} \right)$

$E_i$  e  $E_j$  sono gli effetti considerati in valore assoluto.

Come per l'analisi statica lineare, la differenza tra l'analisi statica lineare con dicretizzazione a "mesh" ed a "telai equivalenti" sta nella discretizzazione degli elementi struttura, nel primo caso i setti murari si considerano bidimensionali, secondo la tecnica illustrata nel paragrafo "**Elemento SHELL**", nel secondo caso si considerano monodimensionali, secondo la tecnica illustrata nel paragrafo "**Elementi BEAM e TRUSS**".

### 2.11.3 – Analisi Statica non Lineare (Analisi Pushover)

L'analisi statica non lineare di VEM<sub>NL</sub> consente di determinare l'entità delle forze orizzontali (sismiche) che la struttura riesce a sopportare prima che si raggiunge il collasso. Sulla struttura vengono applicati in contemporanea i carichi verticali (peso proprio, carichi permanenti, carichi accidentali, ecc) che si mantengono costanti, ed i carichi orizzontali che vengono incrementati fino al raggiungimento del suddetto collasso. Tale collasso si raggiunge sotto particolari condizioni limite, ossia quando si hanno meccanismi di piano o quando un elemento raggiunge lo spostamento ultimo. Il risultato dell'analisi pushover viene riportata in una curva **Forze-Spostamenti** detta curva di capacità della struttura, dove in ordinata viene riportata la forza orizzontale totale applicata sulla struttura (tagliante alla base), mentre in ascissa viene riportato lo spostamento del punto di controllo (generalmente si assume il baricentro delle masse dell'ultimo impalcato).

Secondo le NTC 2008 il calcolo della curva di capacità si deve effettuare per otto combinazioni di carico diverse (sedici se si considerano le eccentricità accidentali):

- 1) **Sisma X positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso positivo;
- 2) **Sisma X negativo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso negativo;

- 3) **Sisma X positivo e distribuzione delle forze orizzontali secondo l'analisi statica lineare:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle quote degli impalcati con il verso positivo. Si utilizza la stessa distribuzione di forze dell'analisi statica lineare, cambia solo l'intensità in modo proporzionale nei vari incrementi;
- 4) **Sisma X negativo e distribuzione delle forze orizzontali secondo l'analisi statica lineare:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle quote degli impalcati con il verso negativo. Si utilizza la stessa distribuzione di forze dell'analisi statica lineare, cambia solo l'intensità in modo proporzionale nei vari incrementi;
- 5) **Sisma Y positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso positivo;
- 6) **Sisma Y negativo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso negativo;
- 7) **Sisma Y positivo e distribuzione delle forze orizzontali secondo l'analisi statica lineare:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle quote degli impalcati con il verso positivo. Si utilizza la stessa distribuzione di forze dell'analisi statica lineare, cambia solo l'intensità in modo proporzionale nei vari incrementi;
- 8) **Sisma X negativo e distribuzione delle forze orizzontali secondo l'analisi statica lineare:** Le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle quote degli impalcati con il verso negativo. Si utilizza la stessa distribuzione di forze dell'analisi statica lineare, cambia solo l'intensità in modo proporzionale nei vari incrementi.

Secondo le NTC 2018 il calcolo della curva di capacità si deve effettuare per sedici combinazioni di carico (secondo questa normativa l'azione sismica deve essere considerata contemporaneamente nelle due direzioni ortogonali. Deve essere considerata al 100% nella direzione principale ed al 30% nella direzione secondaria):

- 1) **Sisma X al 100% positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse. Sisma Y al 30% positivo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso positivo in direzione X (100%) e verso positivo in direzione Y (30%);
- 2) **Sisma X al 100% positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse. Sisma Y al 30% negativo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso positivo in direzione X (100%) e verso negativo in direzione Y (30%);
- 3) **Sisma X al 100% negativo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse. Sisma Y al 30% positivo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso negativo in direzione X (100%) e verso positivo in direzione Y (30%);
- 4) **Sisma X al 100% negativo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse. Sisma Y al 30% negativo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso negativo in direzione X (100%) e verso negativo in direzione Y (30%);
- 5) **Sisma X al 100% positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle altezze. Sisma Y al 30% positivo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle altezze degli impalcati con il verso positivo in direzione X (100%) e verso positivo in direzione Y (30%);
- 6) **Sisma X al 100% positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle altezze. Sisma Y al 30% negativo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle altezze degli impalcati con il verso positivo in direzione X (100%) e verso negativo in direzione Y (30%);
- 7) **Sisma X al 100% negativo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle altezze. Sisma Y al 30% positivo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle altezze degli impalcati con il verso negativo in direzione X (100%) e verso positivo in direzione Y (30%);
- 8) **Sisma X al 100% negativo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle altezze. Sisma Y al 30% negativo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo

- proporzionali alle altezze degli impalcati con il verso negativo in direzione X (100%) e verso negativo in direzione Y (30%);
- 9) **Sisma Y al 100% positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse. Sisma X al 30% positivo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso positivo in direzione Y (100%) e verso positivo in direzione X (30%);
  - 10) **Sisma Y al 100% positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse. Sisma X al 30% negativo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso positivo in direzione Y (100%) e verso negativo in direzione X (30%);
  - 11) **Sisma Y al 100% negativo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse. Sisma X al 30% positivo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso negativo in direzione Y (100%) e verso positivo in direzione X (30%);
  - 12) **Sisma Y al 100% negativo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle masse. Sisma X al 30% negativo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle masse degli impalcati con il verso negativo in direzione Y (100%) e verso negativo in direzione X (30%);
  - 13) **Sisma Y al 100% positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle altezze. Sisma X al 30% positivo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle altezze degli impalcati con il verso positivo in direzione Y (100%) e verso positivo in direzione X (30%);
  - 14) **Sisma Y al 100% positivo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle altezze. Sisma X al 30% negativo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle altezze degli impalcati con il verso positivo in direzione Y (100%) e verso negativo in direzione X (30%);
  - 15) **Sisma Y al 100% negativo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle altezze. Sisma X al 30% positivo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle altezze degli impalcati con il verso negativo in direzione Y (100%) e verso positivo in direzione X (30%);
  - 16) **Sisma Y al 100% negativo e distribuzione delle forze orizzontali proporzionali alle altezze. Sisma X al 30% negativo:** le forze orizzontali vengono incrementati in modo proporzionali alle altezze degli impalcati con il verso negativo in direzione Y (100%) e verso negativo in direzione X (30%);

Determinate le curve di capacità, bisogna effettuare le verifiche di sicurezza dell'analisi confrontando la **capacità di spostamento** con la **domanda di spostamento**.

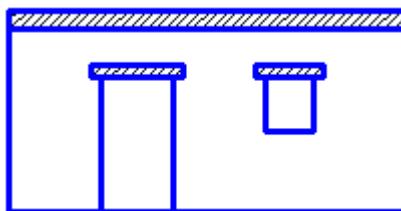
Di seguito vengono riportati i vari passi della suddetta analisi.

#### 2.11.3.1 – Comportamento meccanico delle pareti in muratura

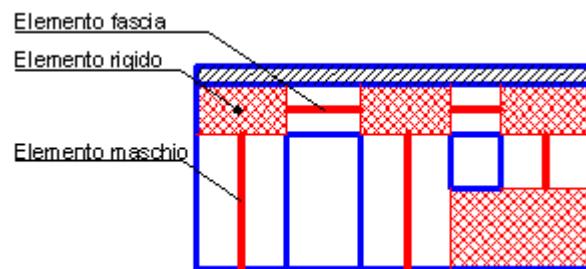
Secondo la tecnica del telaio equivalente, una parete in muratura è composta da tre tipi di elementi:

- Maschi murari
- Fasce di piano
- Conci rigidi

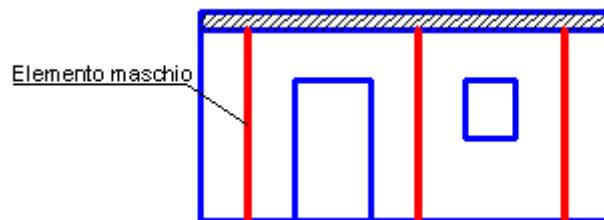
La parete nella figura successiva:



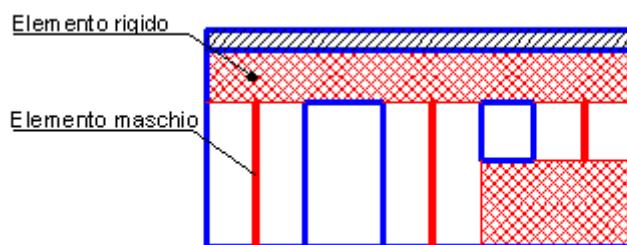
viene schematizzata come segue (telaio equivalente):



È anche possibile schematizzare la parete con soli maschi murari:



e con maschi murari e conci rigidi:



### Elemento maschio

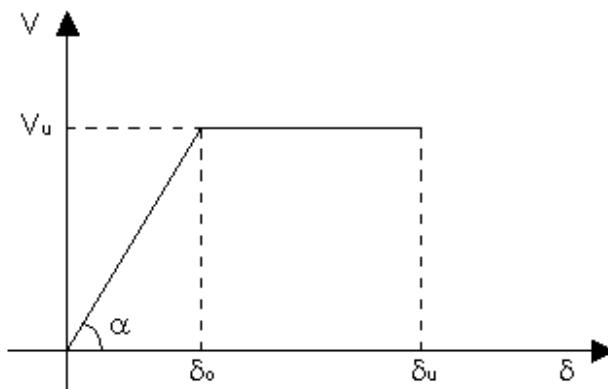
La rigidezza degli elementi viene schematizzati secondo la teoria di Timoshenko la quale tiene conto della componente a flessione ed a taglio della deformazione:

$$k = \frac{1}{\frac{h^3}{12EI} + \frac{1.2 \cdot h}{GA}}$$

dove

- $k$  è la rigidezza dell'elemento;
- $h$  è l'altezza dell'elemento;
- $E$  è il modulo elastico dell'elemento;
- $G$  è il modulo elastico tangenziale dell'elemento;
- $I$  è il momento d'inerzia della sezione dell'elemento rispetto l'asse baricentrico ortogonale alla direzione della parete;
- $A$  è l'area della sezione della parete;

La legge costitutiva adottata per ogni maschio murario è quella elastica perfettamente plastica data dalla seguente curva Forza-Spostamento:



Per definire tale curva occorre conoscere la rigidezza dell'elemento ( $k$ ), lo spostamento ultimo ( $\delta_u$ ) e la resistenza a taglio ( $V_u$ ). La rigidezza è stata definita nella precedente espressione, dalla quale si ricava:

$$k = \operatorname{tg}(\alpha)$$

Lo spostamento ultimo si può definire dalla duttilità dell'elemento data dalla seguente espressione:

$$\frac{\delta_u}{\delta_o} = d \quad (\text{duttilità})$$

Per SLV la normativa fissa lo spostamento ultimo pari allo 0.4% dell'altezza della parete se la rottura si verifica per taglio e pari allo 0.8% (0.6% per elementi esistenti – Circolare 617/2009) dell'altezza della parete se la rottura si verifica per flessione. Per SLC la normativa fissa lo spostamento ultimo pari allo 0.5% dell'altezza della parete se la rottura si verifica per taglio e pari allo 1.0% dell'altezza della parete se la rottura si verifica per flessione.

Il taglio limite della parete è il minore che si ottiene dalle seguenti espressioni:

$$V_1 = \frac{l^2 \cdot t \cdot \sigma_0}{2 \cdot h} \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0.85 \cdot f_{td}} \right)$$

$$V_2 = l \cdot t \cdot f_{vd} \quad (\text{solo per elementi di nuova costruzione})$$

$$V_3 = l \cdot t \cdot \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}} \quad (\text{solo per elementi esistenti})$$

dove

- $l$  è la lunghezza della parete;
- $t$  è lo spessore della parete;
- $h$  è l'altezza della parete;
- $\sigma_0$  è la tensione normale media riferita all'area totale della sezione;
- $L$  è la lunghezza della parte compressa della parete;
- $f_{td}$  è la resistenza di calcolo a compressione della muratura;
- $f_{vd}$  è resistenza di calcolo a taglio della muratura;
- $f_{td}$  è la resistenza a trazione per fessurazione diagonale;
- $b$  è un coefficiente correttivo (vedi punto C8.7.1.5 della circolare 617/2009).

per cui si ha che il taglio limite si ottiene da:

$$V_u = \min(V_1, V_2) \quad (\text{edifici di nuova costruzione})$$

$$V_u = \min(V_1, V_2, V_3) \quad (\text{edifici esistenti})$$

Come si vede dalle precedenti relazioni, la resistenza a taglio delle pareti è legata allo sforzo normale applicato sulla parete, quindi può capitare che pareti con le stesse caratteristiche geometriche abbiano un diverso valore del taglio resistente.

### Elemento fascia di piano

La resistenza delle fasce di piano dipende dalla presenza di elementi orizzontali dotati di resistenza a trazione (cordoli, catene, ecc.). Nel caso in cui la fascia di piano è dotata di elemento resistente a trazione, la resistenza a taglio e pressoflessione si ottiene dalle seguenti:

#### Resistenza a taglio

$$V_t = h \cdot t \cdot f_{vd0}$$

dove

- $h$  è l'altezza della fascia;
- $t$  è lo spessore della fascia;
- $f_{vd0}$  è resistenza di calcolo a taglio in assenza di carico verticale della muratura;

#### Resistenza a flessione

$$V_p = \frac{2 \cdot M_u}{I}$$

dove

- $M_u = \frac{H_p \cdot h}{2} \left[ 1 - \frac{H_p}{0.85 \cdot f_{hd} \cdot h \cdot t} \right]$  è il massimo momento resistente;
- $L$  è la luce libera della fascia;
- $H_p$  è il minimo tra la resistenza a trazione dell'elemento orizzontale teso ed il valore  $0.4 \cdot f_{hd} \cdot h \cdot t$ ;
- $H$  è l'altezza della fascia;
- $T$  è lo spessore della fascia;
- $f_{hd}$  è resistenza di calcolo a compressione della muratura in direzione orizzontale;

La resistenza a taglio della fascia è il minimo tra  $V_p$  e  $V_t$ .

Nel caso in cui sono assenti gli elementi orizzontali resistenti a trazione (cordoli, catene, ecc), nelle precedenti formule entrano in gioco le resistenze a trazione della muratura.

### 2.11.3.2 – Comportamento meccanico di pilastri e pareti in c.a.

Il calcolo statico non lineare in presenza di elementi in c.a. richiede la conoscenza della resistenza degli elementi stessi, la quale può essere calcolata solo se si conosce il quantitativo di armatura presente.

### Momento di plasticizzazione

Il momento di plasticizzazione dell'elemento (tecnica di Park et al.) è dato dalla seguente espressione:

$$M_u = (1.24 - 0.15 \cdot \rho_t - 0.5 \cdot n_0) \cdot M_y$$

dove

$$M_y = 0.5 \cdot f_c \cdot b \cdot d^2 \cdot [(1 + \beta_c - \eta) \cdot n_0 + (2 - \eta) \cdot \rho_t + (\eta - 2 \cdot \beta_c) \cdot \alpha_c \cdot \rho'_t] \quad (\text{momento al limite elastico})$$

$$\rho_t = \frac{A_t \cdot f_y}{b \cdot d \cdot f_c}$$

$$\rho'_t = \frac{A_c \cdot f_y}{b \cdot d \cdot f_c}$$

$$n_0 = \frac{N}{f_c \cdot b \cdot d}$$

$$\beta_c = \frac{c}{d}$$

$$\eta = \frac{0.75}{1 + \alpha_y} \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^{0.7}$$

$$\alpha_c = (1 - \beta_c) \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_y} - \beta_c < 1$$

$$\alpha_y = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_0}$$

$f_c$  è la tensione del calcestruzzo compresso;

$f_y$  è la tensione dell'armatura tesa;

$\varepsilon_c$  è la deformazione del calcestruzzo;

$\varepsilon_y$  è la deformazione dell'armatura;

$\varepsilon_0$  è la deformazione limite del calcestruzzo;

$A_c$  è l'area dell'armatura compressa;

$A_t$  è l'area dell'armatura tesa;

$N$  è lo sforzo normale sollecitante;

$c$  è il copriferro;

$b$  è la base della sezione;

$d$  è l'altezza utile della sezione;

### Capacità deformativa di un elemento

La capacità di rotazione rispetto alla corda in condizioni di collasso di un elemento in c.a. si ottiene dalla seguente relazione:

$$\Theta_u = \frac{1}{\gamma_{cl}} \left[ \Theta_y + (\phi_u - \phi_y) \cdot L_{pl} \cdot \left( 1 - \frac{0.5 \cdot L_{pl}}{L_v} \right) \right]$$

La capacità di rotazione rispetto alla corda in condizioni di snervamento di un elemento in c.a. si ottiene dalla seguente relazione:

$$\Theta_y = \phi_y \frac{L_V}{3} + 0.0013 \cdot \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_V} \right) + 0.13 \cdot \phi_y \frac{d_b \cdot f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (\text{pilastri})$$

$$\Theta_y = \phi_y \frac{L_V}{3} + 0.002 \cdot \left( 1 - 0.125 \frac{L_V}{h} \right) + 0.13 \cdot \phi_y \frac{d_b \cdot f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (\text{pareti})$$

La lunghezza della cerniera plastica è data da:

$$L_{pl} = 0.1 \cdot L_V + 0.17 \cdot h + 0.24 \frac{d_b \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$$

dove

$\phi_u$  è la curvatura ultima valutata considerando le deformazioni ultime del conglomerato e dell'acciaio;

$\phi_y$  è la curvatura di snervamento valutata considerando l'acciaio alla deformazione di snervamento;

$L_V = \frac{M}{N}$  è il rapporto tra momento e taglio sollecitante (per elementi incastrati  $L_V = 0.5 \cdot L$ )

$\gamma_{cl} = 1.5$

$H$  è l'altezza della sezione

$L$  è lunghezza dell'elemento

$d_b$  è il diametro medio delle barre longitudinali

$f_y$  è la resistenza a snervamento dell'acciaio longitudinale

$f_c$  è la resistenza a compressione del calcestruzzo

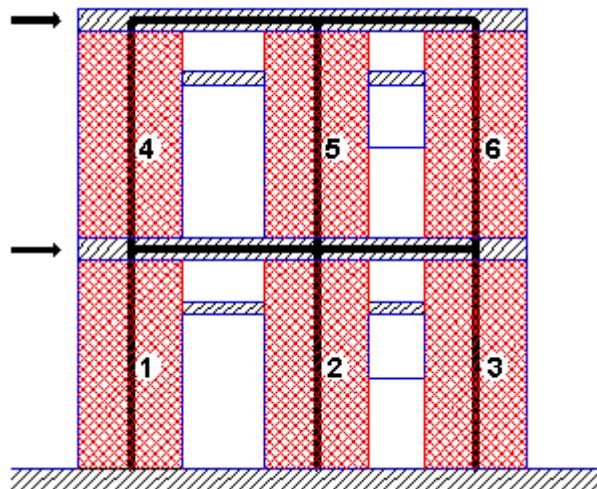
$M$  è il momento sollecitante

$N$  è lo sforzo normale sollecitante

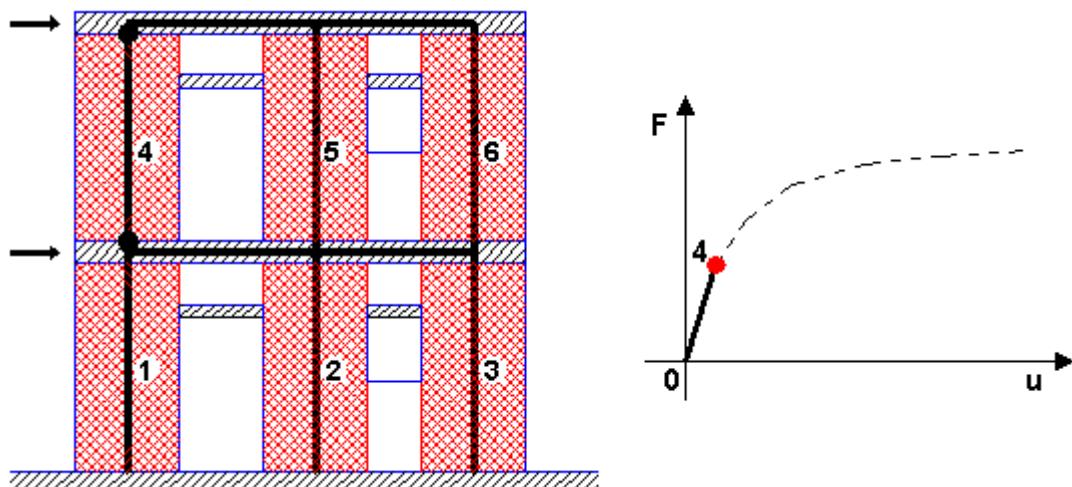
### 2.11.3.3 – Curva di capacità

La costruzione della curva di capacità della struttura è molto importante per l'esito finale della verifica sismica secondo il metodo '**pushover**'. La curva si ottiene incrementando i carichi orizzontali fino al raggiungimento del collasso della struttura. Aumentando gradualmente la forza orizzontale, uno o più elementi che compongono la struttura raggiungeranno il limite plastico ( $V_u$ ). A questo punto tali pareti non sono più in condizioni di assorbire ulteriore incremento di carico per cui agli estremi delle stesse si formano le cerniere plastiche. I successivi incrementi saranno assorbiti dagli elementi che sono ancora in fase elastica ( $V < V_u$ ). Il calcolo si blocca quando in un piano della struttura non ci sono più elementi in grado di assorbire ulteriori incrementi di carico sismico.

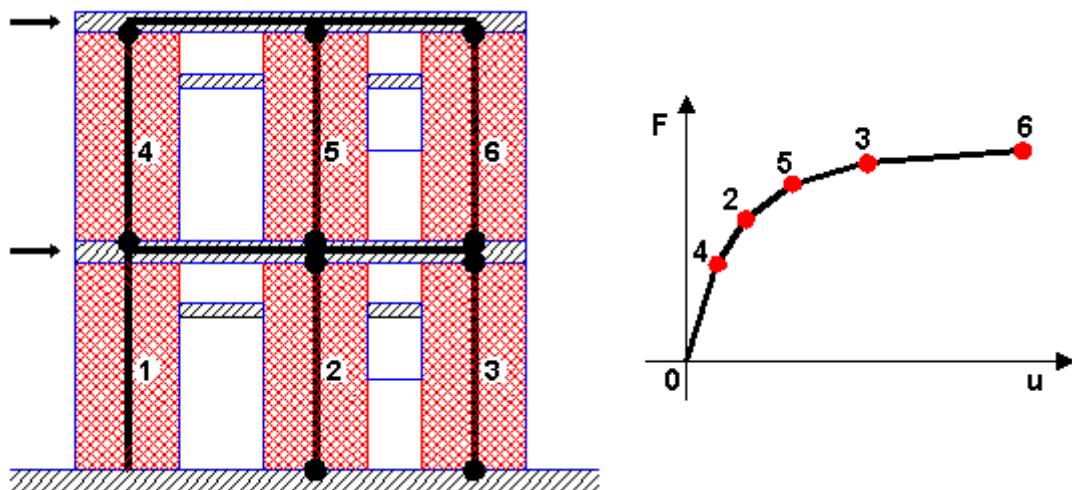
Per meglio chiarire questi concetti faremo un piccolo esempio pratico considerando la struttura della figura successiva (per semplicità consideriamo un esempio piano) costituita da 6 maschi murari. Inizialmente tutti gli elementi si trovano in fase elastica.



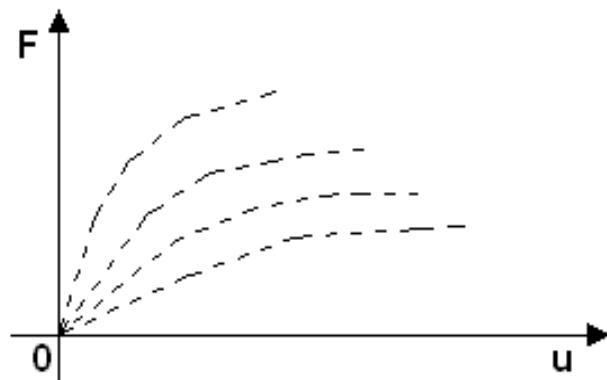
Incrementando gradualmente i carichi orizzontali, l'elemento 4 raggiunge per primo il taglio ultimo ( $V_u$ ), quindi non è più in grado di assorbire ulteriori incrementi di carico per cui si plasticizza.



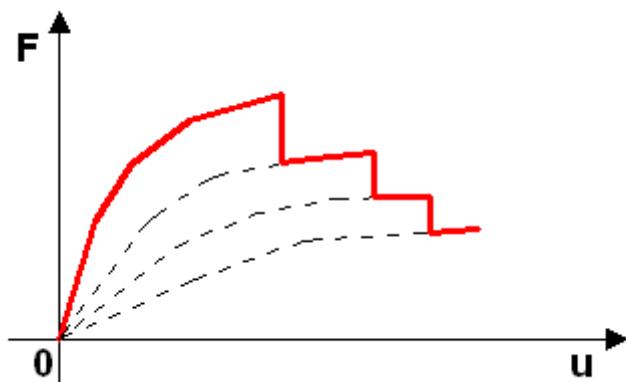
In corrispondenza dell'estremità dell'elemento plasticizzato vengono inserite le cerniere plastiche, quindi si comporta come una biella capace di assorbire solo forze assiali. Il punto corrispondente nella curva di capacità è quello rosso contraddistinto dal numero 4 (relativo al numero dell'elemento che si plasticizza). Incrementando ulteriormente i carichi orizzontali, altri elementi che sono ancora in fase elastica raggiungono gradualmente la fase plastica fino al collasso. Supponiamo che gli elementi che raggiungono la crisi sono progressivamente 2, 5, 3, 6. Al collasso dell'elemento 6 il calcolo si blocca in quanto si raggiunge il meccanismo di piano (il secondo impalcato non è più in grado di assorbire ulteriori incrementi di carico orizzontale). Nella successiva figura viene riportata la struttura al momento del collasso con la corrispondente curva di capacità. Dalla curva si deduce che la rigidezza della struttura si riduce progressivamente con la plasticizzazione degli elementi.



In alcuni casi la curva di capacità può presentare dei tratti decrescenti (ramo di *softening*: aumento delle deformazioni al diminuire delle forze). Tale fenomeno si può riscontrare più frequentemente quando le strutture sono costituite da materiali con rigidezze ( $E$ ,  $G$ ) basse (più deformabili). Quando uno o più elementi raggiungono il collasso, viene ripetuto il calcolo senza tener conto (ai fini sismici) degli elementi colllassati.

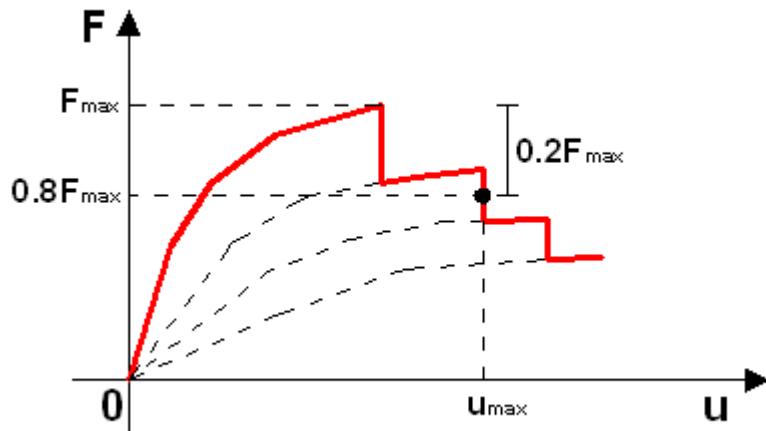


In questo caso la curva di capacità della struttura è quella che le inviluppa tutte.



Dalla curva di capacità della struttura si ottiene la **capacità di spostamento** ( $u_{max}$ ), che definisce lo spostamento massimo che la struttura raggiunge ai fini della verifica. Secondo le NTC 2008 e 2018 tale spostamento si ottiene dalla curva di capacità per una riduzione della forza massima ( $F_{max}$ ) non

superiore al 20% (vedi figura successiva). La circolare 617/2009 fissa tale riduzione non superiore al 15%.



#### 2.11.3.4 – Verifiche sismica globale

La verifica sismica globale consiste nel confrontare la **capacità di spostamento** ( $u_{\max}$ ) con lo **spostamento richiesto** ( $d_{\max}$ ) della struttura reale.

La **capacità di spostamento** della struttura si ottiene dalla **curva di capacità** descritta nel punto precedente.

Lo **spostamento richiesto** ( $d_{\max}$ ) della struttura reale di ottiene dallo spostamento richiesto del sistema bilineare equivalente ( $d_{\max}^*$ ) moltiplicato per il coefficiente di partecipazione in base alle prescrizioni riportate nel punto C7.3.4.1 della circolare 617/2009:

$$d_{\max} = \Gamma \cdot d_{\max}^*$$

Lo **spostamento richiesto** ( $d_{\max}^*$ ) del sistema bilineare equivalente si ottiene dallo spettro di risposta in termini di spostamenti (punto 3.2.3.2.3 del D.M. 17/01/2018) dato dalla seguente espressione:

$$d_{\max}^* = S_{De}(T^*) \quad \text{per} \quad T^* \geq T_c$$

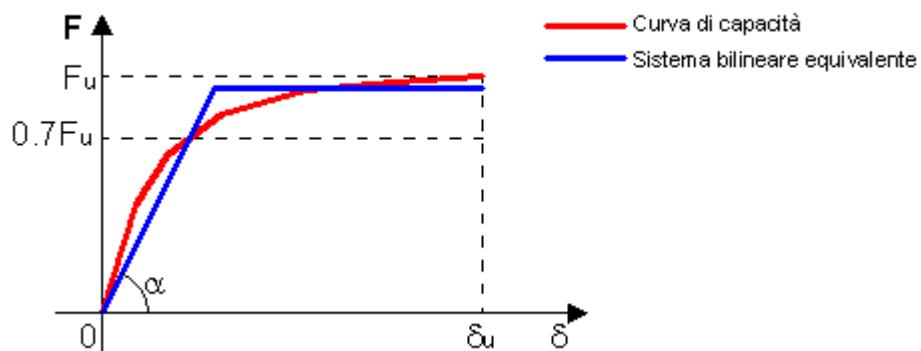
$$d_{\max}^* = \frac{S_{De}(T^*)}{q^*} \left[ 1 + (q^* - 1) \frac{T_c}{T^*} \right] \quad \text{per} \quad T^* < T_c$$

dove

- $\Gamma = \frac{\sum m_i \Phi_i}{\sum m_i \Phi_i^2}$  è il coefficiente di partecipazione modale;
- $d_{\max}^*$  è la domanda di spostamento del sistema bilineare equivalente;
- $T^* = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$  è il periodo del sistema equivalente ad un grado di libertà;
- $T_c$  è il periodo che definisce il punto finale del tratto costante dello spettro (vedi capitolo 3 delle NTC 2008 e 2018);
- $m^* = \sum m_i \cdot \Phi_i$  è la massa del sistema equivalente;
- $k^*$  è la rigidezza secante del sistema equivalente;

- $q^* = \frac{S_e(T^*) \cdot m^*}{F_y^*}$  è il rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente;
- $S_{De}(T^*)$  è il valore dello spettro di risposta elastico degli spostamenti in corrispondenza del periodo  $T^*$ ;
- $S_e(T^*)$  è il valore dello spettro di risposta elastico delle accelerazioni in corrispondenza del periodo  $T^*$ ;
- $m_i$  è la massa di ogni impalcato della struttura;
- $\Phi_i$  è il vettore che rappresenta il primo modo di vibrare della struttura;
- $F_y^*$  è la forza di snervamento del sistema equivalente;

Per effettuare la verifica bisogna determinare le grandezze ( $m^*$ ,  $k^*$ ,  $T^*$ ) che definiscono il sistema bilineare equivalente. Il comportamento di tale sistema è elastico perfettamente plastico individuato da due segmenti di retta che si ottengono dalla curva di capacità della struttura:



La rigidezza  $k^* = \tan(\alpha)$  del sistema equivalente si ottiene dalla corda che unisce l'origine con il punto corrispondente  $0.7 \cdot F_u$  della curva di capacità. Il tratto orizzontale della bilatera si ottiene dall'uguaglianza delle aree delimitate dalle due curve. L'area delimitata dalla curva rossa con l'asse delle ascisse (Curva di capacità) e quella delimitata dalla curva blu (Sistema bilineare equivalente) devono essere uguali.

La massa  $m^*$  si ottiene dall'espressione riportata nella pagina precedente. L'autovettore normalizzato ( $\Phi_i$ ) si ottiene dal primo modo di vibrare della struttura.

Il periodo si ottiene da  $k^*$  e  $m^*$  (vedi espressione del periodo  $T^*$  nella pagina precedente).

La verifica si ritiene soddisfatta quando lo **spostamento richiesto** ( $d_{max}$ ) è minore della **capacità di spostamento** ( $u_{max}$ ):

$$d_{max} \leq u_{max}$$

#### 2.11.4 – Muratura Armata

**VEM<sub>NL</sub>** consente di progettare strutture con elementi in muratura armata. Il calcolo può essere effettuato utilizzando l'analisi statica e dinamica lineare. Nel calcolo delle sollecitazioni (analisi statica lineare e dinamica lineare) si utilizza la tecnica degli elementi finiti con la schematizzazione a telai equivalenti, secondo la quale ogni elemento murario ha un comportamento monodimensionale alla Timoshenko (si considera la rigidezza sia flessionale che tagliente).

Gli impalcati della struttura sono ipotizzati infinitamente rigidi nel proprio piano.



## **Capitolo 3**

### **Le verifiche strutturali**

#### **3.1 – Introduzione**

Questa sezione del presente manuale descrive, con riferimenti teorici e normativi, le verifica degli elementi in muratura, di progettazione delle armature per gli elementi in c.a., di verifica delle sezioni in legno e acciaio. Rispetto ad ogni tipologia costruttiva si analizzeranno nei dettagli le formulazioni utilizzate e i criteri di progettazione dei particolari esecutivi.

Le verifiche di tutti gli elementi esaminati vengono effettuate considerando le sollecitazioni che si ottengono dagli inviluppi.

#### **3.2 – Elementi in Muratura.**

Nei seguenti paragrafi vengono riportate le verifiche locali alle quali ogni elemento strutturale in muratura viene sottoposto. Se si effettua l'analisi statica non lineare, le verifiche a pressoflessione nel piano ed a taglio non vengono eseguite in quanto sono già implicite nella verifica sismica globale.

##### **3.2.1 – Pressoflessione nel piano.**

La verifica si ottiene facendo il confronto tra momento sollecitante  $M_{Sd}$  e momento resistente  $M_{Rd}$ . La verifica ha esito positivo quando è soddisfatta la seguente disequazione:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

dove

$$M_{Rd} = \frac{l^2 \cdot t \cdot \sigma_0}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 \cdot f_d}\right) \text{ è il momento resistente nel piano della parete}$$

$l$  è la lunghezza complessiva della parete;

$t$  è lo spessore della parete;

$$\sigma_0 = \frac{P}{l \cdot t} \quad \text{è la tensione normale media agente su tutta la sezione con "P" forza assiale positiva di compressione;}$$

$f_d$  è la resistenza a compressione di calcolo della muratura.

Nella resistenza a pressoflessione di un setto murario entra in gioco anche lo sforzo normale sollecitante ( $P$ ), per cui come si vede dalle precedenti espressioni, una parete sulla quale grava uno sforzo normale di piccola entità ha una resistenza molto ridotta a pressoflessione anche se è di notevoli dimensioni.

### 3.2.2 – Taglio

La verifica si ottiene facendo il confronto tra il taglio sollecitante  $T_{Sd}$  ed il taglio resistente  $T_{Rd}$ . La verifica ha esito positivo quando è soddisfatta la seguente disequazione:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd}$$

dove

$T_{Rd} = l' \cdot t \cdot f_{vd}$  è la resistenza a taglio del pannello murario;

$l'$  è la lunghezza della parte compressa;

$t$  è lo spessore della parete;

$$f_{vd} = \frac{f_{vk0} + 0.40 \cdot \sigma_N}{\gamma_m}$$

$\sigma_N = \frac{P}{l' \cdot t}$  è la tensione normale media sulla parte compressa;

$\gamma_m$  è il coefficiente di sicurezza della muratura.

### 3.2.3 – Pressoflessione fuori piano.

La verifica a pressoflessione fuori piano è diversa a seconda della normativa adottata per analizzare la struttura

#### Pressoflessione fuori piano (DM 17/01/2018).

La verifica si ottiene facendo il confronto tra momento sollecitante  $M_{Sd}$  e momento resistente  $M_{Rd}$ . La verifica ha esito positivo quando è soddisfatta la seguente disequazione:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

dove

$$M_{Rd} = \frac{l \cdot t^2 \cdot \sigma_0}{2} \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0.85 \cdot f_d} \right)$$

è il momento resistente fuori piano della parete

$l$  è la lunghezza complessiva della parete;

$t$  è lo spessore della parete;

$$\sigma_0 = \frac{P}{l \cdot t}$$

è la tensione normale media agente su tutta la sezione con "P" forza assiale  
positiva di compressione;

$f_d$  è la resistenza a compressione di calcolo della muratura.

Il momento sollecitante si ottiene tenendo conto della forza sismica sotto riportata

$$F_a = \frac{S_a}{q_a} (P_p + P_o)$$

dove

$P_p$  è il peso proprio del muro esaminato;

$P_0$  è il peso degli orizzontamenti;

$q_a$  è il fattore di comportamento dell'elemento (può essere assunto pari a 2 per pannelli in muratura);

$$S_a = \alpha \cdot S \left[ 1.5 \cdot \left( 1 + \frac{Z}{H} \right) - 0.5 \right] \geq \alpha \cdot S \quad \text{è il coefficiente di amplificazione;}$$

$a_g$  è l'accelerazione di picco al suolo di progetto;

$S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche ( $S = S_s \cdot S_t$ );

$Z$  è l'altezza del baricentro dell'elemento rispetto alla fondazione;

$H$  è l'altezza della struttura;

#### Pressoflessione fuori piano (D.M. 14/09/2005).

La verifica fuori piano si considera soddisfatta quando è verificata la seguente relazione:

$$N_d \leq N_{Rd} = \Phi_t \cdot f_d \cdot A$$

dove

$N_d$  è la forza assiale di progetto;

$N_{Rd}$  è la resistenza di progetto;

$\Phi_t$  è il coefficiente riduttivo della resistenza, che tiene conto dell'eccentricità trasversale dei carichi e della snellezza della parete;

$f_d$  è la resistenza di progetto a compressione della muratura;

$A$  è l'area della sezione della parete;

Il coefficiente  $\Phi_t$  si calcola dalla seguente tabella:

Snellezza $[\lambda]$	Coefficiente di eccentricità $m = 6e/t$				
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
0	1.00	0.74	0.59	0.44	0.33
5	0.97	0.71	0.55	0.39	0.27
10	0.86	0.61	0.45	0.27	0.15
15	0.69	0.48	0.32	0.17	---
20	0.53	0.36	0.23	---	---

Per valori non contemplati nella tabella si procede con l'interpolazione lineare; per valori fuori dai limiti della tabella la verifica da esito negativo.

La snellezza è data dalla seguente relazione:

$$\lambda = \frac{h_0}{t}$$

dove

- $h_0$  è la lunghezza libera di inflessione del muro pari a  $\rho \cdot h$ ;
- $h$  è l'altezza della parete;
- $t$  è lo spessore della parete;
- $\rho$  è il fattore laterale di vincolo dato dalla seguente tabella:

	Valori di $\rho$
$\frac{h}{a} \leq 0.5$	1
$0.5 < \frac{h}{a} \leq 1.0$	$1.5 - \frac{h}{a}$
$\frac{h}{a} > 1.0$	$\frac{1}{1 + \left(\frac{h}{a}\right)^2}$

$a$  è l'interasse tra due pareti ortogonali che irridiscono la parete esaminata.

### 3.3 – Elementi in c.a.

Per quanto riguarda gli elementi in c.a. l'incognita del problema di progettazione è identificata nelle armatura da porre all'interno della sezione, e dalla sagomatura delle stesse all'interno di gruppi di elementi (travature e pilastri). La progettazione delle armature avviene ponendo come costanti del problema le dimensioni dell'elemento, le caratteristiche del materiale prescelto, i vincoli normativi. In quest'ottica, al fine di stabilire la quantità delle armature, le stesse vengono incrementate e successivamente vengono effettuate le verifiche strutturali nei riguardi dei vari stati limite.

#### 3.3.1 – Travi e Pilastri.

Nei riguardi dei pilastri vengono effettuate, utilizzando lo stato sollecitante completo, le verifiche nei riguardi di:

- **PressoTensoFlessione Deviata (SLU);**
- **Taglio (SLU);**
- **Torsione (SLU);**
- **Stato tensionale (SLE).**

Nei riguardi delle travi di elevazione vengono effettuate, utilizzando lo stato sollecitante completo, le verifiche nei riguardi di:

- **PressoTensoFlessione (SLU);**
- **Taglio (SLU);**
- **Torsione (SLU);**
- **Deformabilità (SLE);**
- **Stato tensionale (SLE);**
- **Fessurazione (SLE).**

Nei riguardi delle travi di fondazione vengono effettuate, utilizzando lo stato sollecitante completo, le verifiche nei riguardi di:

- **PressoTensoFlessione (SLU);**
- **Taglio (SLU);**
- **Torsione (SLU);**

- **Stato tensionale** (SLE);
- **Fessurazione** (SLE).

Le singole verifiche verranno descritte nei particolari nei paragrafi che seguono.

### 3.3.1.1 – Presso/Tenso-Flessione deviata (Stati limite)

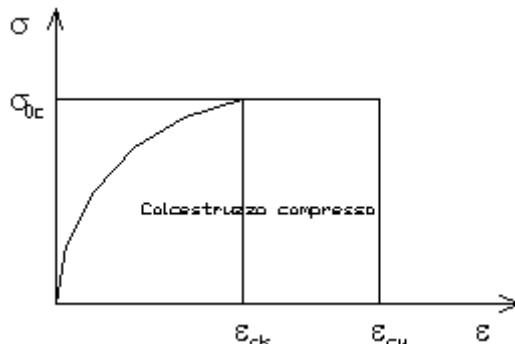
Le sollecitazioni che vengono considerate in tale verifica sono: Sforzo Normale, Momento Flettente X-Z, Momento Flettente X-Y.

La verifica di resistenza è soddisfatta se la sollecitazione relativa alla condizione considerata cade all'interno del dominio di sicurezza determinato, attraverso le conoscenze del comportamento meccanico della sezione in esame, delle caratteristiche dei materiali di cui è composta ed in base ai coefficienti di sicurezza forniti dalla normativa seguita:

Il calcolo è condotto relativamente alle seguenti ipotesi:

1. Le sezioni rimangano piane fino a rottura.
2. Ci sia perfetta aderenza fra acciaio e calcestruzzo.
3. La deformazione massima del calcestruzzo compresso è pari a 0.0035 nel caso di flessione semplice e composta con asse neutro reale mentre è pari a 0.002 nel caso di compressione semplice.
4. La deformazione massima per l'acciaio tesio sia pari a 0.01.
5. Il calcestruzzo non abbia alcuna capacità di resistenza a trazione.

Il diagramma tensioni-deformazioni assunto per il calcestruzzo è di tipo parabola-rettangolo come indicato nella seguente figura:



dove

$$\varepsilon_{ck} = 0.002;$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035;$$

$$\sigma_{0c} = \frac{0.85 \cdot 0.83 \cdot R_{ck}}{\gamma_c};$$

$$\gamma_c$$

$R_{ck}$  è la resistenza caratteristica del calcestruzzo;

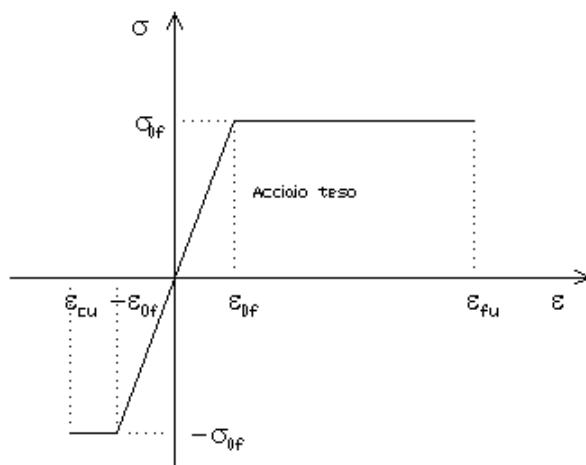
$\gamma_m$  è il coefficiente di sicurezza del materiale calcestruzzo (1.5);

Le equazioni che descrivono il diagramma sono:

$$\varepsilon < \varepsilon_{ck} \Rightarrow \sigma(\varepsilon) = 1000 \cdot \sigma_{0c} \cdot (1 - 250 \cdot \varepsilon);$$

$$\varepsilon_{ck} < \varepsilon < \varepsilon_{cu} \Rightarrow \sigma(\varepsilon) = \sigma_{0c};$$

Il diagramma tensioni-deformazioni assunto per l'acciaio è indicato nella seguente figura:



dove

$$\varepsilon_{0f} = \frac{\sigma_{0f}}{E};$$

$$\sigma_{0f} = \frac{f_{vk}}{\gamma_f};$$

$E$  è il modulo di elasticità dell'acciaio;

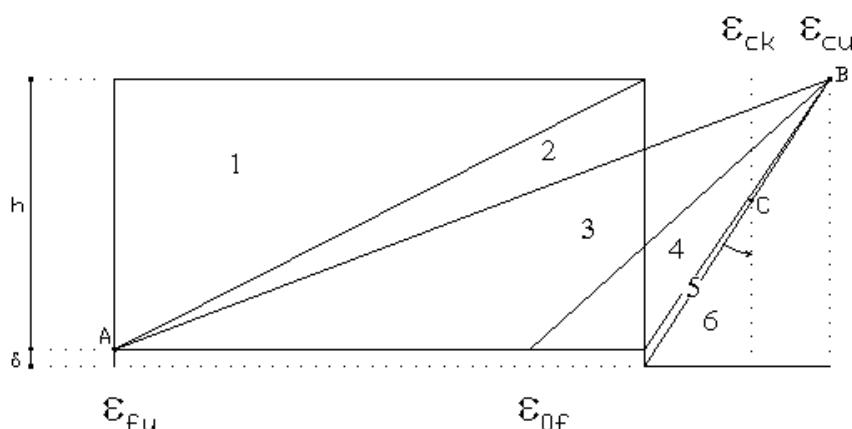
$f_{vk}$  è la resistenza caratteristica dell'acciaio;

$\gamma_f = 1.15$ ;

$\varepsilon_{fu} = 0.01$ ;

$\varepsilon_{cu} = 0.0035$ .

Le limitazioni delle deformazioni unitarie per il conglomerato e per l'acciaio conducono a definire sei diversi campi (o regioni) nei quali potrà trovarsi la retta di deformazione specifica. Tali campi sono descritti nel seguente modo:



**Campo 1:** è caratterizzato dall'allungamento massimo tollerabile per l'acciaio pari a  $\varepsilon_{fu}$ . Il diagramma delle deformazioni specifiche appartiene ad un fascio di rette passanti per il punto (A) mentre la distanza dall'asse neutro potrà variare da  $-\infty$  a 0. È il caso di trazione semplice o con piccola eccentricità; la sezione risulta interamente tesa. La crisi si ha per cedimento dell'acciaio teso.

**Campo 2:** è caratterizzato dall'allungamento massimo tollerabile per l'acciaio pari a  $\varepsilon_{fu}$  e dalla rotazione del diagramma attorno al punto (A). La deformazione specifica del calcestruzzo varia da 0 al

valore massimo del calcestruzzo compresso ( $\varepsilon_{cu}$ ) mentre la distanza dell'asse neutro dal lembo compresso può variare da 0 a  $0.259 \cdot h$ . La sezione risulterà in parte tesa ed in parte compressa e quindi sarà sollecitata a flessione semplice o composta.

**Campo 3:** è caratterizzato dall'accorciamento massimo del conglomerato pari a  $\varepsilon_{cu}$ . Le rette di deformazione appartengono ad un fascio passante per (B). La massima tensione del calcestruzzo in questa regione è pari a quella di rottura di calcolo mentre l'armatura è ancora deformata in campo plastico. La sezione risulterà in parte tesa ed in parte compressa e quindi sarà sollecitata a flessione semplice o composta.

**Campo 4:** è caratterizzato dall'accorciamento massimo del conglomerato pari a  $\varepsilon_{cu}$ . Le rette di deformazione appartengono ad un fascio passante per (B). La massima tensione del calcestruzzo in questa regione è pari a quella di rottura di calcolo mentre l'armatura è sollecitata con tensioni inferiori allo snervamento e può risultare anche scarica. La sezione risulterà in parte tesa ed in parte compressa e quindi sarà sollecitata a flessione semplice o composta.

**Campo 5:** è caratterizzato dall'accorciamento massimo del conglomerato pari a  $\varepsilon_{cu}$ . Le rette di deformazione appartengono ad un fascio passante per (B) mentre la distanza dell'asse neutro varia da  $h$  ad  $h+\delta$ . L'armatura in tale regione è sollecitata a compressione e pertanto tutta la sezione è compressa; è questo il caso della flessione composta.

**Campo 6:** è caratterizzato dall'accorciamento massimo del conglomerato compresso che varia fra  $\varepsilon_{cu}$  e  $\varepsilon_{ck}$ . Le rette di deformazione specifica appartengono ad un fascio passante per (C) e la distanza dell'asse neutro varia fra 0 e  $-\infty$ . La distanza di (C) dal lembo superiore vale  $3h/7$ . La sezione risulta sollecitata a compressione semplice o composta.

### 3.3.1.2 – Taglio (Stati limite)

Il calcolo viene effettuato seguendo le prescrizioni previste dalle NTV 2018. La resistenza di progetto a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \operatorname{ctg}(\theta) \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente e  $V_{Rd}$  quello resistente:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot f_{yd} \cdot \left( \frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot [\operatorname{ctg}(\alpha) + \operatorname{ctg}(\theta)] \cdot \sin(\alpha)$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rcd} = \frac{0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot [\operatorname{ctg}(\alpha) + \operatorname{ctg}(\theta)]}{1 + \operatorname{ctg}^2(\theta)}$$

dove

- d è l'altezza utile della sezione (in mm);
- $b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm);
- $A_{sw}$  è l'area dell'armatura trasversale;
- s è l'interasse tra due armature trasversali consecutive;
- $\alpha$  è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
- $v \cdot f_{cd}$  è la resistenza di progetto a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $v = 0.5$ );

$$\alpha_c = \begin{cases} 1 & \text{per membrature non compresse} \\ 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} & \text{per } 0 \leq \sigma_{cp} \leq 0.25 \cdot f_{cd} \\ 1.25 & \text{per } 0.25 \leq \sigma_{cp} \leq 0.50 \cdot f_{cd} \\ 2.5 \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} \right) & \text{per } 0.50 \leq \sigma_{cp} \leq 1.00 \cdot f_{cd} \end{cases}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{sd}}{A_c}$$

$N_{sd}$  è la forza longitudinale nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione.

### 3.3.1.3 – Torsione (Stati limite)

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$T_{Rd} \geq T_{Ed}$$

dove  $T_{Ed}$  è il valore di progetto del momento torcente agente e  $T_{Rd}$  quello resistente dato dalla seguente:

$$T_{Rd} = \min(T_{Rcd}, T_{Rsd}, T_{Rld})$$

Con riferimento al calcestruzzo la resistenza di progetto si calcola con

$$T_{Rcd} = \frac{2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \operatorname{ctg}(\theta)}{1 + \operatorname{ctg}^2(\theta)}$$

Con riferimento alle staffe trasversali la resistenza di progetto si calcola con

$$T_{Rsd} = \frac{2 \cdot A \cdot A_s \cdot f_{yd} \cdot \operatorname{ctg}(\theta)}{s}$$

Con riferimento all'armatura longitudinale la resistenza di progetto si calcola con

$$T_{Rld} = \frac{2 \cdot A \cdot \sum_i A_i \cdot f_{yd} \cdot \operatorname{ctg}(\theta)}{u_m}$$

dove si è posto

$$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$$

$f_{yd}$  è la resistenza di calcolo dell'acciaio;

$t$  è lo spessore della sezione cava; per sezioni piene  $t = A_c/u$  dove  $A_c$  è l'area della sezione ed  $u$  è il suo perimetro;  $t$  deve essere assunta comunque  $\leq 2$  volte la distanza fra il bordo e il centro dell'armatura longitudinale;

$A$  è l'area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico;

$A_s$  è l'area delle staffe;

$u_m$  è il perimetro medio del nucleo resistente;

$s$  è il passo delle staffe;

$\sum_i A_i$  è l'area complessiva delle barre longitudinali.

### 3.3.1.4 – Stato Tensionale

Tale verifica rientra nell'ambito delle verifiche di esercizio contemplate nell'EC2. Un eccessivo stato di tensione negli elementi in c.a. può portare a presenza di fessure longitudinali o stati di microfessurazione che comportano una riduzione della durata.

Il calcolo delle tensioni si ottiene sfruttando le ipotesi tradizionali per il calcolo del cemento armato ordinario, e cioè:

1. assunzione dei materiali elasticamente lineari;
2. conservazione delle sezioni piane al crescere dei carichi;
3. perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
4. resistenza nulla a trazione del calcestruzzo;

Inoltre può essere stabilito un coefficiente di omogeneizzazione diverso dal valore ordinario. Il valore usuale 15 può essere mantenuto se è possibile trascurare gli effetti a lungo termine.

Le tensioni di esercizio si possono calcolare considerando le combinazioni di carico rara, frequente e quasi permanente.

La verifica consiste nel confrontare le tensioni di calcolo (calcolate secondo legge lineare delle tensioni) con quelle limite dei materiali in funzione della combinazione che si sta analizzando. Si rimanda all'EC2 per i valori limite da attore per le tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio.

### 3.3.1.5 – Fessurazione

Poiché la fessurazione in strutture in cemento armato ordinario è quasi inevitabile, bisogna limitare tali entità in modo da non pregiudicare il corretto funzionamento della struttura.

La fessurazione può essere limitata assicurando un minimo di area di armatura longitudinale che può essere calcolata dalla seguente espressione (punto 4.4.2.2 dell'EC2):

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \left( \frac{A_{ct}}{\sigma_s} \right)$$

dove

$A_s$  è l'area di armatura nella zona tesa;

$k_c$  è il coefficiente che tiene conto del tipo di distribuzione delle tensioni nella sezione subito prima la fessurazione. Assume valore 0.4 per flessione senza compressione assiale, e 1 per trazione;

$k$  è il coefficiente che tiene conto degli effetti di tensioni auto-equilibrate non uniformi;

$f_{ct,eff}$  è la resistenza efficace a trazione della sezione al momento in cui si suppone insorgano le prime fessure. In mancanza di dati si utilizza il valore di  $3 \text{ N/mm}^2$ ;

$A_{ct}$  è l'area del calcestruzzo in zona tesa subito prima della fessurazione;

$\sigma_s$  è la massima tensione ammessa nell'armatura subito dopo la formazione della fessura.

Il calcolo delle ampiezze delle fessure (punto 4.4.2.4 dell'EC2) si effettua considerando anche la parte di calcestruzzo reagente a trazione utilizzando la seguente espressione:

$$W_k = \beta \cdot s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$$

dove

$W_k$  è l'ampiezza di calcolo delle fessure;

$\beta$  è il coefficiente dei correlazione tra l'ampiezza media delle fessure e il valore di calcolo;

$s_{rm}$  è la distanza media finale tra le fessure;

$\varepsilon_{sm}$  è la deformazione che tiene conto, nella combinazione di carico considerata, degli effetti "tension stiffening", del ritiro, ecc.;

La quantità  $\varepsilon_{sm}$  si ottiene dalla seguente espressione:

$$\varepsilon_{sm} = \left( \frac{\sigma_s}{E_s} \right) \cdot \left[ 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right]$$

dove

$\sigma_s$  è la tensione dell'acciaio tesio calcolata a sezione fessurata;

$E_s$  è il modulo elastico dell'acciaio;

$\sigma_{sr}$  è la tensione dell'acciaio tesio calcolata nella sezione per una condizione di carico che induce alla prima fessurazione;

$\beta_1$  è il coefficiente di aderenza delle barre. Assume valore 0.5 per barre lisce e 1 per barre ad aderenza migliorata;

$\beta_2$  è il coefficiente di durata dei carichi. Assume valore 0.5 per carichi di lunga durata o per molti cicli ripetuti e 1 per un singolo carico di breve durata.

La quantità  $s_{rm}$  si ottiene dalla seguente espressione:

$$s_{rm} = 50 + 0.25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \left( \frac{\phi}{\rho_r} \right)$$

dove

$k_1$  è il coefficiente di aderenza delle barre. Assume valore 1.6 per barre lisce e 0.8 per barre ad aderenza migliorata;

$k_2$  è il coefficiente che tiene conto della forma del diagramma delle deformazioni. Assume valore 0.5 per flessione e 1 per trazione pura;

$\phi$  è il diametro delle barre in mm. Se si utilizzano più diametri si assume il diametro medio.

La fessurazione causata dalle azioni tangenziali si considera contenuta in limiti accettabili se si adotta un passo delle staffe come indicato nel prospetto 4.13 dell'EC2.  
Tale verifica non è necessaria in elementi in cui non è richiesta l'armatura a taglio.

### 3.3.2 – Pali di fondazione

I pali di fondazione possono essere calcolati secondo quattro teorie diverse:

- **Bowles;**
- **Kerisel-Caquot;**
- **Terzaghi;**
- **Lancellotta.**

Nei paragrafi che seguono verranno esposte le formule di calcolo che diversificano i vari metodi.

#### 3.3.2.1 – Teoria di Bowles

La portata di base e quella laterale del singolo palo vengono calcolate con le espressioni seguenti:

- **Portata di Base**

$$Q_b = (Q_u \cdot N_q \cdot S_q \cdot D_q + c \cdot N_c) \cdot A_b$$

dove

$A_b$  è l'area della superficie di base del palo;

$Q_u$  è la pressione geostatica raggiunta dalla punta del palo;

$N_c$  ed  $N_q$  sono i fattori di capacità portante, funzione del diametro del palo ( $N_c = 7 \div 9$ );

$D_c$  ed  $S_q$  sono i fattori correttivi;

$c$  è la coesione dello strato alla punta;

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right);$$

$$S_q = 1 + \sin(\varphi);$$

$$D_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot [1 - \sin(\varphi)] \cdot 2 \cdot \tan \left( \frac{L_p}{D} \right);$$

- **Portata per attrito laterale**

$$Q_l = \sum_i A_l \cdot f_i$$

dove

$$f_i = \alpha \cdot c + q_i \cdot k_o \cdot \tan(\delta)$$

con

- $A_l$  è la superficie laterale del palo;  
 $c$  è la coesione;  
 $\alpha$  è il coefficiente d'adesione o di mobilitazione dell'attrito laterale, funzione della coesione non drenata (variabile tra 0.4 e 0.9);  
 $k_o$  è il coefficiente di spinta orizzontale;  
 $q_i$  è la pressione geostatica alla profondità della punta (data dal peso di volume naturale del terreno);  
 $\delta$  è l'angolo dell'attrito efficace dipendente dall'angolo di attrito  $\varphi$ .

### 3.3.2.2 – Teoria di Kerisel-Caquot

La portata di base e quella laterale del singolo palo variano in base al tipo di terreno, e vengono calcolate con le seguenti espressioni:

Nel caso di terreni coerenti la portanza laterale assume la forma:

$$Q_l = (\pi \cdot d \cdot \gamma \cdot \Delta H \cdot z) \cdot (k_1 \cdot \tan \varphi)$$

dove

$k_1 \cdot \tan \varphi$  è il parametro che dipende dall'angolo del terreno. Il suo valore varia da 0.186 a 5.90.

Mentre per le sabbie e le ghiaie si usa la relazione di Dörr:

$$Q_l = (\pi \cdot d \cdot \gamma \cdot \Delta H \cdot z) \cdot (\cos^2 \varphi \cdot f)$$

dove

$f$  è il coefficiente di attrito tra terreno e palo è funzione di  $\varphi$  e varia da 0.3 a 0.6.

La portata di base viene valutata con la relazione:

$$Q_b = (\gamma \cdot H \cdot N_q + c \cdot N_c) \cdot A_b$$

dove

- $c$  è la coesione;  
 $N_c$  varia tra 7.00 e 9.50;  
 $N_q$  varia tra 1 e 65 per pali trivellati e per pali infissi varia tra 1 e 355 in funzione dell'angolo  $\varphi$ .

### 3.3.2.3 – Teoria di Terzaghi

La portata di base e quella laterale del singolo palo vengono calcolate con le espressioni seguenti:

- **Portata di Base**

$$Q_b = \left( 1.2 \cdot c \cdot N_c + \sum_i (\gamma_i \cdot H_i) \cdot N_q + 0.3 \cdot g \cdot D_p \cdot N_\gamma \right) \cdot A_b$$

dove

- $A_b$  è l'area della superficie di base del palo;  
 $\sum_i (\gamma_i \cdot H_i)$  è la pressione efficace alla base del palo;

$N_c$ ,  $N_q$  ed  $N_\gamma$  sono i fattori di capacità portante in funzione dell'angolo  $\varphi$ .

- **Portata per attrito laterale**

$$Q_l = A_l \cdot f_s = (\alpha \cdot s_u) \cdot A_l$$

dove

- $A_l$  è l'area della superficie laterale del palo;
- $f_s$  è il valore medio a rottura dell'attrito e dell'aderenza per unità di superficie di contatto tra pareti laterali del palo e terreno;
- $\alpha$  è il coefficiente funzione del tipo di terreno e dalle modalità esecutive del palo, variabile da 0.45 a 0.52. Viene assunto sempre pari a 0.47;
- $s_u$  è la resistenza a taglio non drenata.

### 3.3.2.4 – Teoria di Lancellotta

La portata di base e quella laterale del singolo palo vengono calcolate con le seguenti espressioni:

- **Portata di Base**

Per terreni coerenti:

$$Q_b = (\sigma_{v0} + s_u \cdot N_c) \cdot A_b$$

per terreni incoerenti:

$$Q_b = (\sigma'_{v0} \cdot N_q) \cdot A_b$$

dove

- $A_b$  è l'area della superficie di base del palo;
- $\sigma_{v0}$ ,  $\sigma'_{v0}$  sono le tensione verticali totale ed effettiva agente alla quota raggiunta dalla punta del palo;
- $N_c$ ,  $N_q$  sono fattori di capacità portante.

- **Portata per attrito laterale**

per terreni coerenti:

$$Q_l = A_l \cdot f_s = (\alpha \cdot s_u) \cdot A_l$$

per terreni incoerenti:

$$Q_l = A_l \cdot f_s = (k \cdot \sigma'_{v0} \cdot \tan \varphi) \cdot A_l$$

dove

- $A_l$  è l'area della superficie laterale del palo;
- $f_s$  è il valore medio dell'aderenza palo;

- $\alpha$  è il coefficiente empirico dipendente dal tipo di terreno e dalle modalità esecutive del palo;  
 $s_u$  è la resistenza a taglio non drenata.  
 $K$  è il coefficiente riduttivo della tensione efficace. Si assume pari a 0.5.

### 3.4 – Elementi in Acciaio.

La verifica degli elementi in acciaio riguarda esclusivamente la restituzione dei coefficienti di sicurezza relativamente ai controlli effettuati.

#### 3.4.1 – Verifiche di resistenza.

Le verifiche di resistenza sono effettuate contemporaneamente per i momenti flettenti ed i tagli agenti nei piani X-Z ed X-Y del sistema di riferimento locale oltre che per il momento torcente.

Le sezioni di verifica sono state localizzate agli incastri, in mezzeria ed in altri due punti intermedi dell'elemento posti a passo costante.

In ogni sezione è stato valutato il valore massimo della tensione ideale derivante da tutte le combinazioni di carico e confrontato con la resistenza di progetto ( $f_d$ ).

#### 3.4.2 – Verifiche di stabilità globale.

La verifica di stabilità globale è effettuata per le sole aste soggette a compressione.

Se la sezione trasversale propria dell'elemento è uniformemente compressa deve risultare:

$$\frac{\sigma_c}{\sigma} < 1$$

dove

$\sigma_c = \frac{N_c}{\text{Area}}$  è la tensione corrispondente alla forza  $N_c$  che provoca l'inflessione laterale dell'asta nel piano considerato;

$\sigma = \frac{N}{\text{Area}}$  è la tensione assiale di compressione media nella sezione della membratura corrispondente al carico assiale  $N$  di progetto.

Le aste pressoinflesse soggette oltre che da un carico di compressione  $N$  anche da momenti flettenti  $M_{1,eq}$  ed  $M_{2,eq}$  agenti in due piani principali d'inerzia deve risultare:

$$\frac{\omega \cdot N}{A} + \frac{M_{1, eq}}{B} + \frac{M_{2, eq}}{C} < f_d$$

dove

$A$  è la superficie della sezione trasversale dell'elemento;

$$B = \psi_x \cdot W_x \cdot \left( 1 - \frac{N}{N_{cr,x}} \right)$$

$$C = \psi_y \cdot W_y \cdot \left( 1 - \frac{N}{N_{cr,y}} \right)$$

$\psi_x$  e  $\psi_y$  sono coefficienti di adattamento plastico;  
 $N_{cr,x}$  ed  $N_{cr,y}$  sono le forze corrispondenti alle tensioni critiche calcolate con le formule di Eulero per le snellezze relative ai due piani principali d'inerzia.  
 $M_{i,eq}$  è il momento flettente equivalente, nella direzione definita da i, calcolato secondo quanto riportato dalle istruzioni CNR-UNI 10011/86 al punto 7.4.1.1.

### 3.4.3 – Verifiche allo svergolamento

Le travi a doppio T laminate ed inflesse nel piano dell'anima si è verificato che:

$$\sigma = \frac{\omega_1 \cdot M_{eq}}{\psi_v \cdot W} < f_d$$

dove

$\omega_1$  è un coefficiente dimensionale maggiore o uguale all'unità calcolato come segue:

$$\omega_1 = \frac{1.4 \cdot f_v}{0.585 \cdot E} \cdot \frac{h \cdot L}{b \cdot t_f}$$

H è l'altezza della trave;

b è la larghezza delle ali;

$t_f$  è lo spessore delle ali;

L è la lunghezza di un campo di travi fra due ritegni torsionali successivi. Nel caso di mensole si assume per L il doppio dello sbalzo.

$M_{eq}$  è il momento flettente equivalente funzione del valore del momento medio e massimo nel campo di trave considerato.

Per l'applicabilità del procedimento citato viene controllato che risulti:

$$\frac{B}{t_f} \leq 20$$

$$\frac{h}{b} \leq 4$$

$$\frac{t_w}{t_f} \leq 0.5$$

oppure in alternativa:

$$\frac{B}{t_f} \leq 20$$

$$\frac{h}{b} \leq 3$$

$$\frac{t_w}{t_f} \leq 0.3$$

### 3.5 – Elementi in Legno

Gli elementi in legno vengono verificate agli stati limite secondo le indicazioni delle NTC 2018 e secondo gli UNI ENV 1995 (EC5). La verifica degli elementi in legno riguarda esclusivamente la restituzione dei coefficienti di sicurezza relativamente ai controlli effettuati.

Come indicato dalla citata normativa, le verifiche eseguite sono le seguenti:

- **Tensoflessione;**
- **Pressoflessione;**
- **Taglio;**
- **Torsione;**
- **Stabilità;**
- **Svergolamento.**

#### 3.5.1 – Verifica a Tensoflessione

La verifica viene effettuata su elementi strutturali soggetti a flessione in presenza di uno sforzo assiale di trazione sulle fibre longitudinali dell'elemento. Affinché la verifica restituiscia esito positivo devono essere verificate contemporaneamente le seguenti condizioni:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

dove

$\sigma_{t,0,d}$  è la tensione di trazione parallela alla fibratura;

$\sigma_{m,y,d}$  è la tensione di flessione intorno all'asse y;

$\sigma_{m,z,d}$  è la tensione di flessione intorno all'asse z;

$f_{t,0,d}$  è la tensione di calcolo a trazione parallela alla fibratura;

$f_{m,d}$  è la tensione limite di calcolo per flessione;

$$k_m = \begin{cases} 1.0 & \text{per sezioni rettangolare} \\ 0.7 & \text{per altre sezioni} \end{cases}$$

Tale verifica è relativa agli stati limite ultimi.

#### 3.5.2 – Verifica a Pressoflessione

La verifica viene effettuata su elementi strutturali soggetti a flessione in presenza di uno sforzo assiale di compressione sulle fibre longitudinali dell'elemento. Affinché la verifica restituiscia esito positivo devono essere verificate contemporaneamente le seguenti condizioni:

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

dove

- $\sigma_{c,0,d}$  è la tensione di compressione parallela alla fibratura;
- $\sigma_{m,y,d}$  è la tensione di flessione intorno all'asse y;
- $\sigma_{m,z,d}$  è la tensione di flessione intorno all'asse z;
- $f_{m,d}$  è la tensione di calcolo a compressione parallela alla fibratura;

$$k_m = \begin{cases} 1.0 & \text{per sezioni rettangolari} \\ 0.7 & \text{per altre sezioni} \end{cases}$$

Tale verifica è relativa agli stati limite ultimi.

### 3.5.3 – Verifica a Taglio

La verifica viene effettuata su elementi strutturali soggetti a taglio nelle due direzioni principali. La verifica può essere eseguita anche in presenza di uno solo dei due tagli. Affinché la verifica restituiscia esito positivo devono essere verificate contemporaneamente le seguenti condizioni:

$$\tau_{y,d} \leq f_{v,d}$$

$$\tau_{z,d} \leq f_{v,d}$$

dove

- $\tau_{y,d}$  è la tensione tangenziale dovuta all'azione tagliente parallela all'asse y;
- $\tau_{z,d}$  è la tensione tangenziale dovuta all'azione tagliente parallela all'asse z;
- $f_{v,d}$  è la tensione tangenziale limite all'azione tagliente.

Tale verifica è relativa agli stati limite ultimi.

### 3.5.4 – Verifica a Torsione.

Affinché la verifica restituiscia esito positivo devono essere verificate contemporaneamente la seguente condizione:

$$\tau_{tor,d} \leq f_{v,d}$$

dove

- $\tau_{tor,d}$  è la tensione tangenziale dovuta all'azione torcente;
- $f_{v,d}$  è la tensione tangenziale limite all'azione torcente.

Tale verifica è relativa agli stati limite ultimi.

### 3.5.5 – Verifica di Stabilità.

La verifica viene effettuata su elementi strutturali soggetti a flessione in presenza di uno sforzo assiale di compressione sulle fibre longitudinali dell'elemento. Affinché la verifica restituiscia esito positivo devono essere verificate contemporaneamente le seguenti condizioni:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

La verifica a stabilità differisce da quella a pressoflessione dalla presenza dei coefficienti  $k$  relativi alla snellezza dell'elemento analizzato. Le relazioni che descrivono i coefficienti sono le seguenti:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

dove

$$k_z = 0.5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.5)] + \lambda_{rel,z}^2$$

$$k_y = 0.5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.5)] + \lambda_{rel,y}^2$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0.05}}{\lambda_z^2}$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0.05}}{\lambda_y^2}$$

$$\lambda_z = \frac{l_0}{\rho_z}$$

$$\lambda_y = \frac{l_0}{\rho_y}$$

$$\rho_z = \sqrt{\frac{l_z}{A}}$$

$$\rho_y = \sqrt{\frac{l_y}{A}}$$

$l_0$  è la lunghezza libera di inflessione;

$l_z$  è il momento di inerzia della sezione intorno all'asse z;

$l_y$  è il momento di inerzia della sezione intorno all'asse y;

A è l'area della sezione;

$E_{0.05}$  è il modulo elastico corrispondente al frattile del 5%.

Tale verifica è relativa agli stati limite ultimi.

### 3.5.6 – Verifica a Svergolamento

La verifica viene effettuata su elementi strutturali soggetti a flessione in presenza di uno sforzo assiale di compressione sulle fibre longitudinali dell'elemento. Affinché la verifica restituiscia esito positivo devono essere verificate contemporaneamente le seguenti condizioni:

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,z,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

dove

$\sigma_{m,y,d}$  è la tensione a flessione intorno all'asse y;

$\sigma_{m,z,d}$  è la tensione a flessione intorno all'asse z;

$f_{m,d}$  è la tensione limite di calcolo per flessione;

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \lambda_{rel,m} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m} & 0.75 < \lambda_{rel,m} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \lambda_{rel,m} > 1.4 \end{cases}$$

Tale verifica è relativa agli stati limite ultimi.

## 3.6 – Elementi in Muratura armata.

Su ogni elemento strutturale vengono effettuate: la verifica a pressoflessione nel piano, la verifica a pressoflessione fuori piano, la verifica a taglio ed il controllo delle percentuali minime e massime di armatura previste dalle normative.

### 3.6.1 – Verifica a presso-flessione nel piano e fuori piano

Per queste due verifiche si applicano le tradizionali tecniche (previste dalle normative) sulla pressoflessione agli stati limite degli elementi in cemento armato, utilizzando come deformazione massima per l'acciaio  $\epsilon_s = 0.01$  e per la muratura  $\epsilon_m = 0.0035$ . Come resistenze si considerano le tensioni di calcolo dei materiali.

### 3.6.2 – Verifica a taglio

La verifica a taglio si ritiene soddisfatta quando si realizzano le seguenti condizioni:

$$V_s \leq V_t = V_{t,M} + V_{t,S}$$

$$V_s \leq V_{t,C} = 0.3 \cdot f_d \cdot t \cdot d$$

dove

$V_s$  è il taglio sollecitante;

$V_{t,M} = d \cdot t \cdot f_{vd}$  è la resistenza a taglio della muratura;

$V_{t,S} = \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}}{s}$  è la resistenza a taglio delle armature orizzontali;

$d$  è la distanza tra il lembo tesio ed il baricentro delle armature compresse;

$t$  è lo spessore della muratura;

$f_{vd}$  è la resistenza di calcolo tangenziale della muratura;  
 $f_{yd}$  è la resistenza di calcolo delle armature;  
 $f_d$  è la resistenza di calcolo a compressione della muratura;  
 $A_{sw}$  è l'area di armatura disposta in ogni ricorso;  
 $s$  è la distanza tra due file di armature orizzontali.

### 3.6.3 – Verifica delle armature minime previste dalle normative.

Il calcolo restituisce la quantità di armatura necessaria ai fini della verifica. Determinate le quantità di armature necessarie per le verifiche sopra descritte, il programma provvede (se necessario) ad incrementare le armature per soddisfare i minimi di normativa. Qualora non si riesce a soddisfare tutte le condizioni richieste dalla normativa, il programma provvede a segnalare l'esito negativo della verifica. Le quantità minime di armatura da prendere in considerazione sono quelle riportate nelle normative o quelle definite dall'utente (l'utente può scegliere di impostare l'armatura minima in modo che sia molto maggiore di quelle definite dalle suddette normative).

La suddette verifiche possono essere effettuate anche tenendo conto della gerarchia delle resistenze.

## **Capitolo 4**

### **Consolidamenti per edifici in muratura**

#### **4.1 – Introduzione**

In questa sezione vengono descritti le tipologie di consolidamento che si possono utilizzare all'interno del software VEM<sub>NL</sub>:

- **Cuci-Scuci**
- **Intonaco armato**
- **Pareti c.a.**
- **Iniezioni di malta**
- **Diatoni artificiali**
- **Telaio acciaio**
- **Cerchiature**
- **Tiranti Metallici**
- **Cuciture di lesioni con reti FRP**
- **Intonaco armato con reti FRP**
- **Cerchiature esterne con fasce FRP**
- **Rinforzo a flessione e taglio nel piano e fuori piano con fasce FRP**
- **Sistema CAM**
- **Tiranti su volte**
- **Tiranti Su archi**
- **Cemento armato**

#### **4.2 – Cuci-Scuci**

L'obiettivo di questa tipologia di consolidamento è quella di ripristinare la continuità di un muro in prossimità delle lesioni. La muratura in corrispondenza della lesione viene sostituita con una di nuova costruzione avente pressoché le stesse caratteristiche meccaniche della muratura esistente.

Negli elaborati grafici forniti dal software la superficie di muratura sostituita è indicativa.

#### **4.3 – Intonaco armato**

Il consolidamento consiste nel realizzare due lastre di materiale cementizio aderenti alla parete in muratura da sanare, armate con una rete metallica e resi solidali da tiranti di acciaio (connettori trasversali) passanti attraverso la muratura. Per essere efficaci i connettori trasversali devono essere ancorati alle reti eletrosaldate. La miscela con la quale vengono realizzate le lastre possono essere di tre tipi:

- Guinite: mescola di sabbia e cemento con rapporto 4:1 diluita con acqua fino a raggiungere una buona fluidità.
- Intonaco di malta cementizia con alto contenuto di cemento (betoncino).
- Conglomerato cementizio (generalmente si utilizza quando si interviene da un solo lato della parete).

Generalmente nelle miscele si utilizzano prodotti antiritiro o espansivi per evitare fessurazioni indesiderate.

Le operazioni di consolidamento dovrebbero avvenire quanto più possibile in modo simmetrico in pianta in modo da non indurre effetti torsionali. L'intonaco armato altera notevolmente la distribuzione delle rigidezze dell'intero edificio. Quando si esegue questo tipo di consolidamento è opportuno partire dai piani più bassi in modo da creare una continuità fino in fondazione.

La procedura di esecuzione si articola nelle seguenti fasi:

- 1) Preparazione della parete:** asportazione dell'intonaco, spazzolatura e lavaggio della muratura con getto di aria o acqua a bassa pressione e stuccatura con malta cementizia a presa rapida di fessure e vuoti macroscopici.
- 2) Perforazioni:** realizzazione dei fori trasversali alla parete per l'alloggiamento delle barre di armatura. Tali fori devono essere distribuiti in modo uniforme su tutta la parete e devono essere leggermente inclinati in modo da agevolare il successivo riempimento con malta cementizia. Generalmente sono richieste 4÷6 perforazioni per metro quadro con diametro di circa 40 mm
- 3) Inserimento dei connettori trasversali:** Si utilizzano tondini per c.a. ad aderenza migliorata con diametro 6÷8 mm. Una volta collocate le barre è opportuno sigillarle con iniezioni di malta.
- 4) Posizionamento delle armature:** In genere si utilizzano delle reti elettrosaldate con barre del diametri di 4÷8 mm e con maglia 15x15 oppure 20x20 cm. È buona norma svoltare la rete di almeno 50÷100 cm in corrispondenza delle intersezioni con le murature ortogonali o in corrispondenza di porte o finestre.
- 5) Esecuzione delle lastre:** L'ultima fase dell'intervento è quello della posa in opera delle lastre di miscela legante che possono essere realizzate con le miscele viste sopra.

#### Considerazioni numeriche:

Per il calcolo di pareti consolidate con intonaco armato si ricorre alle sperimentazioni effettuate da alcuni enti universitari. I parametri che entrano in gioco sono:

*Spessore delle lastre:* Incrementando lo spessore delle lastre in calcestruzzo, si può verificare che la resistenza della parete diminuisca. Da sperimentazioni fatte (Università di Padova), si è constatato che il massimo incremento di resistenza della parete si raggiunge quando lo spessore delle lastre è di 3 cm. Può anche capitare che spessori maggiori migliorano il comportamento globale della struttura in quanto si ha un incremento dello spessore resistente della parete (anche se diminuisce la resistenza).

*Numero di connettori trasversali:* Incrementando il numero delle barre, la resistenza della parete aumenta. La massima resistenza si raggiunge quando sono presenti 4 barre di armatura per metro quadro. Un maggiore numero di barre non da alcun contributo di miglioramento alla resistenza. Se si utilizza un numero di barre minore di 4, la resistenza della parete diminuisce. Il numero minimo previsto è di 2 barre per metro quadro.

*Diametro dei connettori trasversali:* Incrementando il diametro delle barre, aumenta la resistenza della parete. La massima resistenza si raggiunge quando il diametro delle barre è 8 mm. Un diametro maggiore non da alcun contributo di miglioramento alla resistenza. Se si utilizza un diametro minore, la resistenza della parete diminuisce. Il diametro minimo previsto è di 6 mm.

*Maglia della rete elettrosaldata:* Diminuendo la maglia della rete elettrosaldata, aumenta la resistenza della parete. La massima resistenza si raggiunge quando la maglia è di 15 cm. Una maglia minore non da alcun contributo di miglioramento alla resistenza. Se si utilizza un maglia maggiore, la resistenza della parete diminuisce. La minima resistenza si raggiunge per reti con maglia 30 cm.

*Diametro della rete elettrosaldata:* Incrementando il diametro della rete, aumenta la resistenza della parete. La massima resistenza si raggiunge quando il diametro della rete è 8 mm. Un diametro maggiore non da alcun contributo di miglioramento alla resistenza. Se si utilizza un diametro minore, la resistenza della parete diminuisce. Il diametro minimo previsto è di 6 mm.

#### 4.4 – Pareti c.a.

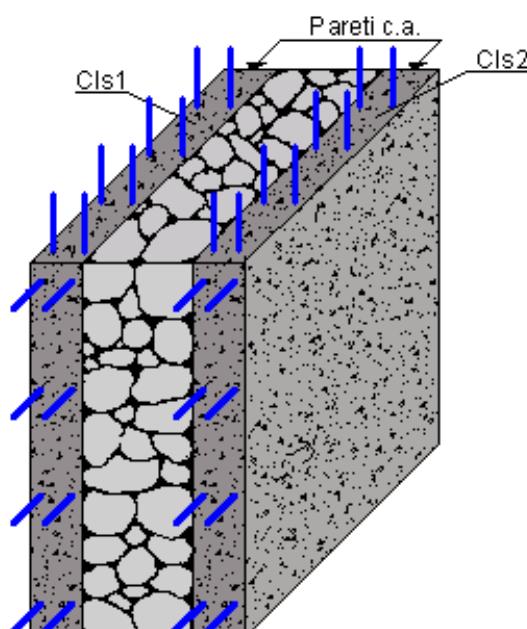
Il consolidamento consiste nel realizzare una o due pareti in cemento armato aderenti alla parete in muratura da consolidare. Per essere efficace il consolidamento, i connettori trasversali devono essere ancorati alle pareti in cls. Le operazioni di consolidamento dovrebbero avvenire quanto più possibile in modo simmetrico in pianta in modo da non indurre effetti torsionali. Le pareti in c.a. altera notevolmente la distribuzione delle rigidezze dell'intero edificio. Quando si esegue questo tipo di consolidamento è opportuno partire dai piani più bassi in modo da creare una continuità fino in fondazione.

La procedura di esecuzione si articola nelle seguenti fasi:

- 1) **Preparazione della parete:** asportazione dell'intonaco, spazzolatura e lavaggio della muratura con getto di aria o acqua a bassa pressione e stuccatura con malta cementizia a presa rapida di fessure e vuoti macroscopici.
- 2) **Perforazioni:** realizzazione dei fori trasversali alla parete per l'alloggiamento delle barre di armatura. Tali fori devono essere distribuiti in modo uniforme su tutta la parete e devono essere leggermente inclinati in modo da agevolare il successivo riempimento con malta cementizia. Generalmente sono richieste 4÷6 perforazioni per metro quadro con diametro di circa 40 mm
- 3) **Inserimento dei tiranti:** Si utilizzano tondini per c.a. ad aderenza migliorata con diametro 6÷8 mm. Una volta collocate le barre è opportuno sigillarle con iniezioni di malta.
- 4) **Posizionamento delle armature:** In genere si utilizzano delle ferri del diametri di 8÷12 mm per i verticali e ferri con diametri di 8÷10 mm per gli orizzontali.
- 5) **Preparazione delle casseforme:** Preparazione dei casseri per consentire il getto di calcestruzzo.
- 6) **Esecuzione delle pareti:** L'ultima fase dell'intervento è quello della posa in opera delle pareti di calcestruzzo.

#### Considerazioni numeriche:

La parete in muratura consolidata affiancando pareti in cemento armato viene modellata considerando un comportamento meccanico equivalente tra muratura e c.a.



Le grandezze meccaniche calcolate vengono ulteriormente moltiplicate per dei coefficienti riduttivi per tenere conto delle altre condizioni che possono influenzare il calcolo quali:

- Numero di connettori trasversali
- Diametro dei connettori trasversali
- Area di armatura verticale
- Area di armatura orizzontale

Le caratteristiche meccaniche si ottengono dalle seguenti relazioni di equivalenza:

$$E_{eq} = \frac{E_c \cdot I_1 + E_m \cdot I_m + E_c \cdot I_2}{I_1 + I_m + I_2}$$

$$G_{eq} = \frac{G_c \cdot A_1 + G_m \cdot A_m + G_c \cdot A_2}{A_1 + A_m + A_2}$$

$$f_{eq} = \frac{f_c \cdot A_1 + f_m \cdot A_m + f_c \cdot A_2}{A_1 + A_m + A_2}$$

dove

- $E_{eq}$  è il modulo elastico normale della parete consolidata
- $G_{eq}$  è il modulo elastico tangenziale della parete consolidata
- $f_{eq}$  è la tensione normale della parete consolidata
- $E_c$  è il modulo elastico normale della parete in cls
- $E_m$  è il modulo elastico normale della parete in muratura
- $I_1$  è il momento d'inerzia della parete cls1
- $I_2$  è il momento d'inerzia della parete cls2
- $I_m$  è il momento d'inerzia della parete in muratura
- $G_c$  è il modulo elastico tangenziale della parete in cls
- $G_m$  è il modulo elastico tangenziale della parete in muratura
- $A_1$  è l'area della sezione trasversale della parete cls1
- $A_2$  è l'area della sezione trasversale della parete cls2
- $A_m$  è l'area della sezione trasversale della parete in muratura
- $f_{cd}$  è la tensione normale della parete cls1
- $f_m$  è la tensione normale della parete in muratura

*Numero di connettori trasversali:* Incrementando il numero dei connettori, la resistenza della parete aumenta. La massima resistenza si raggiunge quando sono presenti 6 barre di armatura per metro quadro. Un maggiore numero di connettori non da alcun contributo di miglioramento alla resistenza. Se si utilizza un numero di connettori minore di 6, la resistenza della parete diminuisce. Il numero minimo previsto è di 2 connettori per metro quadro.

*Diametro dei connettori trasversali:* Incrementando il diametro delle connettori, aumenta la resistenza della parete. La massima resistenza si raggiunge quando il diametro è 12 mm. Un diametro maggiore non da alcun contributo di miglioramento alla resistenza. Se si utilizza un diametro minore, la resistenza della parete diminuisce. Il diametro minimo previsto è di 6 mm.

*Area di armatura verticale ed orizzontale:* La resistenza della parete equivalente è legata alla quantità di armatura con la quale vengono armate le pareti.

## 4.5 – Iniezioni di malta

Questa tecnica di consolidamento è adatta per le murature che presentano delle lesioni diffuse e per murature in pietra che generalmente sono dotate di grandi percentuali di vuoti interni. In effetti per

poter applicare questa tecnica di consolidamento ci deve essere la possibilità fisica di far penetrare all'interno del corpo murario le miscele leganti.

È un metodo di consolidamento definito **passivo** in quanto non richiede operazioni tali da alterare l'equilibrio o l'aspetto esteriore della struttura. Questa tecnica è molto utilizzata negli edifici con particolare interesse storico-monumentale ed ha lo scopo di migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura.

Le miscele sono costituite da acqua e leganti inorganici (calci e cementi) o da miscele organiche (resine). La scelta dei materiali utilizzati comporta delle differenze in termini di resistenza e rigidezza e dipende dalla muratura e malta esistente.

Per essere efficace il consolidamento, le miscele devono essere sufficientemente fruibili in modo da riempire tutti i vuoti presenti nella muratura. I materiali utilizzati devono avere una granulometria fine e non presentare alta viscosità allo stato fluido. Generalmente si fa anche uso di particolari additivi in modo da garantire la giusta fruibilità. Il ritiro deve essere assente o limitato. Le caratteristiche chimiche dei materiali devono rimanere stabili nel tempo, ed è opportuno inoltre che non si instaurino forti legami chimici con i materiali esistenti.

Le miscele attualmente utilizzate per il consolidamento sono divise in due categorie principali:

- Miscele inorganiche (calce e cemento).
- Miscele a base di resine sintetiche.

### Miscele inorganiche

Questo tipo di miscele sono generalmente costituite dai comuni leganti che generalmente si trovano in edilizia, quali cemento e calce. Oltre a questi materiali, nella miscela si inseriscono additivi e cariche per ridurre i difetti della miscela stessa.

Generalmente vengono impiegate quando i fori e le lesioni sono abbastanza ampie. Quando è richiesto un incremento di resistenza si utilizzano miscele a base di cemento, mentre quando non si richiedono elevate resistenze o quando le miscele a base di cemento non sono compatibili con la muratura esistente si fa ricorso alle miscele a base di calce.

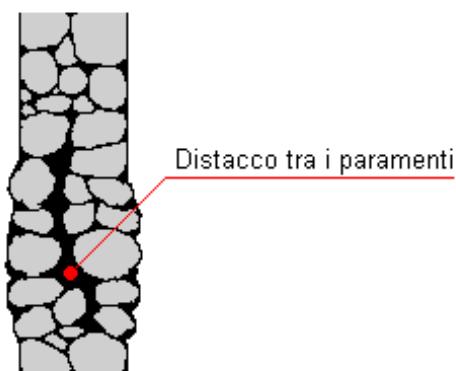
### Miscele a base di resine

Questo tipo di miscele possono essere a base organica con le quali si ottengono resistenze finali maggiori e tempi di presa più rapidi o neoplastiche ed hanno elevate proprietà antiritiro.

## 4.6 – Diatoni artificiali

Questa tecnica di consolidamento si utilizza quando si verificano distacchi tra i paramenti di una parete:

### Parete non consolidata

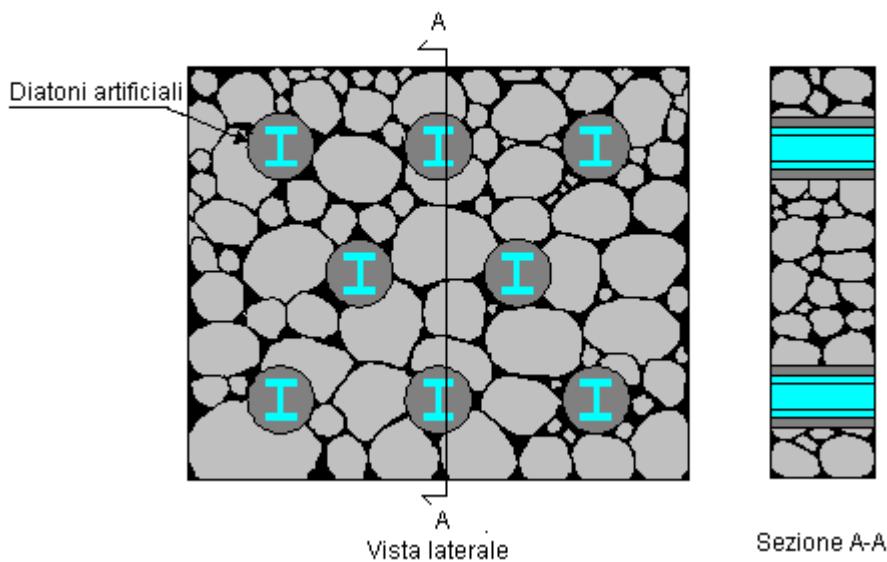


Generalmente i diatoni artificiali sono costituiti da cilindri in cemento del diametro di circa 15 cm con armatura metallica all'interno che attraversa tutto lo spessore del muro. Tale armatura può essere costituita da un profilo metallico o da semplice armatura per cemento armato.

L'obiettivo di questa tipologia di consolidamento è quella di tenere uniti i paramenti di un muro che tendono a distaccarsi (vedi fig. precedente). Il miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura varia dal 20 al 50 % a seconda della tipologia di muratura.

L'interasse ottimale per tra i diatoni è di circa un metro. Interassi minori rischiano di indebolire la parete, mentre interassi maggiori rischiano di rendere inutile il consolidamento.

### Parete consolidata



### 4.7 – Telai metallici

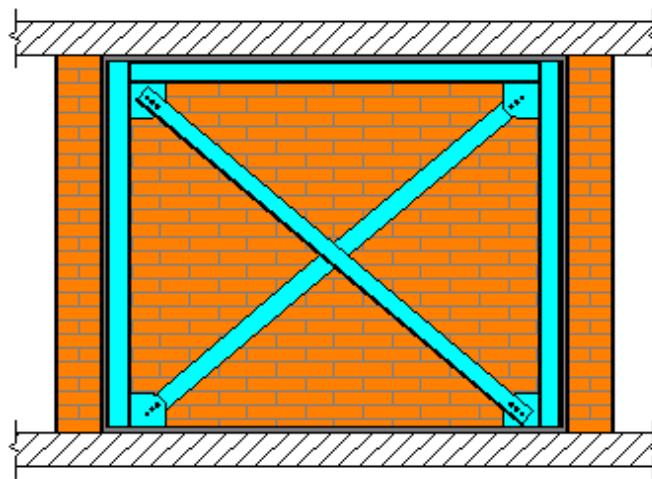
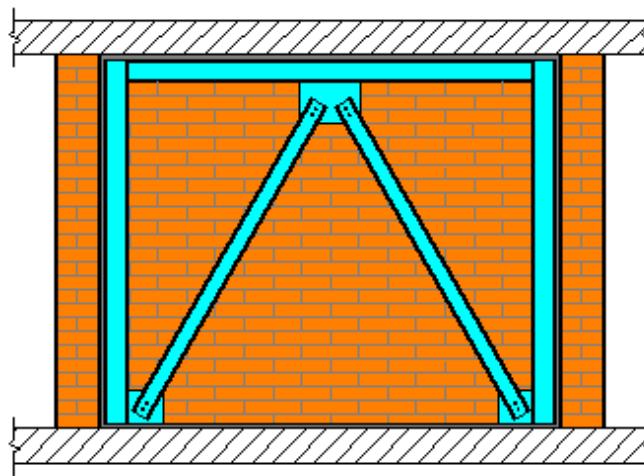
Nel consolidamento di edifici in muratura è usuale ricorrere a telai metallici controventati per rinforzare la struttura nei confronti del sisma.

Utilizzando tale tipologia di consolidamento si possono avere i seguenti vantaggi:

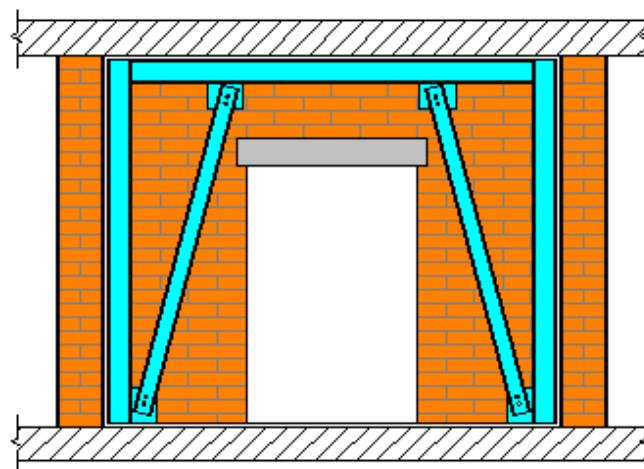
- Semplicità di esecuzione, sia in officina che durante l'assemblaggio in sito.
- Leggerezza della struttura
- In particolari contesti gradevole da vedere
- Reversibilità dell'intervento

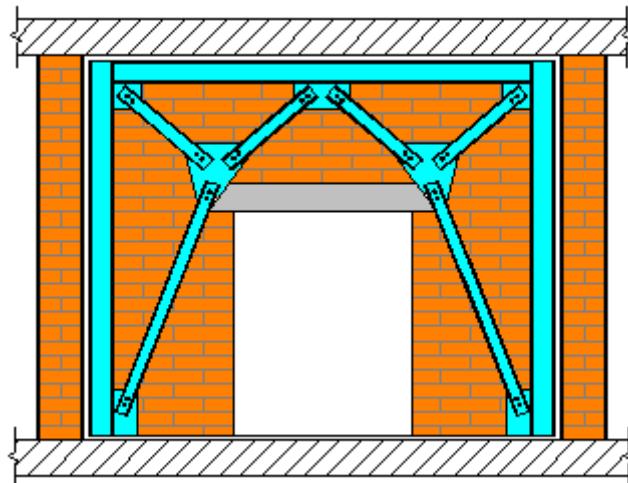
I telai vengono affiancati alle pareti da consolidare e possono essere singoli (da un solo lato della parete) o accoppiati (da entrambi i lati della parete). La resistenza a sisma dei telai è affidata ai controventi per cui alcune delle tipologie proposte sono più efficaci di altri.

Le tipologie più efficaci alla resistenza sismica sono le seguenti:

**Tipologia 1****Tipologia 2**

mentre sono meno usate le tipologie seguenti in quanto la disposizione dei controventi non è adatta ad assorbire l'azione sismica. Queste tipologie si utilizzano quando per la presenza di aperture non è possibile utilizzare i precedenti casi (Tipologia 1 e Tipologia 2):

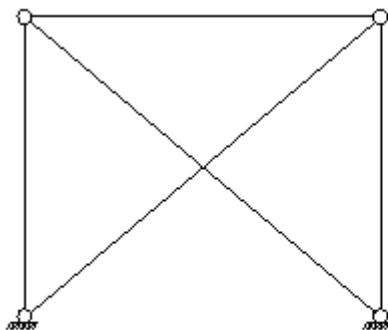
**Tipologia 3**

**Tipologia 4**

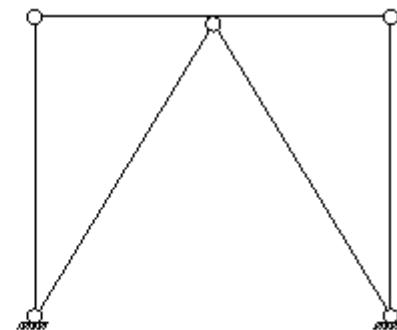
### Considerazioni teoriche

I telai metallici vengono considerati nel calcolo come elementi indipendenti e non collegate ai muri sui quali affiancati. Nella calcolo statico non lineare (pushover) i telai danno il loro contributo di resistenza fino al raggiungimento del limite elastico. Superato tale limite al telaio non si attribuisce più alcuna resistenza aggiuntiva (il limite del telaio si raggiunge quando viene raggiunto la resistenza limite o la stabilità limite).

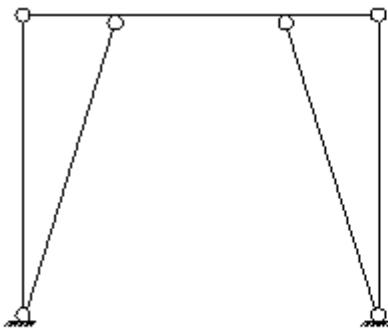
Lo schema statico utilizzato per le quattro tipologie del solaio viene riportato nella figura seguente:



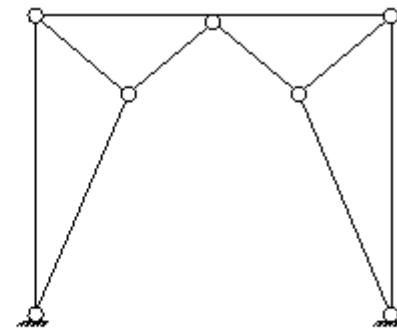
Tipologia 1



Tipologia 2



Tipologia 3



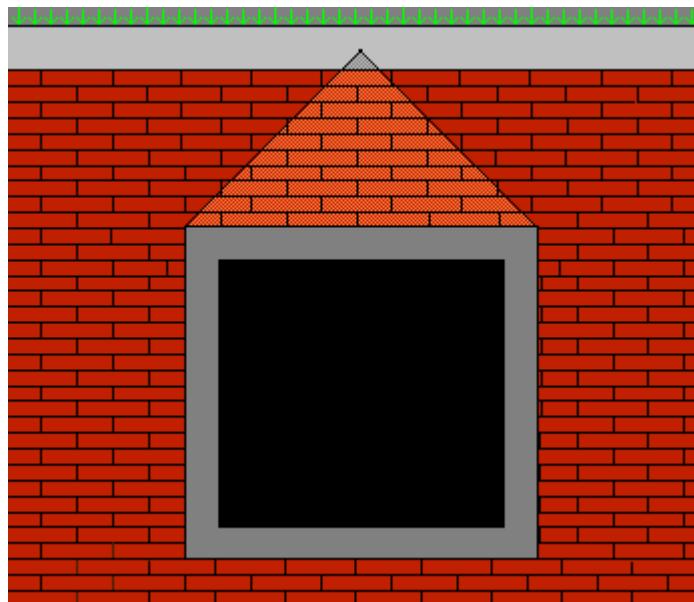
Tipologia 4

I controventi sono collegati alle altre aste con vincolo cerniera. I Nodi devono essere dimensionati in modo tale da assorbire lo sforzo normale limite che porta alla crisi il telaio.

## 4.8 – Cerchiature

### Carico indotto da carichi verticali

Il carico derivante dal cordolo viene “conguagliato” sull’architrave in proporzione all’intersezione del cordolo con il triangolo di spinta, in modo da considerare l’effettiva presenza dei carichi sull’effetto arco che si genera sulla cerchiatura.



### Schemi di calcolo

Per le cerchiature verranno considerati oltre i carichi verticali, anche i carichi sismici. La combinazione di verifica sarà calcolata simmetricamente nelle due direzioni del sisma. Il sisma può essere modellato sia tramite una forza orizzontale, che come spostamento assegnato.

### Verifica Cerchiature

Per questi elementi, nel caso si effettui il controllo della rigidezza elastica, vengono effettuate le seguenti verifiche:

- Verifica a taglio (nelle sezioni critiche delle colonne e dei traversi);
- Verifica a flessione (nelle sezioni critiche delle colonne e dei traversi);
- Verifica di rigidezza traverso/colonna;
- Verifica di rigidezza telaio/parte di muratura asportata.

Il rapporto tra la rigidezza traverso/colonna viene calcolata come:

- Presenza traverso inferiore:

$$rapp = \frac{E \cdot I_{Trav}}{E \cdot I_{Col}} \cdot \frac{(H_{Foro} - 2 \cdot H_{Trav})}{(L_{Foro} - 2 \cdot H_{Col})}$$

- Assenza traverso inferiore:

$$rapp = \frac{E \cdot I_{Trav}}{E \cdot I_{Col}} \cdot \frac{\left( H_{Foro} - H_{Trav} \right)}{\left( L_{Foro} - 2 \cdot H_{Col} \right)}$$

Se si utilizza il modello di rigidezza a flessione e taglio (tipo Timoshenko), la rigidezza della parte in muratura viene calcolata come:

$$K_m = \frac{12 \cdot E \cdot I_{P.Foro}}{H_{P.Foro}^3} + \frac{G \cdot A_{P.Foro}}{1.2 \cdot H_{P.Foro}}$$

Nel caso in cui si usi il modello solo con rigidezza a taglio, verranno utilizzate le seguenti formule:

- Per orizzontamenti rigidi:

$$K_m = \frac{G \cdot spes \cdot \left( \frac{L_{P.Foro}}{H_{P.Foro}} \right)}{\frac{6}{5} + \frac{1}{6} \left( \frac{H_{P.Foro}}{L_{P.Foro}} \right)^2}$$

- Per orizzontamenti flessibili:

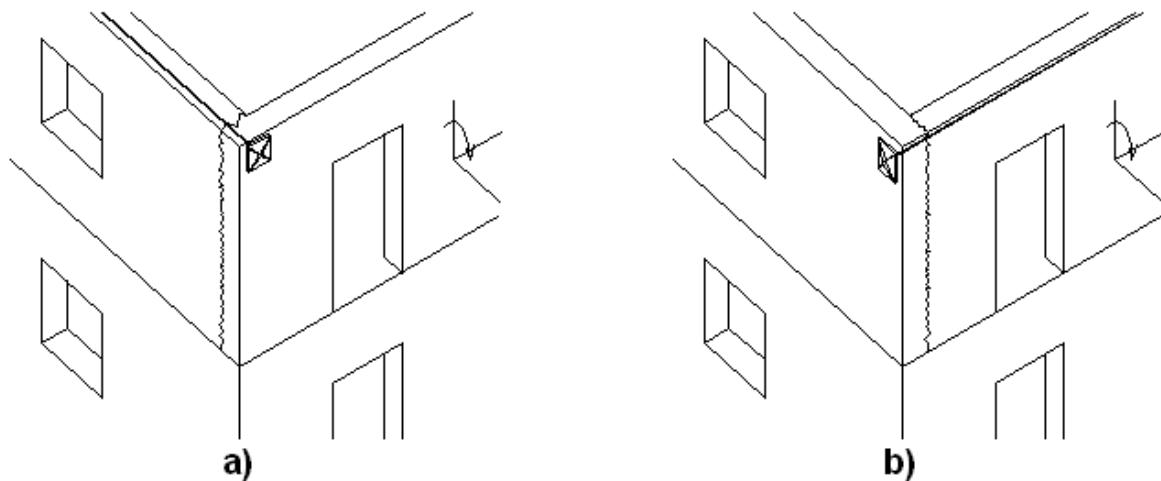
$$K_m = \frac{G \cdot spes \cdot \left( \frac{L_{P.Foro}}{H_{P.Foro}} \right)}{\frac{6}{5} + \frac{2}{3} \left( \frac{H_{P.Foro}}{L_{P.Foro}} \right)^2}$$

Nel caso di orizzontamenti flessibili non sarà condizione obbligatoria rispettare la verifica di rigidezza traverso/colonna. Il software gestisce automaticamente i due casi.

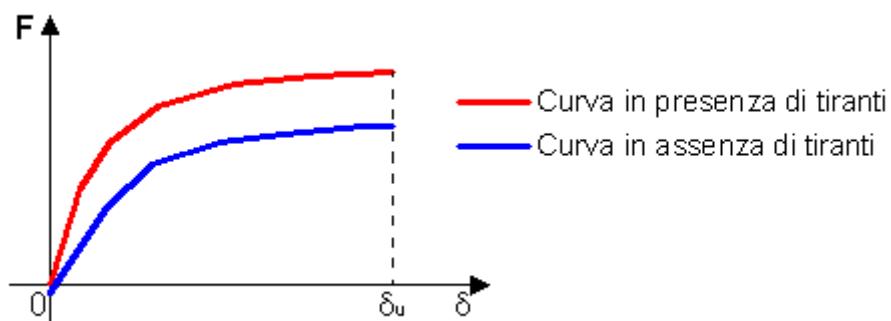
## 4.9 – Tiranti metallici

I tiranti metallici rappresentano una tecnica di consolidamento più antica e di indubbia efficacia per gli edifici in muratura. Generalmente sono costituiti da cavi circolari in acciaio con capochiave agli estremi.

I vantaggi forniti dai tiranti sono molteplici. Consentono di aumentare il grado di vincolo tra pareti ortogonali, riducendo la possibilità di meccanismi locali fuori dal piano (vedi "a" della successiva figura). Se si applica una pretensione forniscono un aumento di resistenza a taglio tra due pareti ortogonali (vedi "b" della successiva figura).



Consentono di aumentare la resistenza nel piano della parete in quanto forniscono una resistenza a trazione alle fasce di piano. Nella figura successiva viene evidenziato come la presenza di tiranti fa aumentare la resistenza della struttura: la curva di capacità registra una forza alla base superiore rispetto al caso in cui non si hanno tiranti.



Nel calcolo strutturale, il software calcola il tiro del tirante assumendo il valore minimo tra la resistenza a trazione del cavo e la resistenza a taglio o attrito della muratura in prossimità del capochiave.

La resistenza a trazione del tirante è data da:

$$T_1 = n \cdot f_{yd} \cdot A_s$$

dove

- $n$  è il numero di tiranti inseriti nello stesso muro (uno o due);
- $f_{yd}$  è la resistenza a trazione del tirante;
- $A_s$  è l'area della sezione trasversale del tirante;

Per il calcolo della resistenza del muro in prossimità del capochiave occorre distinguere il caso di capochiave circolare e rettangolare. Nel primo caso si ha:

$$T_2 = \pi \cdot f_{vd0} (t + 2 \cdot R) \cdot t \quad (\text{Resistenza per coesione})$$

$$T_3 = 2 \cdot f \cdot \sigma_0 \cdot t \cdot (t + 2 \cdot R) \quad (\text{Resistenza per attriti})$$

dove

- $f_{vd0}$  è la resistenza a taglio in assenza di carichi verticali della muratura;
- $t$  è lo spessore della parete;
- $R$  è il raggio del capochiave;
- $f$  è il coefficiente di attrito assunto pari a 0.75;
- $\sigma_0$  è la tensione normale media esercitata dai carichi verticali in prossimità della posizione del tirante;

Nel caso di capochiave rettangolare si ha:

$$T_2 = 2 \cdot f_{vd0} \cdot t \cdot (a + b + 2 \cdot t) \quad (\text{Resistenza per coesione})$$

$$T_3 = 2 \cdot f \cdot \sigma_0 \cdot t \cdot (a + t) \quad (\text{Resistenza per attrito})$$

dove

- “a” è la base del capochiave rettangolare;
- “b” è l’altezza del capochiave rettangolare;

Il massimo sforzo di trazione che il tirante riesce ad offrire è dato dalla seguente:

$$T = \min(T_1, T_2, T_3)$$

#### 4.10 – Rinforzi con FRP

Nel software VEM<sub>NL</sub> è possibile consolidare utilizzando FRP. Il calcolo è stato sviluppato nel pieno rispetto delle norme CNR-DT 200/2004.

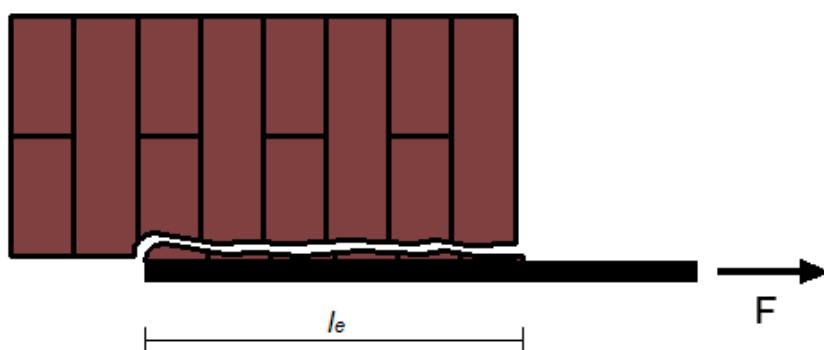
I rinforzi consistono nell’applicazione di reti o fasce FRP sugli elementi strutturali in muratura per adesione o mediante dispositivi d’ancoraggio.

I rinforzi con FRP sono adatti per trasmissione di forze di trazione negli elementi in muratura (gli FRP non sono in grado di trasmettere compressione). Inoltre, prima di applicare il rinforzo FRP, è necessario che il supporto (muratura) sia integro (privo di lesioni o altri danneggiamenti). In caso contrario, è opportuno preconsolidare la muratura con tecniche tradizionali.

##### 4.10.1 – Resistenza alla delaminazione

L’efficacia di un consolidamento con materiale composito dipende essenzialmente, dalla resistenza del composito, del supporto (nel nostro caso muratura) e dell’interfaccia. In quest’ultimo caso si ha il distacco del rinforzo dal supporto con la conseguente perdita di efficacia del rinforzo. Questo tipo di crisi si chiama delaminazione.

È da precisare che nella maggioranza dei casi di rottura per delaminazione, il distacco non avviene per il cedimento dell’adesivo che li collega, ma per il cedimento dello strato di muratura adiacente allo strato di adesivo.



Si definisce  $l_e$  la lunghezza ottimale di ancoraggio del rinforzo. Per valori di  $l$  minori di  $l_e$  la forza  $F$  che provoca il distacco è inferiore a quella che si ottiene nel caso della lunghezza  $l_e$ . Mentre per valori di  $l$  maggiori di  $l_e$  la forza  $F$  che provoca il distacco è uguale a quella che si ottiene nel caso  $l_e$ . Per cui lunghezze di ancoraggio maggiori di  $l_e$  non fanno aumentare la forza massima che il rinforzo riesce a sopportare. La lunghezza di ancoraggio  $l_e$  si ottiene dalla seguente relazione (punto 5.3.2 delle norme CNR-DT 200/2004):

$$l_e = \sqrt{\frac{E_f \cdot t_f}{2 \cdot f_{mtm}}} \quad (\text{lunghezze espresse in mm})$$

dove

$E_f$  è il modulo di elasticità del composito fibrorinforzato nella direzione della forza  $F$ ;  
 $t_f$  è lo spessore del composito fibrorinforzato;  
 $f_{mtm}$  è la resistenza media a trazione della muratura (in mancanza di dati diretti si può assumere  $f_{mtm} = 0.1 \cdot f_{mk}$  dove  $f_{mk}$  è la resistenza caratteristica a compressione della muratura);

La forza che produce la crisi per la delaminazione è data dalla relazione:

$$F = \frac{b_f}{\gamma_{fd}} \sqrt{2 \cdot \Gamma_{fd} \cdot E_f \cdot t_f} \quad (\text{forze in N e lunghezze in mm})$$

dove

$\Gamma_{fd} = \frac{\Gamma_{fk}}{\gamma_m}$  è il valore di calcolo dell'energia specifica di frattura

$\Gamma_{fk} = c_1 \cdot \sqrt{f_{mk} \cdot f_{mtm}}$  è il valore caratteristico dell'energia specifica di frattura

$c_1$  è un coefficiente che si determina su base sperimentale. In mancanza di tali dati per la muratura si può assumere pari a 0.015.

$\gamma_m$  è il coefficiente di sicurezza della muratura

$\gamma_{fd}$  è il coefficiente di sicurezza relativo all'aderenza definito in Tabella 3-2 (§ 3.4.1) delle suddette norme

$b_f$  è la larghezza del rinforzo

La tensione massima per delaminazione si ottiene dalla seguente:

$$f_{fdd} = \frac{F}{b_f \cdot t_f} = \frac{1}{\gamma_{fd}} \sqrt{\frac{2 \cdot \Gamma_{fd} \cdot E_f}{t_f}}$$

La deformazione massima per delaminazione si ottiene dalla seguente:

$$\varepsilon_{fdd} = \frac{f_{fdd}}{E_f} = \frac{1}{\gamma_{fd}} \sqrt{\frac{2 \cdot \Gamma_{fd}}{E_f \cdot t_f}}$$

#### 4.10.2 – Cuciture di lesione con rete FRP

Questo tipologia di consolidamento consente di trasferire tensioni di trazione in quelle zone di muratura interessata dalla lesione. Il compito della rete è quello di trasferire tra le due parti di muratura

in prossimità della lesione la resistenza a trazione che trasferirebbe la muratura integra. La verifica si ritiene soddisfatta quando è verificata la seguente relazione:

$$R_R \geq R_M$$

dove

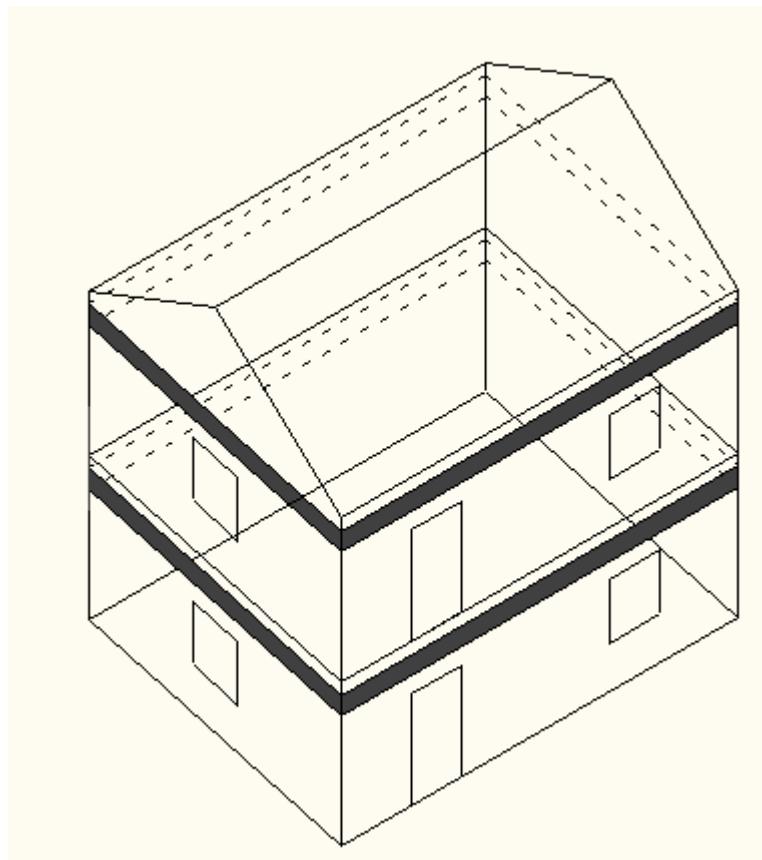
$R_R = f_{Rd} \cdot l_f$	è la resistenza della rete
$f_{Rd}$	è la resistenza della rete per metro lineare
$l_f$	è la lunghezza della fessura
$R_M = f_{td} \cdot A$	è la resistenza a trazione della muratura
$f_{td}$	è la resistenza a trazione della muratura
A	è l'area della muratura interessata dalla lesione

#### 4.10.3 – Intonaco armato con rete FRP

Per questa tipologia di consolidamento valgono le stesse considerazioni fatte per il rinforzo intonaco armato con rete eletrosaldata.

#### 4.10.4 – Cerchiature esterne

Le cerchiature esterne sono una tipologia di consolidamento molto utilizzate per edifici di modeste dimensioni. Generalmente sono realizzate con fasce di materiale composito installati a quota dei solai che avvolgono tutto il perimetro dell'edificio.



La cerchiatura esterna fornisce una resistenza pari alla forza di trazione data dal minimo tra le seguenti quantità:

$$F = \min(F_d, F_f)$$

dove

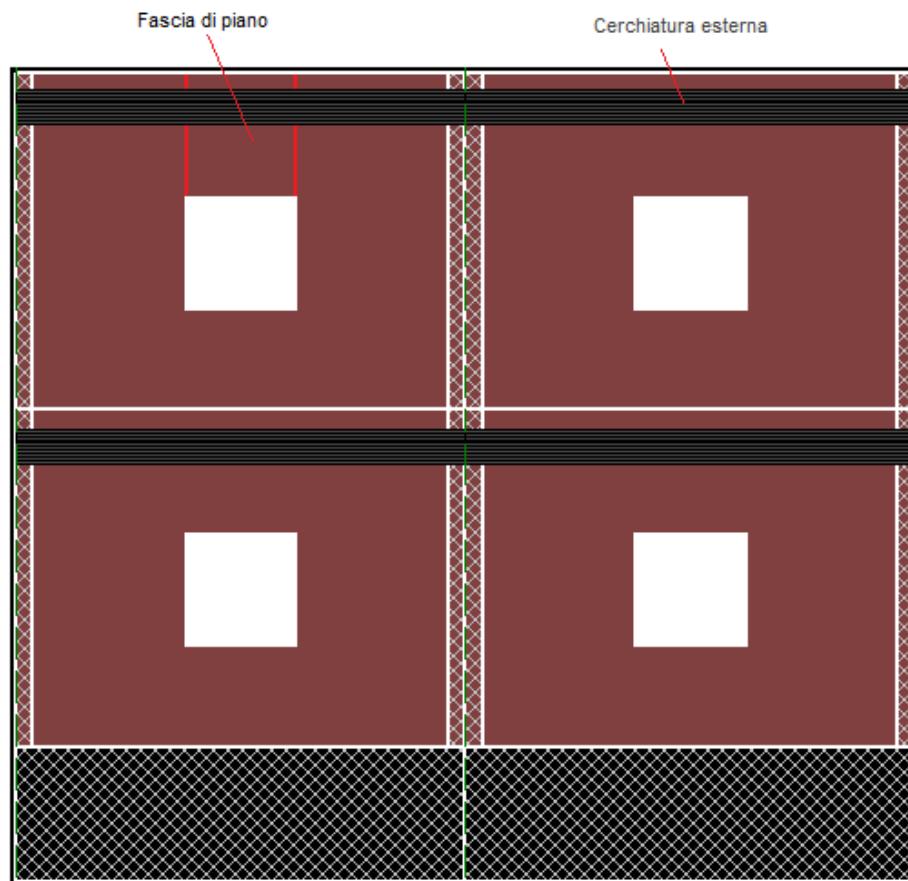
$$F_d = f_{fdd} \cdot A_f \quad (\text{Resistenza massima per delaminazione})$$

$$F_f = f_{fd} \cdot A_f \quad (\text{Resistenza massima del materiale composito})$$

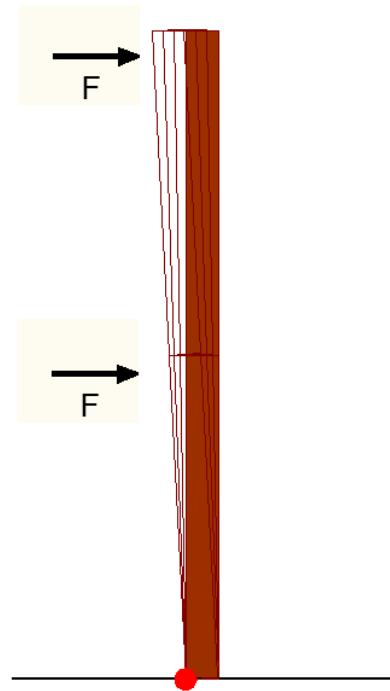
Nel caso di analisi globale (per esempio pushover) questo consolidamento da un contributo alla resistenza quando si adotta il modello con fasce di piano deformabili. In questo caso la resistenza a flessione della fascia di piano è data dalla seguente relazione (punto 7.8.2.2.4 del D.M. 17/01/2018):

$$M_u = \frac{F \cdot h}{2} \left[ 1 - \frac{F}{0.85 \cdot f_{hd} \cdot h \cdot t} \right]$$

In assenza di fascia (naturalmente anche di altri dispositivi resistenti a trazione), il valore del momento è nullo.



Nel caso del calcolo dei meccanismi locali, la cerchiatura esterna da un valido contributo stabilizzante al ribaltamento delle pareti investite dal sisma:



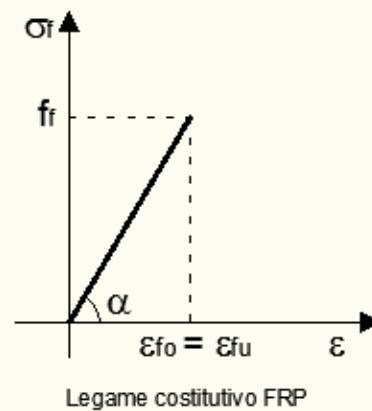
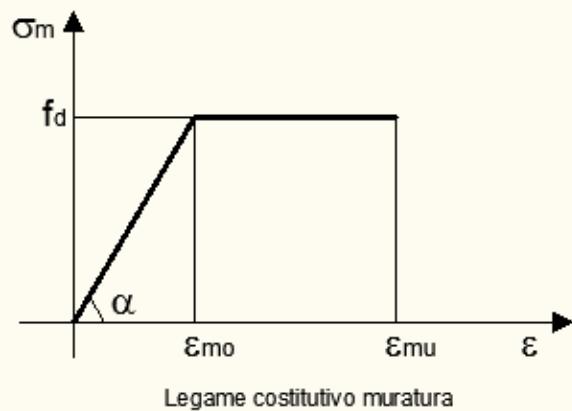
#### 4.10.5 – Rinforzo a flessione e taglio nel piano e fuori piano con FRP

In questo paragrafo si illustra la tipologia di consolidamento con materiale composito applicato direttamente sulle pareti per incrementare la resistenza a flessione ed a taglio di maschi e fasce.

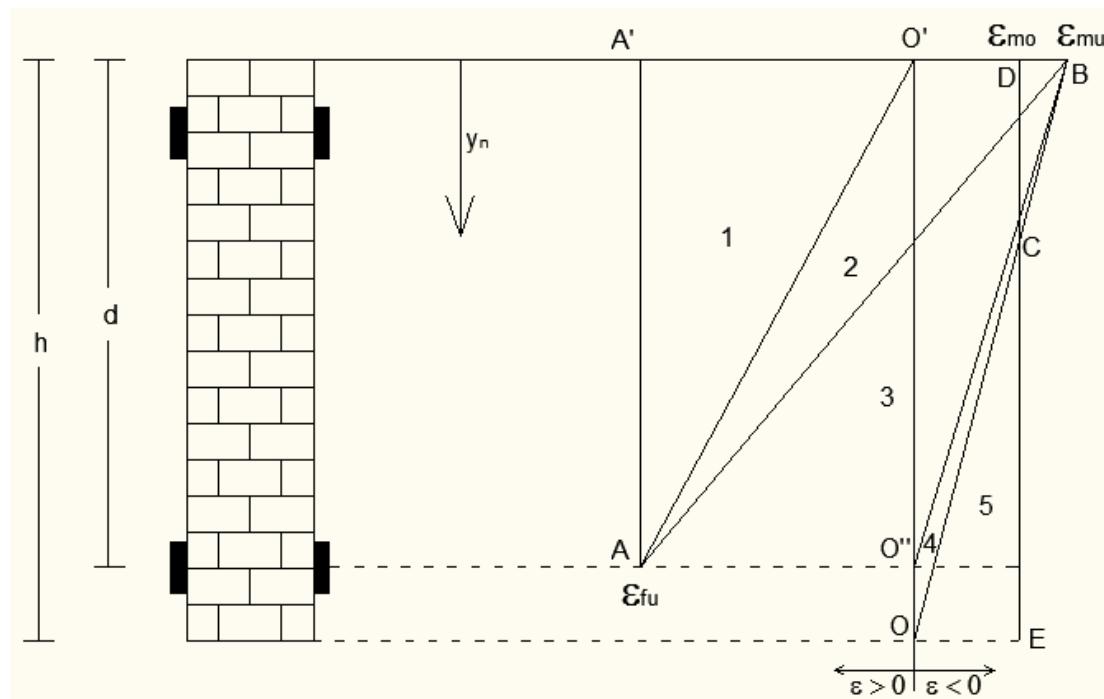
##### 4.10.5.1 – Rinforzo a pressoflessione per maschi murari

Il calcolo della resistenza pressoflessione di un maschio murario è analogo a quello di verifica di una sezione in calcestruzzo armato con la differenza che la muratura sostituisce il calcestruzzo ed il materiale composito l'armatura. Le ipotesi che si fanno sono:

- Mantenimento delle sezioni piane
- Perfetta aderenza tra muratura e materiale composito
- Resistenza nulla a trazione per la muratura
- Comportamento elastico-perfettamente plastico per la muratura
- Comportamento elastico lineare fino a rottura per il materiale composito



Sotto queste ipotesi si hanno i seguenti campi di rottura:



### Campo 1

La sezione risulta tesa e la sollecitazione può essere di trazione semplice o composta. Il materiale composito raggiunge il valore ultimo della deformazione. L'asse neutro può essere ubicato all'infinito (caso di trazione semplice) ovvero coincidente con il lembo compresso della sezione (caso di trazione composta).

La retta di deformazione appartiene ad un fascio di rette passante per il punto A ed ha come rette limite AA' ed AO'.

### Campo 2

La sezione risulta parzializzata, in parte tesa ed in parte compressa. La sollecitazione può essere di flessione semplice o composta. Il composito raggiunge la massima deformazione possibile ( $\varepsilon_{fu}$ ), mentre quella della muratura al lembo superiore della sezione potrà al limite avere valore nullo o raggiungere il valore limite ultimo della contrazione ( $\varepsilon_{mu}$ ). L'asse neutro può variare dal lembo superiore della sezione fino a raggiungere il valore massimo dato dalla seguente relazione:

$$y_n = \frac{\varepsilon_{mu}}{\varepsilon_{mu} + \varepsilon_{fu}} d$$

La retta di deformazione appartiene ad un fascio di rette passante ancora per il punto A ed ha come rette limite AO' ed AB.

### Campo 3

La sezione, anche in questo caso risulta in parte tesa ed in parte compressa. La sollecitazione può essere di flessione semplice o composta. La muratura raggiungere il valore limite ultimo della contrazione ( $\varepsilon_{mu}$ ), mentre il materiale composito, può al limite avere deformazione nulla o raggiungere il valore limite ultimo della deformazione ( $\varepsilon_{fu}$ ). L'asse neutro può variare dal valore

$$y_n = \frac{\varepsilon_{mu}}{\varepsilon_{mu} + \varepsilon_{fu}} d$$

fino a raggiungere il valore d.

La retta di deformazione appartiene ad un fascio di rette passante per il punto B ed ha come rette limite BA ed BO".

#### Campo 4

La sezione risulta quasi interamente compressa (ad eccezione della parte di muratura al di sotto del materiale composito). La sollecitazione può essere solo di pressoflessione. La muratura raggiungere il valore limite ultimo della contrazione ( $\varepsilon_{mu}$ ). L'asse neutro può variare da d a h.

La retta di deformazione appartiene ad un fascio di rette passante per il punto B ed ha come rette limite B O" ed BO.

#### Campo 5

La sezione risulta essere totalmente compressa. La sollecitazione è di compressione semplice o pressoflessione con piccola eccentricità. La deformazione della muratura può al limite raggiungere il valore limite ultimo ( $\varepsilon_{mu}$ ) ed il valore limite elastico ( $\varepsilon_{mo}$ ).

La retta di deformazione appartiene ad un fascio di rette passante per il punto C ed ha come rette limite BO ed DE. La quota di C è dato dalla seguente relazione:

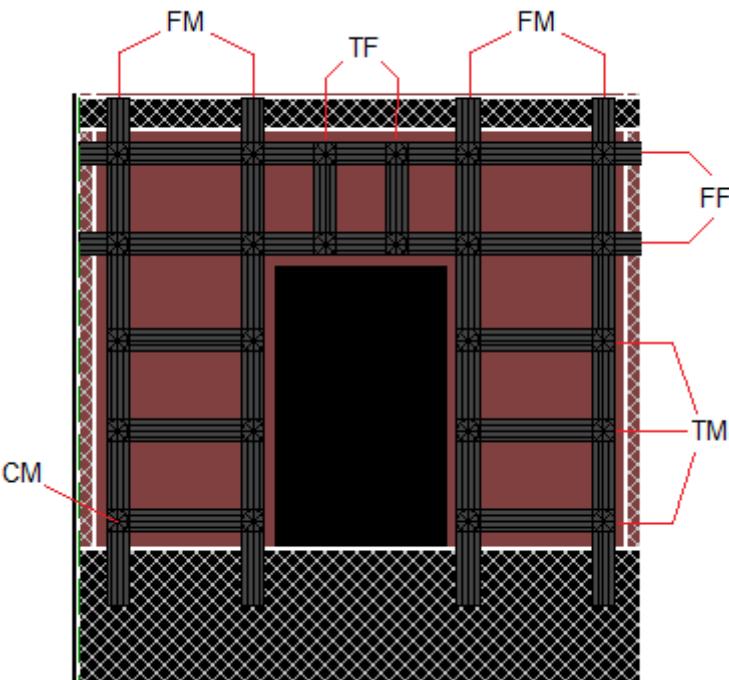
$$y_n = \frac{\varepsilon_{mu} - \varepsilon_{mo}}{\varepsilon_{mu}} h$$

Ultima osservazione da fare è sulla deformazione ultima da assumere per il materiale composito. La deformazione ultima dipende da quella delle fibre, dalla delaminazione e da eventuale presenza di connettori meccanici.

Generalmente, le fibre di carbonio raggiungono deformazioni dell'ordine del 15-20%, per delaminazione (nel caso della muratura), nella maggioranza dei casi si hanno deformazioni minori del 1%. Il valore della deformazione da inserire nei calcoli della sezione è il minore dei due con conseguente penalizzazione del materiale composito e degli effetti del consolidamento. Risultati migliori si ottengono quando si utilizzano connettori meccanici. Questi ultimi consentono di raggiungere ragionevolmente deformazioni ultime dell'ordine del 3-5%. C'è anche da dire che allo stato attuale per i connettori meccanici non esistono estese prove sperimentali per la valutazione delle loro funzionalità.

#### 4.10.5.2 – Rinforzo a taglio per maschi murari

La resistenza a taglio di un maschio murario rinforzato con materiale composito si ottiene dalla somma di due meccanismi resistenti: la resistenza taglio per attrito della muratura e la resistenza offerta dal rinforzo con FRP che attiva un comportamento a traliccio isostatico. Per essere efficace questo consolidamento (elementi contrassegnati con le lettere TM in figura successiva) agli effetti del taglio occorre che siano presenti anche rinforzi longitudinali (elementi contrassegnati con le lettere FM in figura successiva).



Se è garantita la formazione del traliccio resistente, la resistenza a taglio dell'elemento si ottiene dalla seguente relazione:

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,m} + V_{Rd,f}, V_{Rd,max}\}$$

dove

$$V_{Rd,m} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} d \cdot t \cdot f_{vd} \quad \text{è la resistenza per attrito della muratura}$$

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{fw} \cdot f_{fd}}{p_f} \quad \text{è la resistenza del materiale composito}$$

$$V_{Rd,max} = 0.3 \cdot f_{md}^h \cdot t \cdot d \quad \text{è la resistenza delle bielle compresse}$$

$\gamma_{Rd}$  è il coefficiente di sicurezza relativo all'aderenza definito in Tabella 3-2 (§ 3.4.1) delle suddette norme;

$t$  è lo spessore della parete;

$d$  è la distanza del lembo compresso della parete e l'asse del materiale composito teso

$f_{vd}$  è la resistenza di calcolo a taglio della muratura;

$A_{fw}$  è l'area di una singola fascia di rinforzo a taglio disposta in direzione parallela alla forza di taglio;

$p_f$  è la distanza tra due fasce di rinforzo a taglio;

$f_{fd}$  è la resistenza di calcolo del rinforzo;

$f_{md}^h$  è la resistenza di compressione di calcolo della muratura nella direzione dell'azione; agente (resistenza parallela ai letti di malta).

#### 4.10.5.3 – Rinforzo a flessione per fasce di piano

Per questa tipologia di consolidamento valgono le stesse considerazioni fatte per la resistenza delle fasce nel proprio piano viste nel paragrafo relativo alle cerchiature esterne.

**4.10.5.4 – Rinforzo a taglio per fasce di piano**

Qualora è garantito il meccanismo a traliccio (presenza di elementi di rinforzo TF ed FF riportati nella precedente figura), la resistenza a taglio della fascia consolidata si ottiene sommando la resistenza a taglio della fascia non consolidata più il contributo a taglio offerto dal composito visto nel paragrafo 4.10.5.2.

## Capitolo 5

### Meccanismi locali

#### 5.1 – Introduzione

Spesso effettuare analisi globali (metodo POR o Pushover) per edifici in muratura può non essere sufficiente in quanto l'utilizzo stesso di questi metodi implicano spesso ipotesi molto restrittive. Per esempio, uno dei primi problemi che si riscontra è quello di dover effettuare il calcolo ipotizzando l'impalcato rigido nel proprio piano. Inoltre, questi modelli sono pensati per edifici isolati, cosa che nella realtà non accade quasi mai in quanto generalmente si hanno aggregati di edifici tutti connessi tra di loro e spesso neanche rilevabili dai tecnici.

Un altro grosso limite che si riscontra è quello di caratterizzare i materiali. La muratura non è un materiale omogeneo, né tantomeno isotropo e lineare. Poiché i parametri che entrano in gioco sono molteplici (pietre, malte, ecc), le caratteristiche meccaniche possono cambiare anche in diversi punti dello stesso elemento.

Spesso, è stato dimostrato che nelle vecchie costruzioni i crolli non sono avvenuti per la bassa resistenza della muratura, ma per la carenza dei collegamenti tra i vari elementi strutturali che determinano l'edificio (collegamenti tra pareti, tra solai e pareti, ecc).

Un altro limite dell'analisi globale si può avere in presenza di elementi spingenti (archi, volte, tetti, ecc). Considerare l'impalcato rigido non consente di computare le eventuali spinte statiche.

Molti elementi non computabili dall'analisi globale dell'edificio, possono essere computate da analisi di meccanismo locale. Per cui, per analizzare la struttura in modo più soddisfacente è opportuno affiancare all'analisi globale anche il calcolo dei meccanismi locali.

Generalmente i meccanismi locali si verificano nelle pareti per azioni orizzontali perpendicolari al loro piano.

Il software VEM<sub>NL</sub> affronta il calcolo dei meccanismi locali, seguendo tutte le prescrizioni riportate nei punti C8 e C8A.4 della circolare 617/2009.

#### 5.2 – Tecniche di calcolo

Il calcolo dei meccanismi locali può essere svolto tramite l'approccio cinematico con “*analisi cinematica lineare*” o “*analisi cinematica non lineare*”.

##### 5.2.1 – Analisi cinematica lineare

Per il calcolo lineare occorre determinare il moltiplicatore dei carichi orizzontali  $\alpha_0$  che porta all'attivazione del meccanismo che si ottiene applicando il principio dei lavori virtuali:

Assegnata una rotazione virtuale  $\theta_k$  al generico blocco k, è possibile determinare in funzione di questa e della geometria della struttura, gli spostamenti delle forze applicate nella rispettiva direzione. Il moltiplicatore  $\alpha_0$ , si ottiene uguagliando il lavoro totale eseguito dalle forze esterne ed interne applicate al sistema:

$$\alpha_0 \left( \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \cdot \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \cdot \delta_h = L_{fi}$$

dove

- “n” è il numero di tutte le forze peso applicate ai diversi blocchi della catena cinematica;
- “m” è il numero di forze peso non direttamente gravanti sui blocchi le cui masse, per effetto dell’azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica (può essere il caso di solai che non poggiano direttamente sulla catena, ma sotto l’effetto del sisma generano una forza di inerzia sulla catena stessa);
- “o” è il numero di forze esterne, non associate a masse, applicate ai diversi blocchi;
- $P_i$  è la generica forza peso applicata;
- $P_j$  è la generica forza peso non direttamente gravanti sui blocchi le cui masse, per effetto dell’azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica;
- $\delta_{x,i}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell’i-esimo peso  $P_i$ , assumendo come verso positivo quello associato alla direzione secondo cui agisce l’azione sismica che attiva il meccanismo;
- $\delta_{x,j}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell’j-esimo peso  $P_j$ , assumendo come verso positivo quello associato alla direzione secondo cui agisce l’azione sismica che attiva il meccanismo;
- $\delta_{y,i}$  è lo spostamento virtuale verticale del punto di applicazione dell’i-esimo peso  $P_i$ , assunto positivo se verso l’alto;
- $F_h$  è la generica forza esterna (in valore assoluto), applicata ad un blocco;
- $\delta_h$  è lo spostamento virtuale del punto dove è applicata la h-esima forza esterna, nella direzione della stessa, di segno positivo se con verso discorde;
- $L_{fi}$  è il lavoro di eventuali forze interne.

## 5.2.2 – Analisi cinematica non lineare

### 5.2.2.1 – Determinazione della curva di capacità

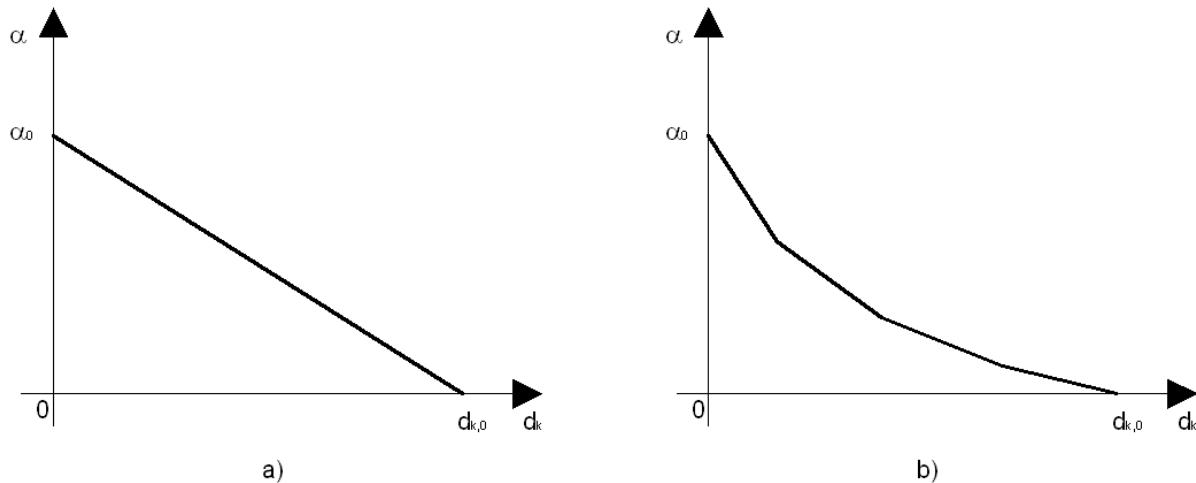
Al fine di conoscere la capacità di spostamento della struttura fino al collasso, il moltiplicatore orizzontale  $\alpha$  dei carichi può essere valutato non solo sulla configurazione iniziale (per rotazioni intorno alla cerniera cinematica), ma anche su configurazioni variate della catena cinematica (calcolo per valori della rotazione intorno alla cerniera diversi da quelli iniziali). L’analisi deve essere condotta fino al raggiungimento della configurazione per cui corrisponde l’annullamento del moltiplicatore  $\alpha$  (la catena non è più in grado di sopportare carichi orizzontali).

Per ogni configurazione variata si ottiene il valore del moltiplicatore  $\alpha$  in funzione dello spostamento  $d_k$  del punto di controllo (generalmente coincidente con il baricentro delle masse, o con l’estremo della catena), ottenendo la curva di capacità ( $\alpha - d_k$ ) della catena.

Il moltiplicatore  $\alpha$  della configurazione variata si calcola sfruttando sempre il principio dei lavori virtuali tramite la precedente relazione applicata nella configurazione geometrica variata della struttura.

Se le forze in gioco si mantengono costanti nell’evolversi del cinematismo, la curva di capacità avrà andamento lineare. Nel caso in cui, si tiene conto della variazione progressiva delle forze esterne (per esempio lo snervamento di una catena o di un cordolo, la variazione del grado di vincolo tra due pareti, ecc), la curva ha andamento non lineare (il software VEM<sub>NL</sub> tiene conto delle variazioni delle forze in gioco con il progredire degli spostamenti del cinematismo; caso b) della successiva figura).

In corrispondenza di  $\alpha = 0$  si ottiene lo spostamento del punto di controllo  $d_{k,0}$  (configurazione iniziale del cinematismo)



### 5.2.2.2 – Determinazione della curva di capacità dell'oscillatore equivalente

Noto l'andamento del moltiplicatore orizzontale  $\alpha$  dei carichi in funzione dello spostamento  $d_k$  del punto di controllo della struttura, deve essere definita la curva di capacità dell'oscillatore equivalente, come relazione tra l'accelerazione spettrale  $a^*$  e lo spostamento spettrale  $d^*$ .

La massa partecipante al cinematismo  $M^*$  può essere valutata considerando gli spostamenti virtuali dei punti di applicazione dei diversi pesi, associati al cinematismo, come una forma modale di vibrazione:

$$M^* = \frac{\left( \sum_{i=1}^{n+m} P_i \cdot \delta x_{i,j} \right)^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \cdot \delta_{x,i}^2}$$

dove

- $n+m$  è il numero delle forze peso  $P_i$  applicate le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica;
- $\delta_{x,i}$  è lo spostamento virtuale orizzontale sulla configurazione iniziale del punto di applicazione dell' $i$ -esimo peso  $P_i$ ;
- $g$  è l'accelerazione di gravità;

La frazione di massa partecipante ( $e^*$ ) è data dalla seguente relazione:

$$e^* = \frac{g \cdot M^*}{\sum_{i=1}^{n+m} P_i}$$

L'accelerazione sismica spettrale  $a^*$  si ottiene moltiplicando per l'accelerazione di gravità il moltiplicatore  $\alpha$  e dividendolo per la frazione di massa partecipante al cinematismo ed il fattore di confidenza:

$$a^* = \frac{\alpha \cdot g}{e^* \cdot FC}$$

dove

- FC è il fattore di confidenza.

L'accelerazione spettrale  $a_0^*$  di attivazione del meccanismo vale:

$$a_0^* = \frac{a_0 \cdot g}{e^* \cdot FC}$$

Lo spostamento spettrale  $d^*$  dell'oscillatore equivalente si ottiene, in via approssimata, noto lo spostamento del punto di controllo  $d_k$ , dalla relazione seguente con riferimento agli spostamenti virtuali della configurazione iniziale:

$$d^* = d_k \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i \cdot \delta_{x,i}^2}{\delta_{x,k} \sum_{i=1}^{n+m} P_i \cdot \delta_{x,i}}$$

dove

- $\delta_{x,k}$  è lo spostamento virtuale del punto assunto come riferimento per la determinazione di  $d_k$ .

### 5.2.2.3 – Resistenza e capacità di spostamento

La resistenza e la capacità di spostamento relativa allo Stato limite di danno (SLD) e Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) è valutata sulla curva di capacità, in corrispondenza dei punti seguenti:

- SLD: dall'accelerazione spettrale  $a_0^*$  corrispondente all'attivazione del meccanismo;
- SLV: dallo spostamento spettrale  $d_u^*$  corrispondente al minore tra:
  - A) il 40% dello spostamento per cui si annulla l'accelerazione spettrale  $a^*$  valutata su una curva in cui si considerino solamente le azioni di cui è verificata la presenza fino al collasso;
  - B) lo spostamento corrispondente a situazioni localmente incompatibili con la stabilità degli elementi della costruzione (ad esempio, snervamento di tiranti o cordoli, ecc), nei casi in cui questo sia valutabile;

### 5.2.2.4 – Verifiche di sicurezza

Anche per le verifiche di sicurezza distinguiamo il caso dello Stato limite di danno (SLD) e dello Stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

La verifica di sicurezza nei confronti dello Stato limite di danno (SLD) è soddisfatta qualora l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo ( $a_0^*$ ) sia superiore all'accelerazione di picco della domanda sismica.

Nel caso in cui la porzione di costruzione (catena cinematica) che deve essere verificate è appoggiata sul terreno di fondazione,  $a_0^*$  viene confrontata con l'accelerazione al suolo valutata con lo spettro elastico per il periodo  $T = 0$ :

$$a_0^* \geq a_g \cdot S$$

dove

- $a_g$  è l'aliquota di accelerazione sismica al suolo funzione dello stato limite scelto e della vita di riferimento;
- $S$  è il coefficiente funzione del suolo di fondazione.

Se la porzione di costruzione interessata dal cinematismo è posta ad una certa quota, si deve tener conto dell'amplificazione dell'accelerazione sismica rispetto al suolo per cui in aggiunta alla precedente occorre verificare anche la seguente relazione:

$$a_0^* \geq S_e(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma$$

dove

- $S_e(T_1)$  è lo spettro elastico corrispondente al periodo  $T_1$
- $\psi(Z)$  è il primo modo di vibrazione nella direzione considerata, normalizzato ad uno in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto  $\Psi(Z) = Z / H$ , dove  $H$  è l'altezza della struttura rispetto alla fondazione;
- $Z$  è l'altezza, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo (cerniera del meccanismo) tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura;
- $\gamma$  è il corrispondente coefficiente di partecipazione modale (in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto  $\gamma = 3N/(2N+1)$ , con  $N$  numero di piani dell'edificio).

Per lo Stato limite di salvaguardia della vita, la verifica può essere svolta seguendo uno due metodi alternativi:

- 1) Verifica semplificata con fattore di struttura  $q$  (analisi cinematica lineare);
- 2) Verifica mediante spettro di capacità (analisi cinematica non lineare);

#### Analisi cinematica lineare

Nel caso in cui la porzione di costruzione (catena cinematica) che deve essere verificate è appoggiata sul terreno di fondazione, la verifica di sicurezza nei confronti dello Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) è soddisfatta qualora l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo ( $a_0^*$ ) soddisfi la seguente condizione:

$$a_0^* \geq \frac{a_g \cdot S}{q}$$

dove

- $q$  è il fattore di struttura che può essere assunto pari a 2

Se la porzione di costruzione interessata dal cinematismo è posta ad una certa quota, si deve tener conto dell'amplificazione dell'accelerazione sismica rispetto al suolo per cui in aggiunta alla precedente occorre verificare anche la seguente relazione:

$$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma}{q}$$

#### Analisi cinematica non lineare

La verifica di sicurezza nei confronti dello Stato limite di salvaguardia della vita consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo  $d_u^*$  del meccanismo locale e la domanda di spostamento  $\Delta_d(T_s)$  ottenuta dallo spettro di spostamento in corrispondenza del periodo secante  $T_s$ :

$$d_u^* \geq \Delta_d(T_s)$$

Definito lo spostamento  $d_s^* = 0.4 \cdot d_s^*$  ed individuata l'accelerazione  $a_s^*$  dalla curva di capacità, corrispondente allo spostamento  $d_s^*$ , il periodo secante  $T_s$  si ottiene dalla seguente:

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}}$$

Nel caso in cui la porzione di costruzione (catena cinematica) che deve essere verificate è appoggiata sul terreno di fondazione, la domanda di spostamento  $\Delta_d(T_s)$  per la verifica di sicurezza nei confronti dello Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e data dalla seguente:

$$\Delta_d(T_s) = S_{De}(T_s)$$

dove

- $S_{De}(T_s)$  è lo spettro di risposta elastico in spostamenti

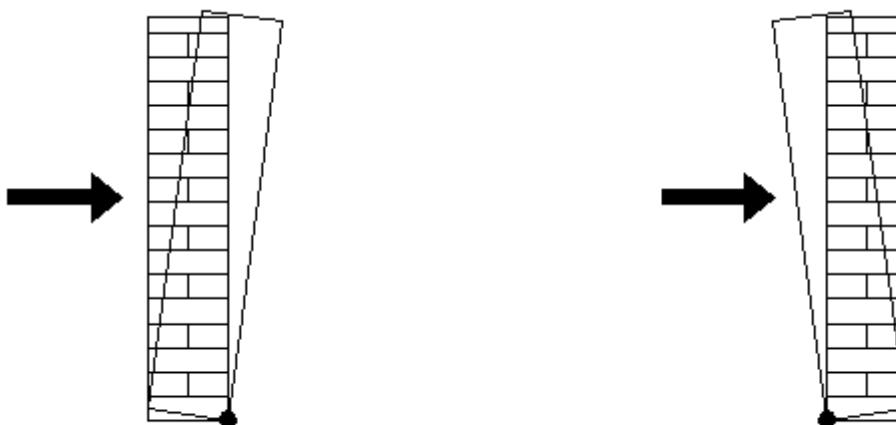
Se la porzione di costruzione interessata dal cinematismo è posta ad una certa quota, oltre alla precedente occorre verificare anche la seguente relazione:

$$d_u^* \geq S_{De}(T_s) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma \cdot \frac{\left(\frac{T_s}{T_1}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{T_s}{T_1}\right)^2 + 0.002 \frac{T_s}{T_1}}}$$

dove le quantità che compaiono nella precedente sono state già definite sopra.

### 5.2.3 – Azioni sul meccanismo locale.

Il software tiene conto di tutte le azioni che insistono sul meccanismo. Tutte le azioni possono essere classificate in due gruppi, stabilizzanti ed instabilizzanti. Le forze inerziali sono sempre instabilizzanti in quanto hanno lo stesso verso del verso di rotazione del meccanismo. Altre forze possono essere sia stabilizzanti che instabilizzanti. Per esempio, nella successiva figura si può vedere come la stessa forza in un caso è stabilizzante e nell'altro instabilizzante in funzione del verso di rotazione e del punto di rotazione del sistema.



Caso di forza instabilizzante

Caso di forza stabilizzante

Le forze che il software prende in considerazione sono:

- Peso delle pareti;
- Peso dei cordoli;
- Peso di solai, scale, balconi, tamponamenti;
- Inerzia di pareti, cordoli, solai, balconi, scale, tamponamenti, ecc;
- Spinte statiche di elementi spingenti
- Spinte di eventuali terreni;
- Forze stabilizzanti dovute a tiranti;
- Forze stabilizzanti dovute a catene;
- Forze stabilizzanti dovuti a cordoli;
- Forze stabilizzanti dovute alle connessioni con pareti ortogonali;
- Forze stabilizzanti dovute a cerchiature esterne;
- Forze stabilizzanti dovute a rinforzi con materiale composito

## Capitolo 6

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

#### 6.1 – Introduzione

La normativa italiana consente, attraverso il punto 7.8.5 del DM 17/01/2018, 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.

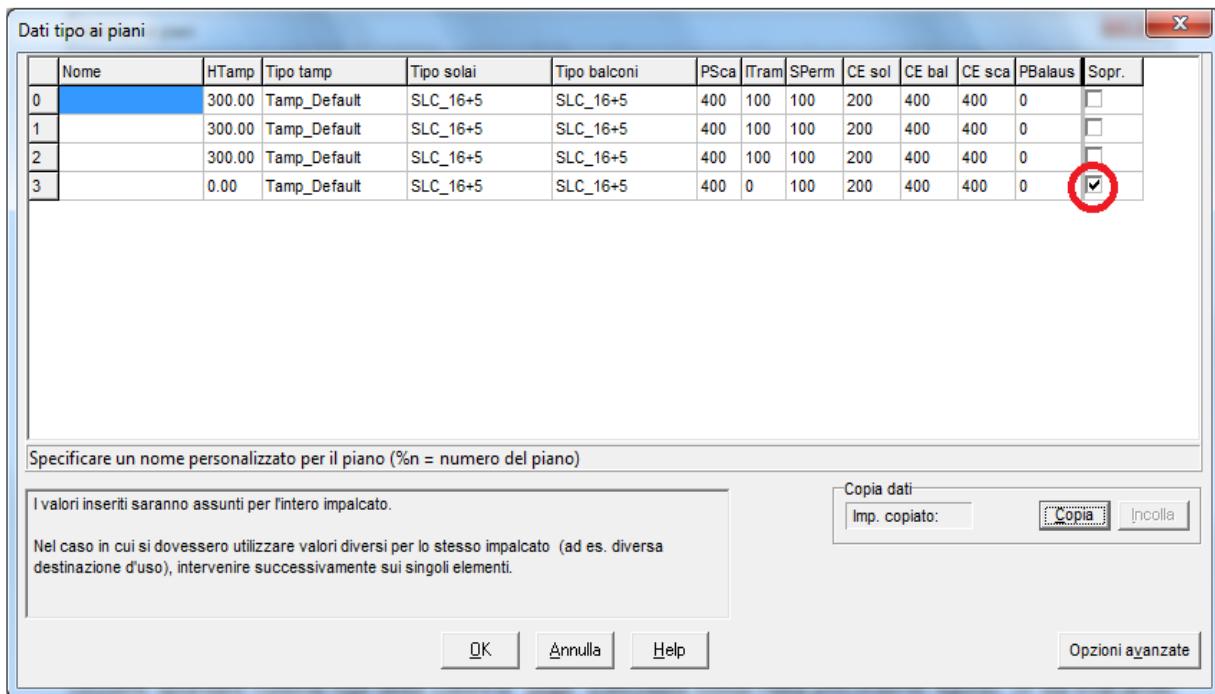
Le condizioni richieste, in alcuni casi possono essere molto restrittive. Si premette che l'utilizzo di analisi lineari, in quanto non adatte per edifici in muratura, raramente portano ad un esito positivo della verifica, per cui possono essere a priori scartate dalle possibili analisi da utilizzare (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 7.8.5 del DM 17/01/2018 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%.

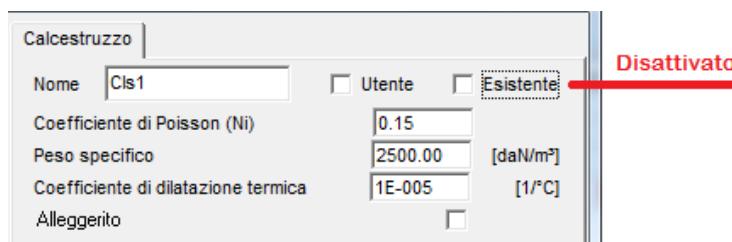
Il problema più difficoltoso da risolvere è quello di rispettare il punto 7.3.4.1 del D.M. 2018, per il quale è richiesta una massa partecipante del 75% (per edifici in muratura 60%, punto 7.8.1.5.4 del D.M. 2018). Generalmente, la presenza di un piano in c.a. o acciaio abbatte la massa partecipante 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 le sopraelevazioni 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);

Dalla versione 14.0.0 di **VEM<sub>NL</sub>** è possibile realizzare sopraelevazioni completamente in cemento armato o acciaio. 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.



L'input degli elementi è simile a quello noto per gli elementi esistenti. È 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..

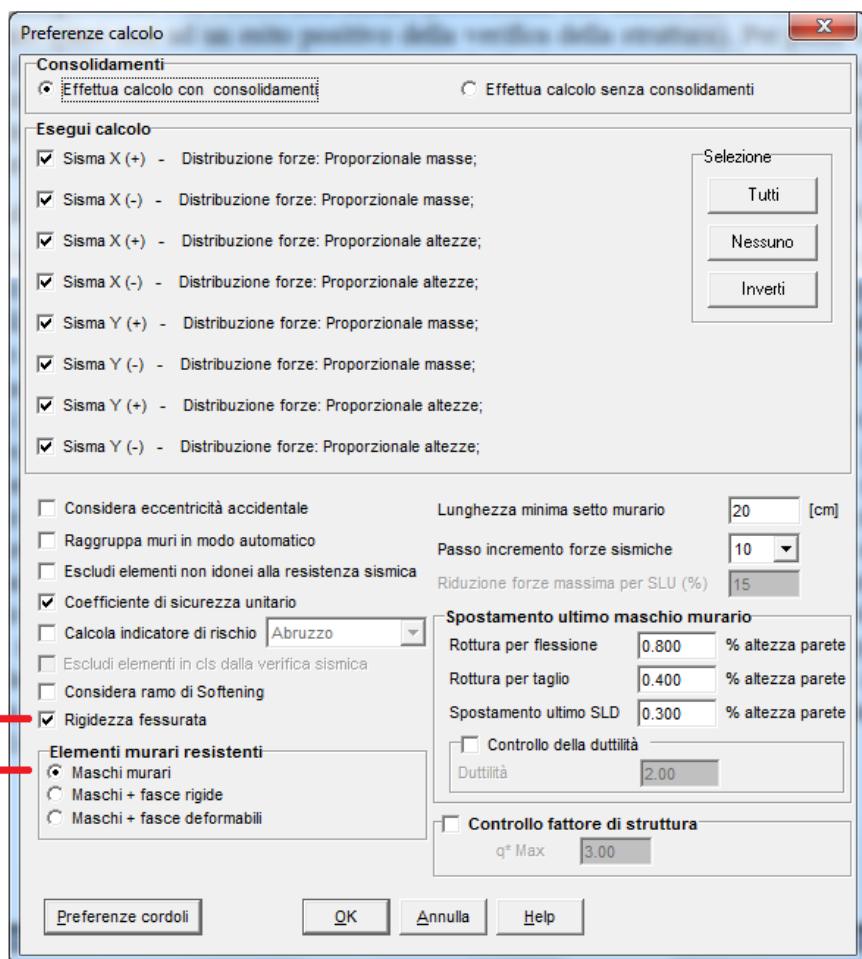
## 6.2 – Sopraelevazione in c.a.

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. Per l'inserimento delle armature si rimanda al punto 1.5 del manuale.

Analizzando la struttura si possono verificare le seguenti situazioni:

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

Un vincolo imposto dalla normativa (punto 7.8.5 e 7.8.1.5.4 del D.M. 2018), 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):



È da evitare 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.

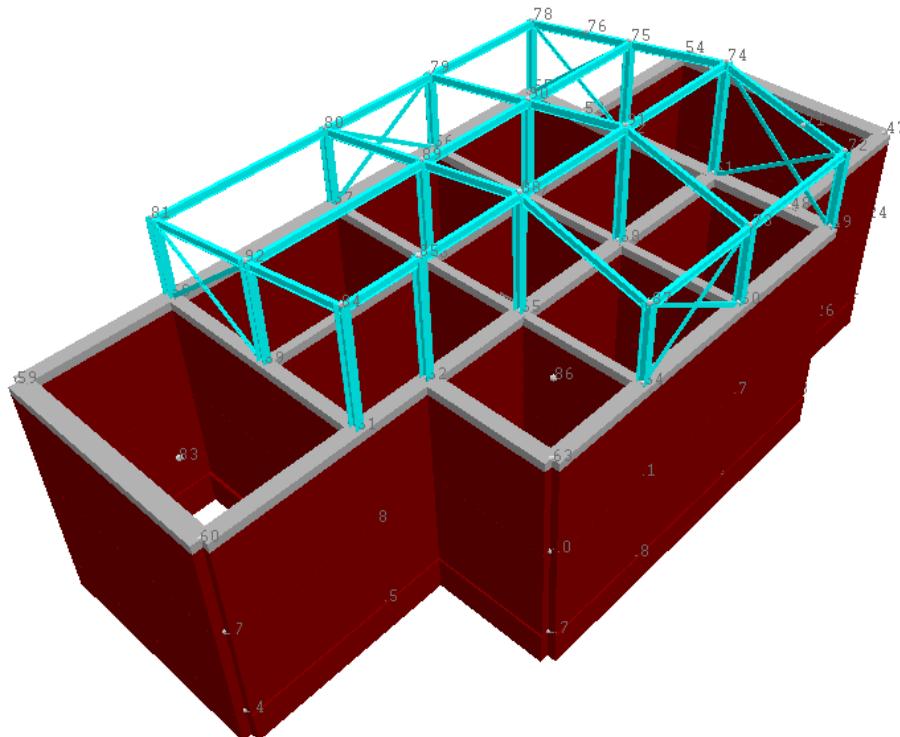
Nei casi in cui l'esito della verifica è negativo (ricordiamo ancora che occorre raggiungere la condizione di adeguamento. Non è sufficiente migliorare le condizioni globali della struttura, ma bisogna soddisfare tutte le condizioni di verifica), occorre procedere con il consolidamento degli elementi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

Il software progetta e verifica gli elementi di collegamento del nuovo con i cordoli dell'esistente incrementando le sollecitazioni del 30% (vedi punto 7.8.5 del D.M. 2018).

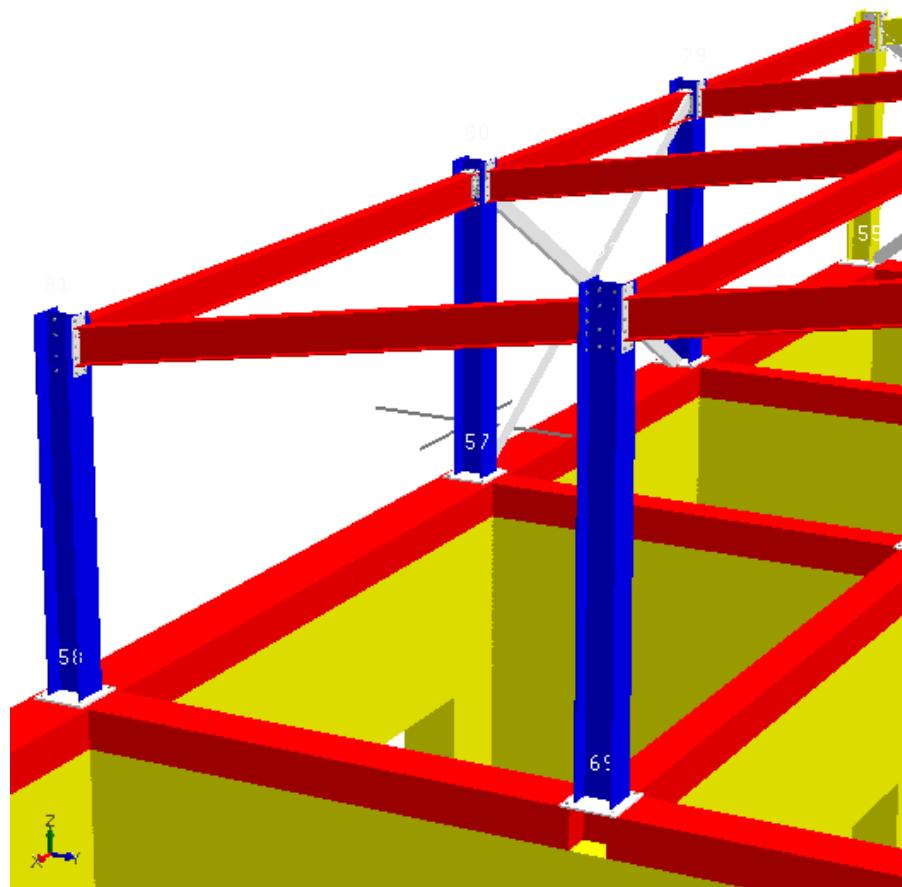
Tutti gli elementi armati manualmente vengono regolarmente graficizzati.

## **6.3 – Sopraelevazione in acciaio**

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 che si ottengono per sopraelevazioni in c.a. (gli elementi in acciaio sono molto più deformabili degli elementi in c.a.). Per aumentare la massa partecipante del primo modo, occorre intervenire, prevedendo controventature che ne diminuiscono gli spostamenti relativi (da collocare naturalmente dove non sono previste aperture). I controventi possono essere inseriti dall'input 3D del software ().



È possibile progettare i collegamenti degli elementi in acciaio. Per quanto riguarda i collegamenti con i cordoli in c.a. sottostanti il software incrementa automaticamente le sollecitazioni del 30%. Automaticamente dal software è possibile progettare le unioni attraverso il comando contrassegnato dall'icona  restituendo relazione di calcolo dell'unione ed elaborati grafici.



## Indice

---

### A

accelerazione · 8; 126; 281  
 acciaio · 1; 6; 18; 27; 35; 48; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 78; 79; 81; 84; 99; 100; 101; 102; 103; 104; 108; 136; 160; 279; 283;  
     284; 285; 287; 288; 292  
 analisi · 0; 4; 9; 10; 48; 252; 255; 263; 264; 265; 266  
 Analisi · 4; 9; 264; 266  
 angolo · 63; 102; 156; 157; 160; 213; 253; 254; 258; 290; 291  
 area · 26; 34; 37; 40; 41; 43; 60; 78; 80; 87; 98; 100; 101; 102; 103; 258; 260; 262; 287; 288; 289; 290; 291; 292; 297  
 Area · 34; 37; 40; 41; 43; 78; 80; 87; 100; 101; 102; 258; 260  
 armature · 48; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 78; 80; 98; 101; 108; 111; 120; 140; 168; 224; 225; 279; 282  
 assi · 34; 123; 127; 253; 255; 258; 259; 260; 261  
 aste · 6; 34; 79; 80; 83; 85; 108; 124; 169; 171; 220; 227; 252; 254; 257; 263; 292  
 attrito · 63; 102; 103; 157; 289; 290; 291  
 azioni · 13; 253; 289

---

### B

balcone · 32; 121; 169  
 baricentro · 281  
 base · 8; 55; 102; 103; 118; 139; 142; 155; 156; 162; 164; 224; 225; 252; 253; 259; 283; 289; 290; 291  
 Bernoulli · 252  
 bordo · 162; 163  
 Bowles · 61; 289

---

### C

calcestruzzo · 6; 27; 56; 57; 59; 62; 78; 81; 82; 99; 100; 101; 102; 104; 108; 160; 283; 285; 287; 288  
 calcolo · 0; 1; 3; 6; 10; 11; 12; 13; 15; 16; 31; 34; 46; 48; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 61; 69; 75; 78; 79; 80; 81; 83; 84; 85; 86; 87;  
     88; 89; 90; 91; 93; 94; 95; 97; 98; 99; 100; 101; 102; 103; 104; 105; 108; 120; 121; 126; 157; 159; 222; 224; 229; 252;  
     253; 256; 262; 263; 264; 265; 279; 280; 283; 285; 287; 288; 289; 294; 295; 297  
 campo · 11; 26; 35; 60; 80; 106; 107; 133; 139; 140; 141; 151; 161; 252; 285; 293  
 capacità · 59; 283; 289; 291  
 Caquot · 61; 289; 290  
 caratteristiche · 15; 16; 17; 18; 19; 24; 25; 26; 33; 40; 56; 76; 153; 154; 252; 256; 258; 260; 261; 264; 282; 283  
 carichi · 1; 14; 31; 32; 34; 57; 88; 90; 168; 169; 171; 220; 228; 253; 258; 259; 260; 261; 263; 264; 286; 287; 288  
 cerniera · 227  
 coefficiente · 13; 14; 56; 57; 59; 61; 62; 64; 78; 81; 82; 86; 89; 95; 99; 100; 101; 102; 103; 104; 257; 258; 260; 261; 266;  
     281; 283; 287; 288; 290; 291; 292; 293  
 collasso · 279; 280  
 colonne · 13  
 compressione · 15; 19; 85; 86; 87; 89; 279; 280; 283; 285; 288; 292; 294; 295; 297  
 condizioni · 0; 11; 12; 13; 56; 57; 59; 62; 159; 160; 227; 228; 263; 294; 295; 297  
 controventi · 220  
 coordinate · 127; 211; 225; 252; 253; 255; 261; 262  
 copertura · 31

---

### D

danno · 0  
 deformabilità · 56; 59; 79; 80; 81; 83; 86; 99  
 deformata · 76; 285  
 deformazione · 76; 79; 80; 257; 261; 283; 284; 285; 288

diagramma · 118; 283; 284; 285; 288  
diagrammi · 0; 76; 119  
diametro · 48; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 61; 67; 108; 121; 159; 288; 289  
dilatazione · 15; 18; 259; 260; 261  
dimensionamento · 60  
dinamica · 0; 10; 264  
direzione · 6; 13; 32; 84; 86; 160; 224; 226; 253; 255; 256; 257; 265; 293  
distanza · 7; 48; 55; 56; 57; 60; 80; 130; 180; 213; 221; 230; 284; 285; 288  
distribuzione · 0; 6; 32; 288

---

## **E**

eccentricità · 284  
effetti · 266; 287; 288  
elasticità · 18; 64; 284  
elementi · 1; 2; 6; 7; 11; 31; 32; 55; 56; 59; 62; 63; 77; 78; 79; 80; 100; 108; 118; 124; 125; 127; 152; 153; 160; 162; 163;  
168; 170; 171; 211; 212; 213; 220; 221; 229; 230; 252; 253; 255; 257; 258; 259; 260; 262; 263; 264; 282; 287; 289; 292;  
294; 295; 297  
elemento · 7; 55; 56; 57; 76; 78; 79; 82; 84; 86; 88; 99; 101; 102; 107; 108; 163; 168; 169; 170; 213; 229; 252; 253; 255;  
258; 259; 260; 261; 262; 263; 264; 281; 282; 292; 294; 295; 296; 297  
elevazione · 6; 58; 81; 162; 164; 263; 282  
equazioni · 0; 256; 264; 283

---

## **F**

fattore · 6; 265; 281  
fessurazione · 56; 59; 62; 78; 79; 81; 99; 101; 102; 287; 288; 289  
flessione · 19; 60; 79; 80; 85; 86; 87; 100; 102; 283; 285; 288; 294; 295; 297  
fondazione · 6; 7; 8; 55; 58; 60; 61; 78; 79; 102; 103; 108; 118; 136; 138; 159; 160; 162; 252; 259; 260; 262; 263; 281; 282;  
289  
fondazioni · 63  
fori · 174; 175; 179; 180  
forma · 1; 31; 78; 111; 120; 121; 163; 175; 260; 261; 264; 288; 290  
formule · 289; 293  
forza · 100; 122; 253; 279; 280; 286; 292  
forze · 14; 61; 220; 226; 227; 256; 259; 260; 262; 263; 293  
frequenza · 265

---

## **G**

geotecnica · 107  
guscio · 260; 261

---

## **I**

impalcato · 5; 33; 126; 220  
impalcato · 31; 32; 33; 119; 126; 252; 256  
incastro · 33; 259; 260  
instabilità · 83  
interazione · 60

---

## **K**

Kerisel · 61; 289; 290

---

**L**

Lancellotta · 61; 289; 291  
lastra · 253; 260  
**legno** · 6; 9; 56; 79; 80; 85; 86; 108; 279; 294  
limite · 56; 59; 61; 62; 78; 79; 80; 81; 86; 88; 99; 100; 101; 102; 103; 104; 265; 287; 294; 295; 297

---

**M**

massa · 0; 10; 252; 256; 259; 260; 261; 262; 264  
masse · 10; 168; 265  
materiale · 1; 25; 26; 27; 55; 56; 58; 78; 108; 111; 160; 256; 258; 260; 261; 282; 283  
materiali · 15; 26; 27; 69; 107; 123; 160; 256; 257; 283; 287  
matrice · 253; 259; 264; 265  
membrana · 260  
mensola · 33; 140; 169; 224; 225; 263  
modello · 33; 69; 76; 77; 120; 121; 227; 252; 253; 264  
modi · 10; 221; 264; 265; 266  
modo · 3; 6; 11; 13; 14; 25; 26; 27; 35; 44; 55; 56; 107; 120; 121; 122; 126; 133; 139; 142; 151; 153; 155; 157; 161; 162; 163; 168; 169; 170; 175; 180; 210; 212; 228; 252; 253; 255; 258; 259; 265; 266; 284; 287  
modulo · 6; 18; 19; 59; 60; 63; 64; 119; 159; 257; 258; 260; 261; 288; 297  
momenti · 56; 258; 259; 260; 292  
momento · 38; 56; 59; 78; 80; 81; 89; 90; 95; 98; 139; 141; 151; 154; 158; 162; 288; 292; 293; 297  
muratura · 20; 22; 24; 88; 97; 279; 280; 281  
muri · 32; 211; 263  
muro · 32; 157

---

**N**

nodi · 14; 34; 124; 220; 221; 223; 224; 226; 227; 252; 253; 255; 256; 258; 259; 260; 261; 262; 264  
nodo · 81; 142; 155; 160; 221; 222; 224; 225; 226; 227; 228; 252; 253; 255; 256; 258; 259; 260

---

**P**

pali · 55; 60; 61; 103; 104; 108; 118; 158; 159; 160; 183; 230; 289; 290  
palo · 61; 101; 102; 103; 104; 158; 159; 160; 183; 230; 289; 290; 291; 292  
pannello · 31; 33; 56; 57; 58; 59; 61; 89; 90; 104; 106; 123; 124; 125; 126; 133; 225; 280  
parete · 55; 78; 87; 152; 153; 154; 155; 156; 175; 179; 180; 255; 262; 279; 280  
pareti · 11; 31; 33; 55; 78; 87; 88; 97; 152; 153; 154; 155; 160; 162; 255; 260; 291  
periodo · 90; 265  
peso · 13; 26; 32; 36; 38; 39; 42; 44; 62; 108; 157; 168; 259; 260; 261; 263; 290  
piano · 26; 27; 31; 32; 56; 87; 102; 108; 118; 120; 127; 128; 129; 130; 138; 139; 140; 141; 151; 152; 153; 154; 156; 158; 160; 161; 162; 163; 168; 171; 176; 179; 180; 211; 222; 253; 254; 260; 261; 263; 279; 280; 292; 293  
piastra · 163; 252; 255; 260; 262  
piastre · 58; 124; 162; 164; 255; 257; 260  
pilastri · 0; 6; 31; 55; 56; 57; 67; 78; 80; 81; 84; 111; 120; 138; 139; 141; 142; 151; 154; 155; 162; 210; 211; 255; 258; 282  
pilastro · 57; 81; 84; 138; 139; 151; 152; 160; 210; 254  
plinti · 55; 60; 101; 102; 104; 108; 112; 113; 118; 160; 161; 162  
plinto · 60; 101; 102; 158; 159; 160; 161; 162; 183  
Poisson · 15; 64; 257; 258; 260; 261  
pressoflessione · 56; 78; 79; 104; 279; 280; 296  
profilati · 34; 35; 136  
profilato · 34; 35; 45  
proprietà · 1; 128; 129; 133; 134; 138; 139; 140; 141; 151; 152; 153; 160; 161; 256; 258; 260; 261

---

**R**

reazioni · 13; 253; 256  
resistenza · 19; 26; 34; 83; 89; 279; 280; 283; 287; 288; 291; 292

reticolari · 258  
rigidezza · 33; 252; 253; 256; 259; 263; 264; 265  
rigidezze · 160  
risposta · 266  
rotazione · 123; 160; 213; 253; 258; 259; 260; 285  
rotazioni · 123; 255; 258; 260

---

## S

sforzo · 80; 81; 84; 88; 89; 90; 91; 93; 95; 97; 98; 101; 294; 295; 297  
sicurezza · 1; 18; 20; 22; 24; 78; 79; 80; 81; 82; 83; 84; 85; 86; 87; 88; 89; 90; 91; 95; 98; 99; 100; 101; 102; 103; 104; 283; 292; 294  
sisma · 0; 8; 13; 57; 140; 224; 225; 263; 265  
sismica · 1; 8; 156  
sismico · 0; 61; 263  
snellezza · 78; 81; 84; 296  
snervamento · 16; 18; 285  
solai · 26; 32; 35; 36; 38; 40; 55; 59; 98; 99; 108; 119; 120; 211; 220; 252; 263  
solaio · 26; 32; 35; 38; 39; 41; 42; 43; 44; 45; 59; 98; 120; 121; 169; 171  
soletta · 38; 42  
sollecitazione · 76; 258; 260; 261; 264; 283  
sollecitazioni · 0; 13; 46; 48; 76; 252; 253; 255; 283  
spessore · 18; 32; 35; 98; 160; 261; 262; 279; 280; 293  
spettro · 8; 266  
spinta · 290  
spostamenti · 0; 13; 76; 142; 155; 253; 255; 256; 257; 260; 264  
spostamento · 56; 127; 133; 212; 252; 255; 260; 264  
stati limite · 0; 56; 57; 58; 59; 61; 282; 294; 295; 297  
struttura · 0; 1; 3; 4; 5; 6; 10; 12; 13; 26; 27; 31; 32; 33; 34; 44; 46; 48; 59; 69; 75; 76; 77; 106; 108; 119; 122; 125; 126; 128; 156; 157; 159; 160; 168; 212; 213; 220; 221; 223; 252; 253; 255; 256; 262; 263; 264; 265; 281; 287  
strutture · 0; 1; 10; 35; 60; 263; 287  
superficie · 7; 32; 61; 102; 108; 256; 261; 262; 289; 290; 291; 292  
svergolamento · 79; 83; 293

## T

taglio · 15; 16; 19; 20; 22; 55; 59; 78; 79; 80; 89; 100; 102; 104; 252; 257; 261; 262; 280; 289; 291; 292; 295  
telai · 108; 118; 125; 157; 158; 211  
telaio · 108; 125; 157; 158; 176; 179; 180  
tensione · 56; 57; 59; 62; 78; 79; 80; 81; 99; 100; 101; 102; 104; 256; 257; 279; 280; 285; 287; 288; 291; 292; 294; 295; 297  
tensioni · 56; 57; 59; 62; 78; 253; 256; 257; 262; 283; 284; 285; 287; 288; 293  
teoria · 0; 61; 253; 261  
Terzaghi · 61; 289; 290  
torsione · 78; 79; 80; 86; 253; 254  
travate · 108; 121  
trave · 56; 59; 98; 108; 119; 120; 140; 141; 142; 153; 155; 169; 170; 224; 225; 252; 254; 258; 259; 260; 293  
travi · 0; 6; 32; 33; 36; 55; 56; 67; 78; 79; 80; 81; 82; 83; 84; 86; 108; 120; 128; 140; 141; 142; 151; 154; 155; 162; 163; 168; 169; 171; 210; 211; 252; 255; 258; 259; 282; 293  
trazione · 15; 18; 19; 85; 87; 283; 284; 287; 288; 294

---

## U

unioni · 121

## V

vincoli · 84; 220; 227; 255; 282  
vincolo · 33; 59; 159; 160; 227; 228