BERGAMO – 27/09/2018

Costruzioni in acciaio in zona sismica ai sensi delle nuove NTC18

Applicazioni con PRO_SAP

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI BERGAMO
COMMISSIONE STRUTTURE
Con il Patrocinio di INARSIND - Bergamo

SOFTWARE E SERVIZI PER L'INGEGNERIA s.r.l.

www.2si.it
Ing. Mirco Basaglia
basaglia@2si.it

INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa (ESEMPIO 2)
  - Applicazione pratica
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

Chi siamo

2S.I. è l’azienda italiana che produce e distribuisce il software di calcolo strutturale PRO_SAP.

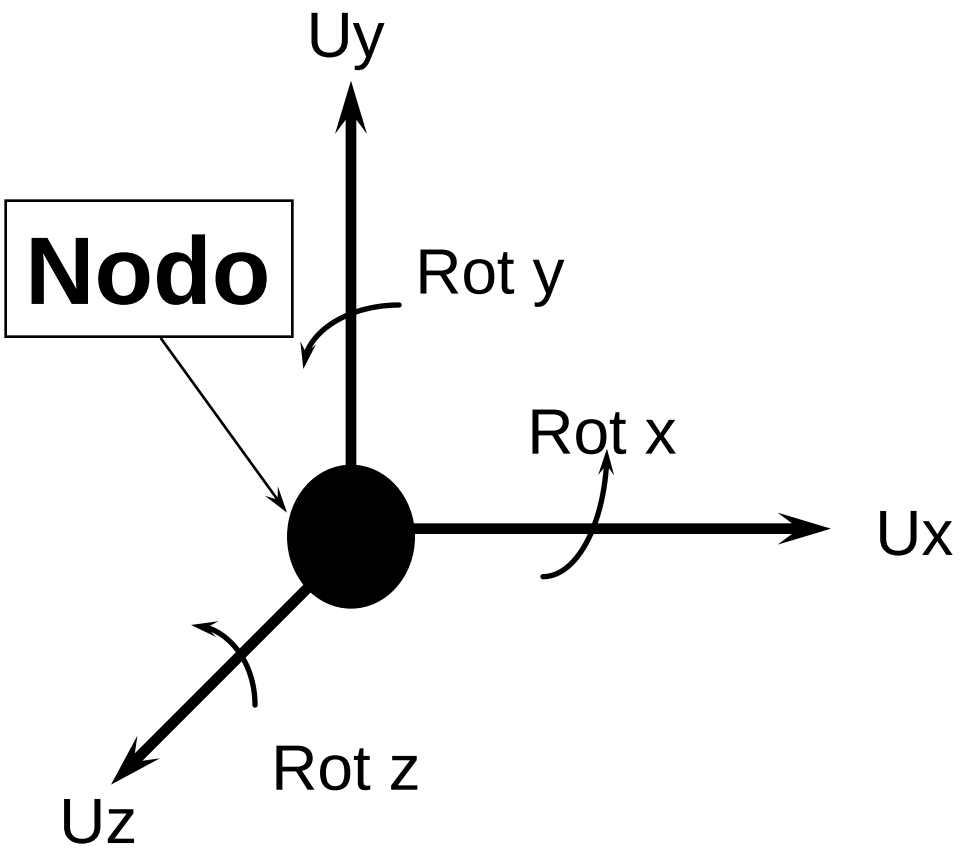
PRO_SAP progetta cemento armato, acciaio, muratura ordinaria e armata, legno, XLAM, travi reticolari miste, pareti estese debolmente armate, rinforzi in FRP per muratura e c.a. esistenti.

Il metodo degli elementi finiti

- Il Metodo degli Elementi Finiti (FEM) è una soluzione matematica a problemi ingegneristici ottenuta discretizzando il problema fisico attraverso NODI ed ELEMENTI.
- Si applica non solo al calcolo strutturale ma a moltissimi problemi ingegneristici (trasmissione del calore, fluidodinamica, geotecnica, …)

Gradi di libertà

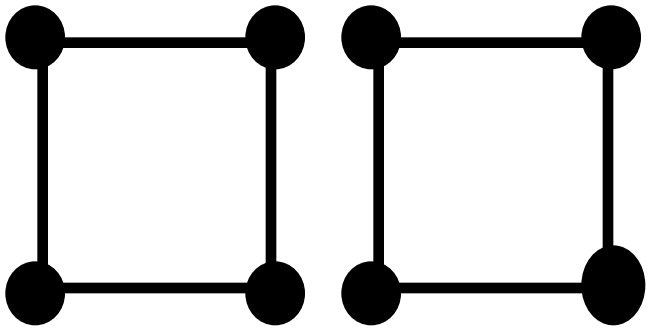
- Le incognite in un problema FEM sono riferite ai gradi di libertà
- I gradi di libertà dipendono dal tipo di elemento e di analisi



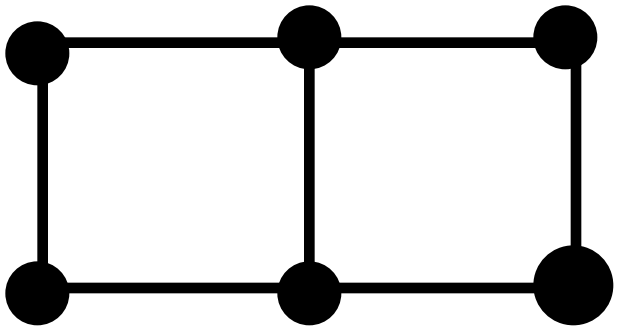
Connettività degli elementi

- **Un elemento trasferisce i carichi ad un altro attraverso i nodi comuni**

Nessuna comunicazione tra gli elementi



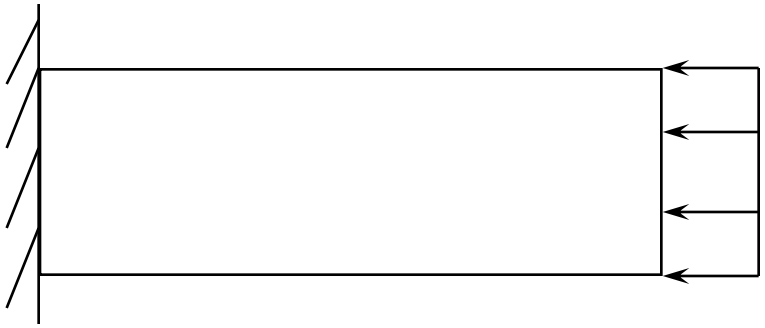
Comunicazione Tra gli elementi



Legame tensione-deformazione

Le equazioni base che legano forza, tensione e deformazione per una <u>semplice asta</u> sono le seguenti:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

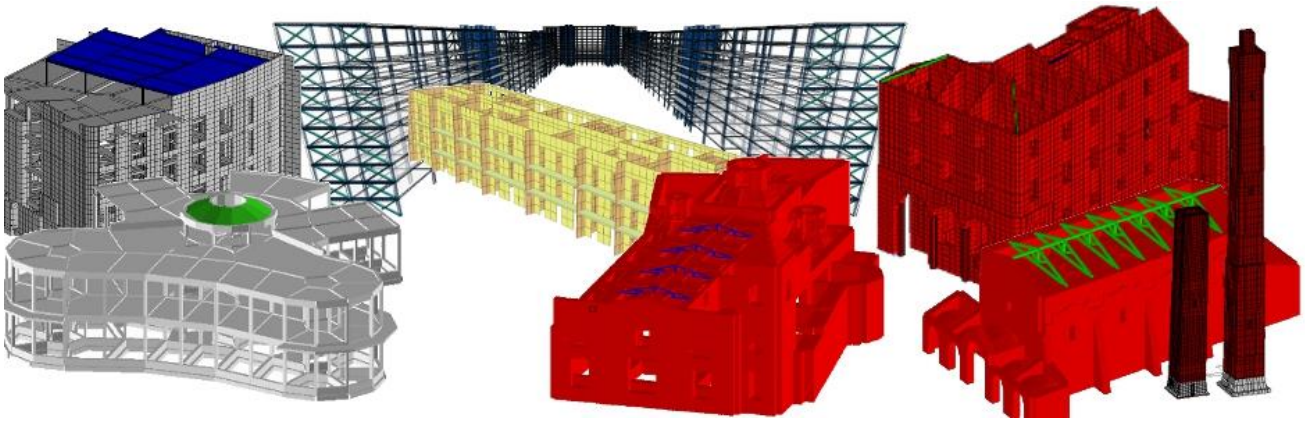


$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\delta = \int_0^L \varepsilon \, dx \quad \Rightarrow \quad \delta = \frac{FL}{AE}$$

Metodo degli elementi finiti

- Le equazioni base non necessitano di un computer per essere risolte.
- Il computer è necessario quando aumenta la complessità del problema:
  - Geometrie complesse
  - Variazione di materiale tra le parti di una struttura
  - Necessità di molteplici casi di carco e combinazioni
  - Necessità di analisi dinamiche



Caso generale (elasticità lineare)

I gradi di libertà di ciascun elemento si combinano per formare una equazione matriciale. Per determinare lo spostamento di una semplice asta sottoposta ad una forza l'equazione è:

$$\{f\} = [K]\,\{d\}$$

Noti

incognita

Dove: {f} = vettore delle forze
[K] = matrice di rigidezza
{d} = vettore degli spostamenti nodali

Soluzione FEM

- La soluzione può essere ottenuta attraverso l'algebra matriciale nel seguente modo:

$$\{\mathbf{d}\} = [\mathbf{K}]^{-1} \{\mathbf{f}\}$$

- $[K]^{-1}$ è ottenuta per fattorizzazione
- Una volta noti gli spostamenti dei nodi è noto il campo di spostamenti in ogni elemento → il campo di deformazioni $\boldsymbol{\varepsilon}$ è noto per derivazione
- Le tensioni $\boldsymbol{\sigma}$ si ottengono partendo dalle deformazioni attraverso la legge di Hooke generalizzata

Soluzione FEM

- Le tensioni e le deformazioni sono ottenute a partire dagli spostamenti

È molto importante il controllo dei risultati delle analisi e in particolare degli spostamenti per assicurarsi che i risultati dell'analisi siano corretti.

Fasi del progetto di una struttura

Fasi dell'analisi per cui non serve il software:

Definizione del sistema costruttivo e dello schema strutturale
Dimensionamento di massima (o rilievo dell'esistente)
Identificazione dei materiali
Analisi dei carichi
Scelta del tipo di analisi

Fasi dell'analisi per cui è utile/necessario il software:

Modellazione
Esecuzione analisi
Controllo dei risultati
Progettazione degli elementi strutturali
Controllo dei risultati della progettazione
Generazione degli esecutivi
Controllo dei disegni esecutivi

INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

Criteri generali di progettazione

COMPORTAMENTO STRUTTURALE

Le costruzioni soggette all'azione sismica, non dotate di appositi dispositivi d'isolamento e/o dissipativi, devono essere progettate in accordo con uno dei seguenti comportamenti strutturali:

a) ***comportamento strutturale non dissipativo***,

oppure

b) ***comportamento strutturale dissipativo.***

Per ***comportamento strutturale non dissipativo***, nella valutazione della domanda tutte le membrature e i collegamenti rimangono in campo elastico o sostanzialmente elastico; la domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce, ma indipendentemente dalla tipologia strutturale e senza tener conto delle non linearità di materiale, attraverso un modello elastico (v. § 7.2.6)

Per ***comportamento strutturale dissipativo***, nella valutazione della domanda un numero elevato di membrature e/o collegamenti evolvono in campo plastico, mentre la restante parte della struttura rimane in campo elastico o sostanzialmente elastico; la domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce e della tipologia strutturale, tenendo conto della capacità dissipativa legata alle non linearità di materiale. Se la capacità dissipativa è presa in conto implicitamente attraverso il fattore di comportamento q (v. § 7.3), si adotta un modello elastico; se la capacità dissipativa è presa in conto esplicitamente, si adotta un'adeguata legge costitutiva (v. § 7.2.6).

CLASSI DI DUTTILITÀ

Una costruzione a comportamento strutturale dissipativo deve essere progettata per conseguire una delle due Classi di Duttilità (CD):

- Classe di Duttilità Alta (CD"A"), ad elevata capacità dissipativa;
- Classe di Duttilità Media (CD"B"), a media capacità dissipativa.

La differenza tra le due classi risiede nell'entità delle plasticizzazioni previste, in fase di progettazione, sia a livello locale sia a livello globale.

Costruzioni in Acciaio

7.5. COSTRUZIONI DI ACCIAIO

Nel caso di comportamento strutturale non dissipativo la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al § 4.2 delle presenti norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Nel caso di comportamento strutturale dissipativo la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui dal § 7.1 al § 7.3 delle presenti norme, integrate dalle regole di progettazione e di dettaglio fornite dal § 7.5.3 al § 7.5.6. Le strutture devono essere progettate in maniera tale che i fenomeni di degrado e riduzione di rigidezza che si manifestano nelle zone dissipative non pregiudichino la stabilità globale della struttura.

Nelle zone dissipative, al fine di assicurare che le stesse si formino in accordo con quanto previsto in progetto, la possibilità che il reale limite di snervamento dell'acciaio sia maggiore del limite nominale deve essere tenuta in conto attraverso un opportuno coefficiente γ_{ov}, definito al § 7.5.1.

Gli elementi non dissipativi delle strutture dissipative e i collegamenti tra le parti dissipative ed il resto della struttura devono possedere una capacità sufficiente a consentire lo sviluppo della plasticizzazione ciclica delle parti dissipative.

7.5.1. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

L'acciaio strutturale deve essere conforme ai requisiti del § 11.3.4.9.

La distribuzione delle proprietà del materiale, nella struttura, quali la tensione di snervamento e la tenacità deve essere tale che le zone dissipative si formino dove stabilito nella progettazione.

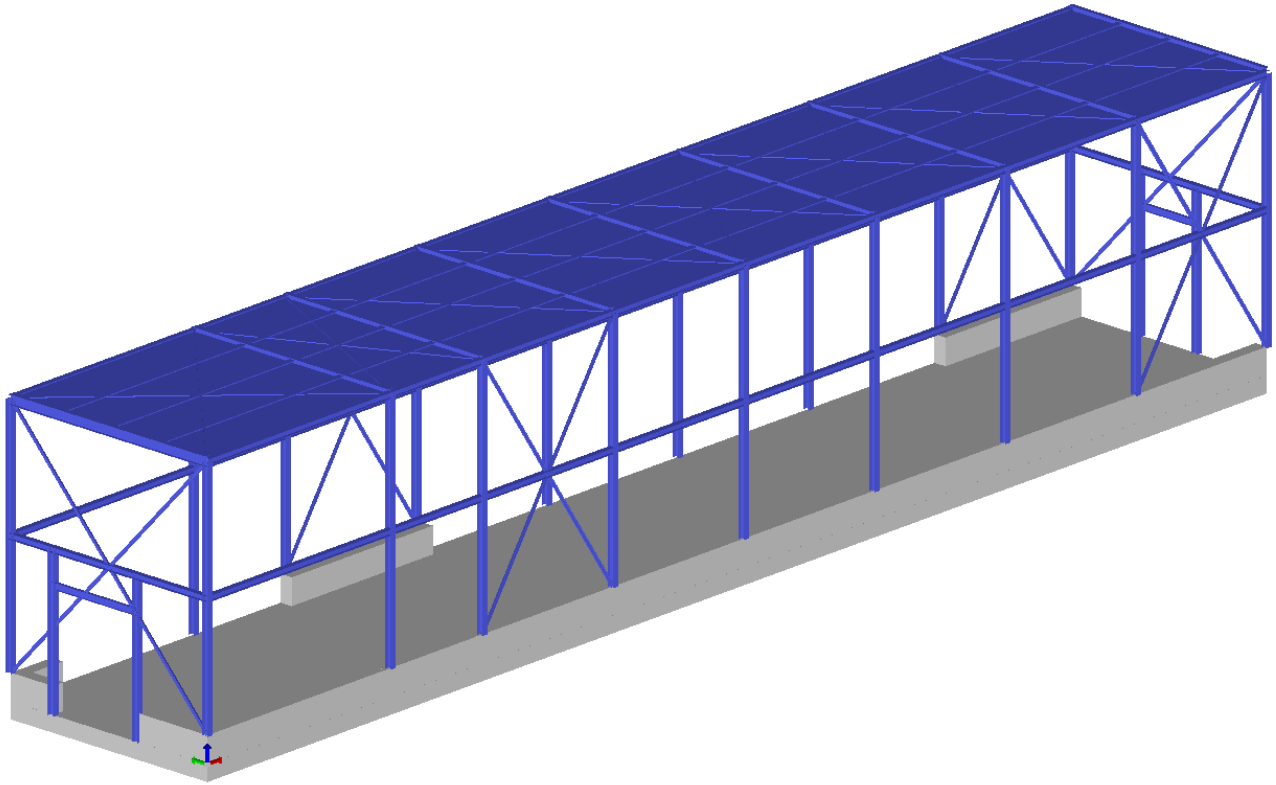
Ai fini della progettazione, il fattore di sovraresistenza del materiale, γ_{ov} è assunto pari a 1,25 per gli acciai tipo S235, S275 ed S355 e pari a 1,15 per gli acciai tipo S420 e S460.

INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

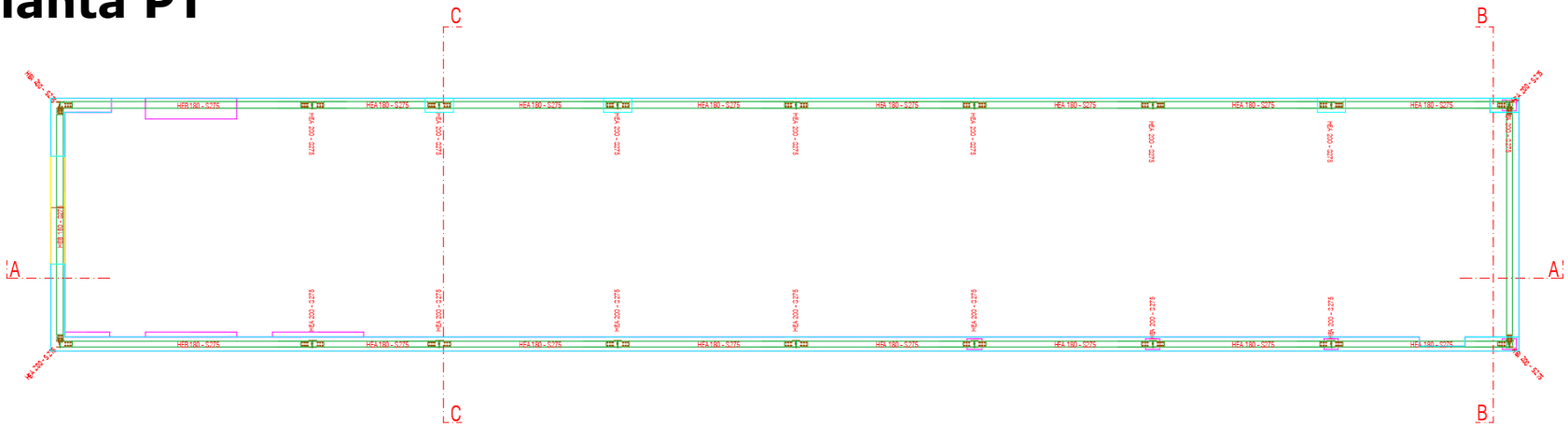
Applicazioni con PRO_SAP

1) Capannone in acciaio

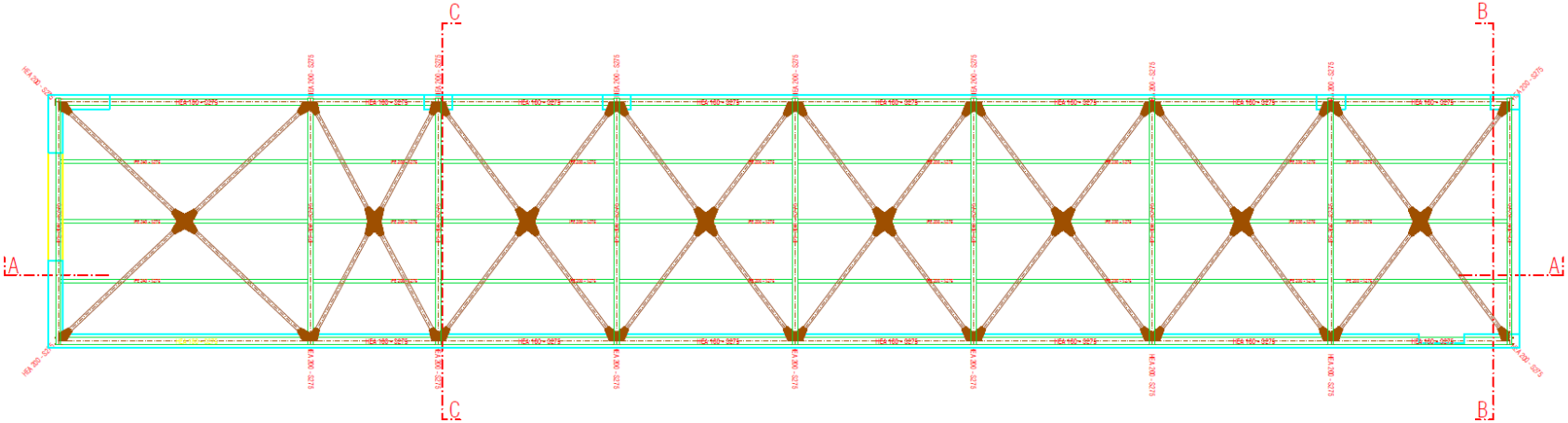


Applicazioni con PRO_SAP

Pianta PT

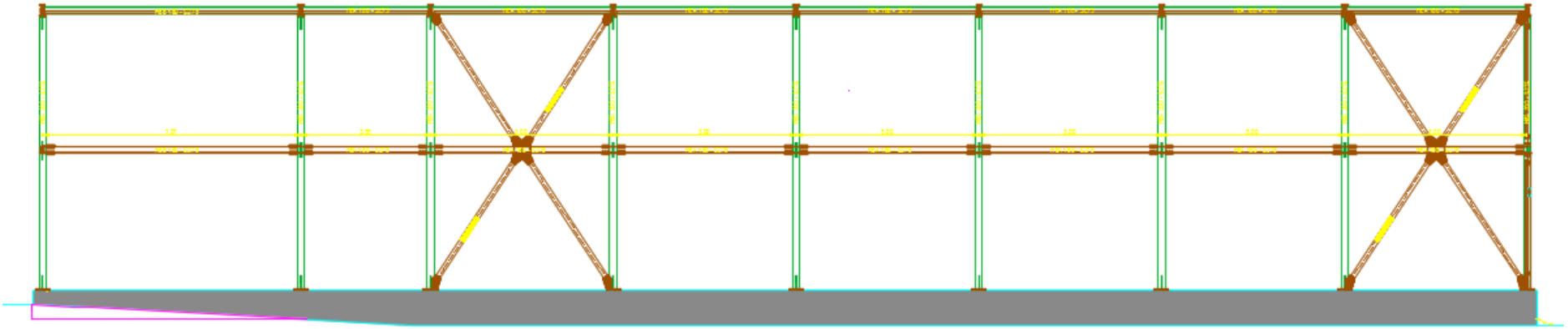


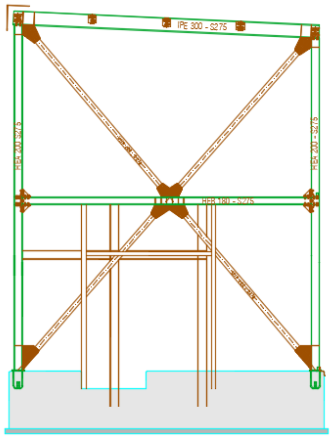
Pianta copertura

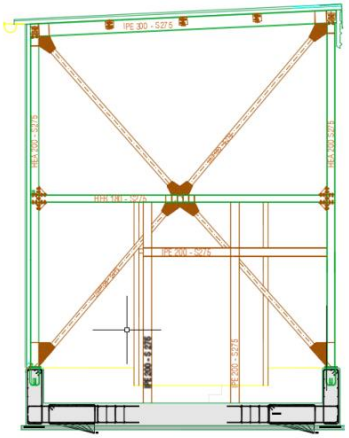


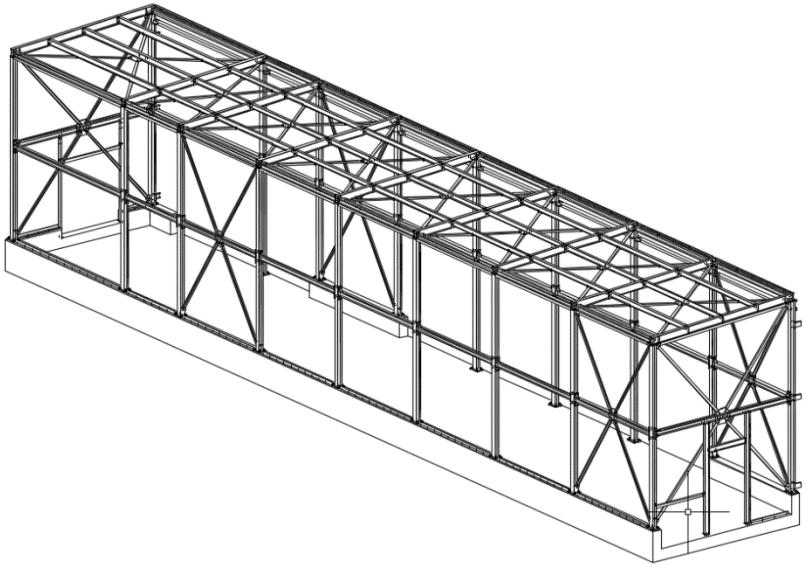
Applicazioni con PRO_SAP

Prospetti e assonometria





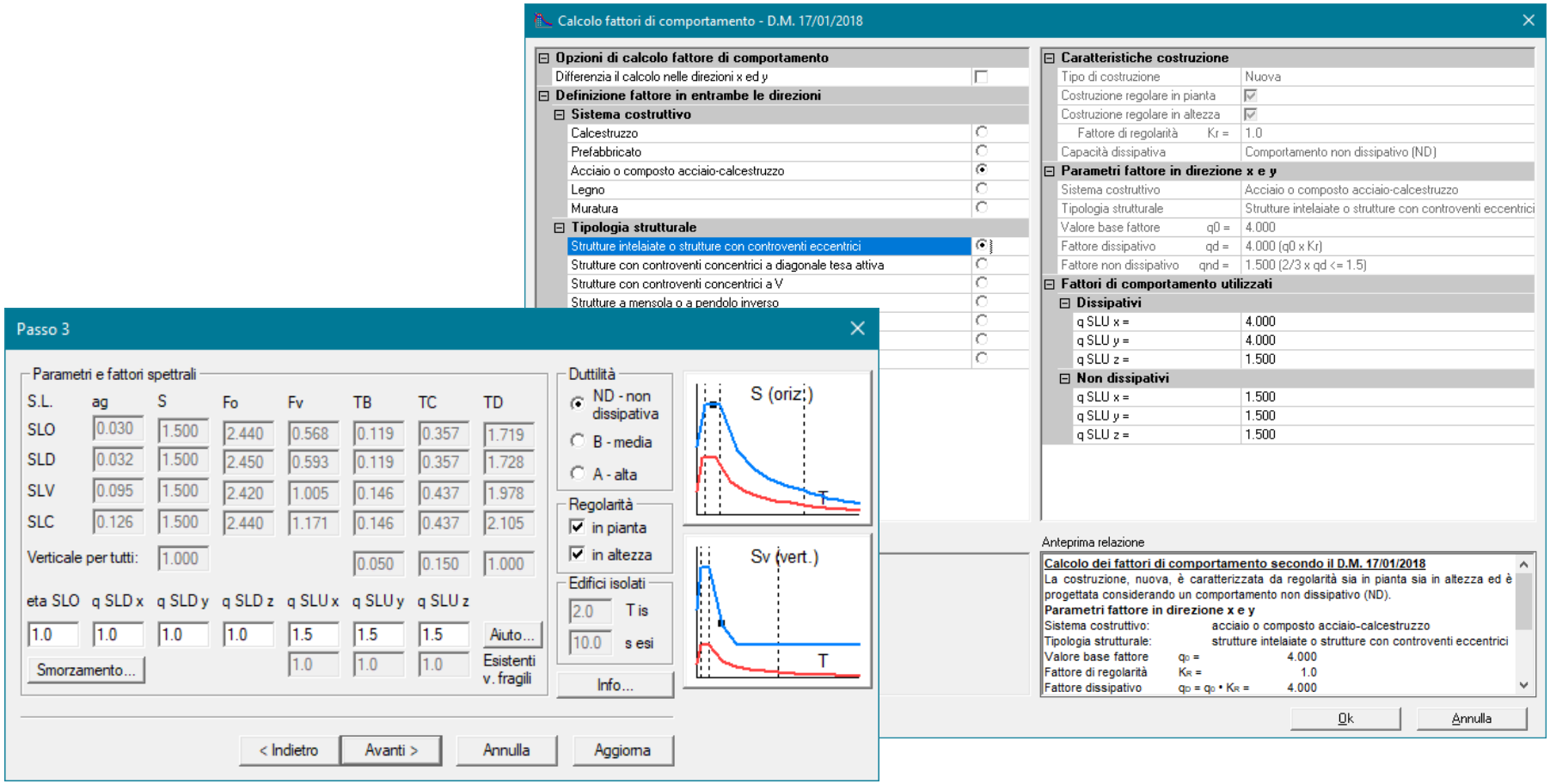




INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

Fattore di comportamento

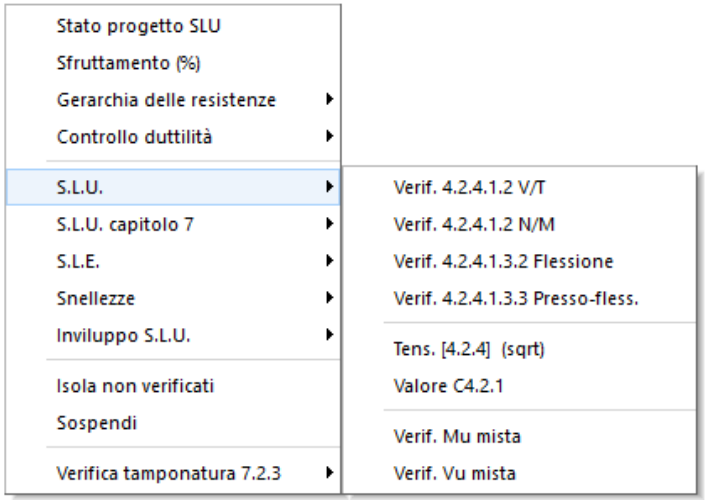


Comportamento strutturale **NON dissipativo (1 ≤q≤1.5)**

INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

Verifiche: struttura NON dissipativa



Il programma effettua sia per le combinazioni **CON** il sisma che per le combinazioni **SENZA** il sisma le verifiche previste dal capitolo 4 delle NTC18

Tutte le verifiche sono normalizzate: perché siano soddisfatte devono risultare **<1**.

Il calcolo dei collegamenti è fatto sulla base delle sollecitazioni senza prevedere sovra resistenze.

Verifiche: struttura NON dissipativa

- Verifica V/T a taglio-torsione (OK se < 1)

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \qquad [4.2.16]$$

- In presenza di SOLO TAGLIO la resistenza a taglio vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \qquad [4.2.17]$$

- In presenza di torsione la resistenza a taglio viene ridotta ed è data dalla formula 4.2.24 per sezioni ad I o ad H o dalla 4.2.25 per sezioni cave.

$$V_{c,Rd,red} = V_{c,Rd} \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1{,}25 \cdot f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})}} \qquad [4.2.24]$$

$$V_{c,Rd,red} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} \right] V_{c,Rd} \qquad [4.2.25]$$

Verifiche: struttura NON dissipativa

- Verifica N/M a presso-flessione (OK se < 1)

Per sezioni ad I o ad H di classe 1 e 2 doppiamente simmetriche, soggette a tenso o presso-flessione biassiale viene applicata la verifica 4.2.38:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^{2} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^{5n} \leq 1 \qquad [4.2.38]$$

Per sezioni generiche viene applicata la verifica 4.2.39:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right) + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right) \leq 1 \qquad [4.2.39]$$

Verifiche: struttura NON dissipativa

- Verifica a flessione (STABILITA') (OK se < 1)

Una trave con sezione ad I o H soggetta a flessione nel piano dell'anima, deve essere verificata nei riguardi dell'instabilità flesso torsionale secondo la formula

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1 \qquad [4.2.48]$$

Il momento resistente è valutato mediante la formula:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} \qquad [4.2.49]$$

Verifiche: struttura NON dissipativa

- Verifica a presso-flessione (STABILITA' e SVERGOLAMENTO) (OK se < 1)

La verifica è condotta secondo il paragrafo *C4.2.4.1.3.3.1 (Metodo A)

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{yeq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{zeq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} \leq 1 \qquad (C4.2.36)$$

*In attesa della pubblicazione della nuova circolare applicativa le verifiche vengono condotte con riferimento alla circolare n°617 del 2 Febbraio 2009

Verifiche: struttura NON dissipativa

- Tensione 4.2.5 *(non influisce sullo stato di verifica)*

Rappresenta il valore della tensione espressa dalla formula 4.2.5 (sotto radice) da confrontare con il valore di f_{yk} / γ_{M0}

$$\sigma_{x,Ed}^{2} + \sigma_{z,Ed}^{2} - \sigma_{z,Ed}\sigma_{x,Ed} + 3\,\tau_{Ed}^{2} \leq \left(f_{yk} / \gamma_{M0}\right)^{2} \qquad [4.2.4]$$

Esempio:

fyk= 2750 kg/cmq
γ_{M0} = 1.05

Bisogna confrontare il valore dato da PRO_SAP con 2619 Kg/cmq

Verifiche: struttura NON dissipativa

- Tensione C4.2.1 (non influisce sullo stato di verifica)

Rappresenta il valore della tensione espressa dalla formula *C4.2.1

Ad eccezione delle verifiche di stabilità, che devono essere condotte con stretto riferimento alla classificazione della Tabella 4.2.I delle NTC, una parte di sezione di classe 4 può essere trattata come una parte di sezione di classe 3 se è caratterizzata da un rapporto larghezza/spessore entro il limite previsto per la classe 3, incrementato di $\bar{k}$,

$$\bar{k} = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0} \cdot \sigma_{c,Ed}}}$$

*In attesa della pubblicazione della nuova circolare applicativa le verifiche vengono condotte con riferimento alla circolare n°617 del 2 Febbraio 2009

INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

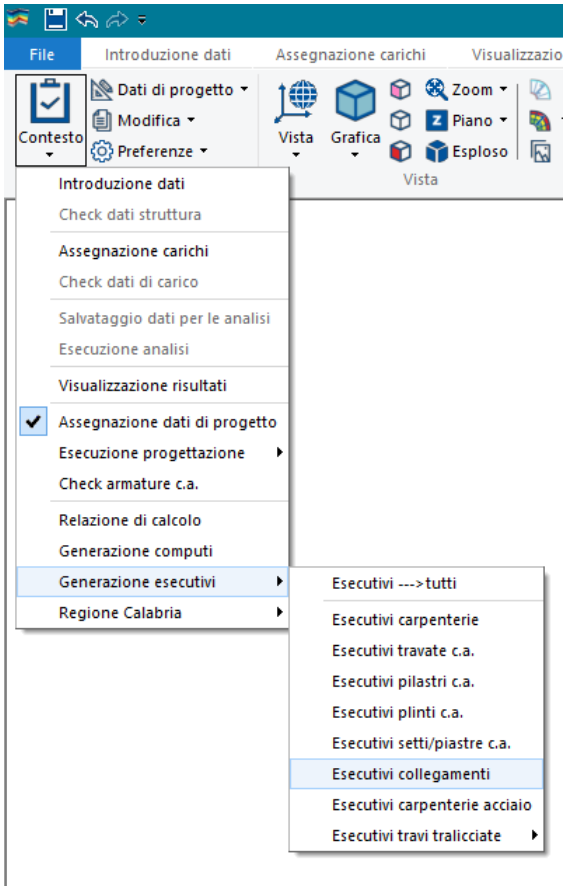
Calcolo nodi

Una volta ultimata la progettazione della struttura in acciaio è sufficiente cliccare il comando:

Contesto → Generazione esecutivi → Esecutivi collegamenti

Nella cartella disegni del modello verranno realizzati i file con le geometrie e le sollecitazioni di **tutti** i nodi della struttura.

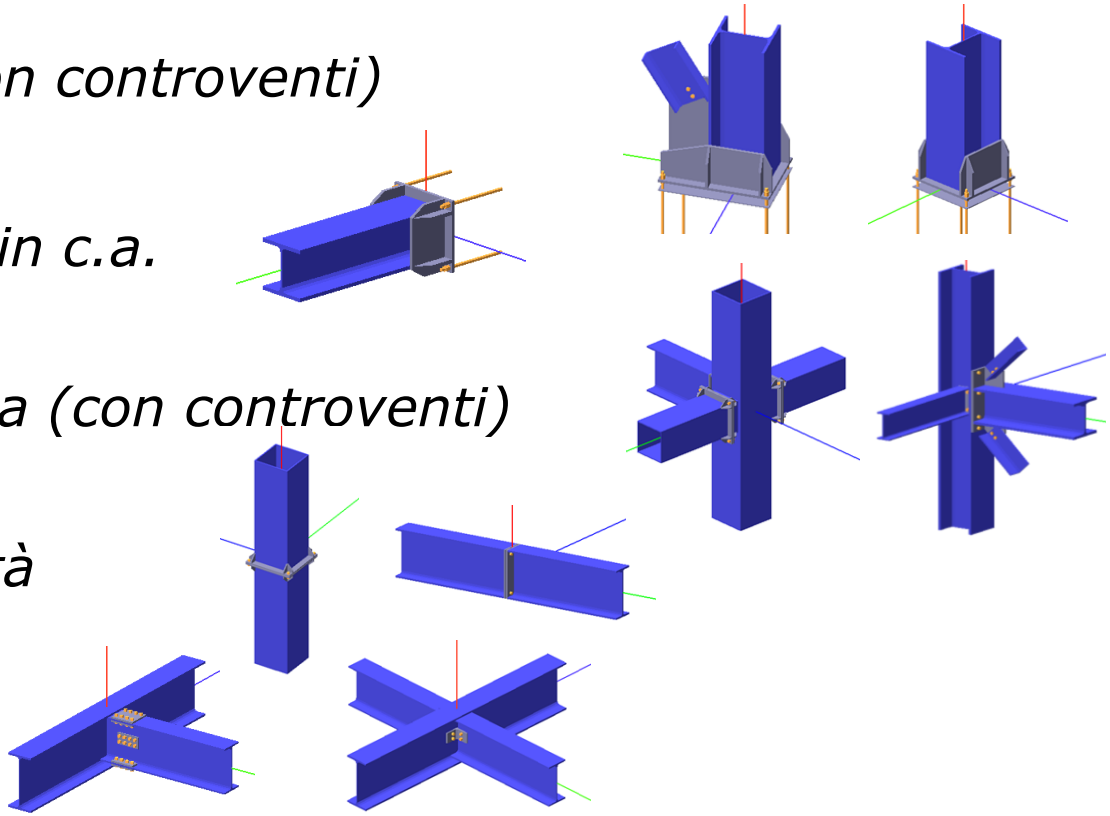
Dal menù *Controlla* è invece possibile generare l'esecutivo del **singolo** collegamento.



Calcolo nodi

È possibile calcolare in automatico i seguenti collegamenti:

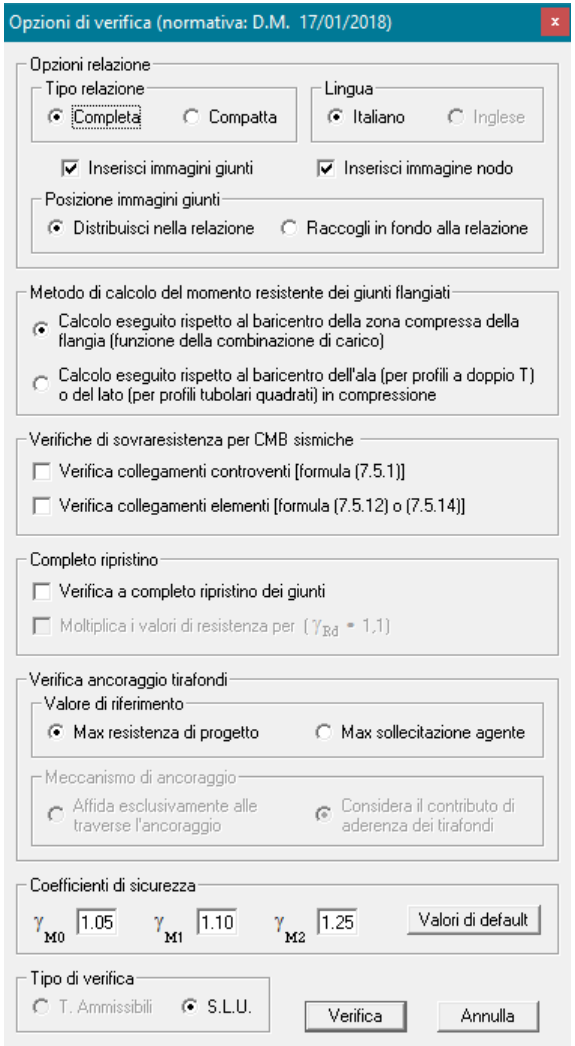
- *Piastra di base (con controventi)*
- *Attacco su parete in c.a.*
- *Nodo trave colonna (con controventi)*
- *Giunto di continuità*
- *Nodo trave-trave*



Il programma raggruppa automaticamente i nodi simili ed esporta le sollecitazioni dal modello, è possibile eseguire le verifiche delle bullonature ed esportare i disegni e le relazioni di calcolo.

Calcolo nodi

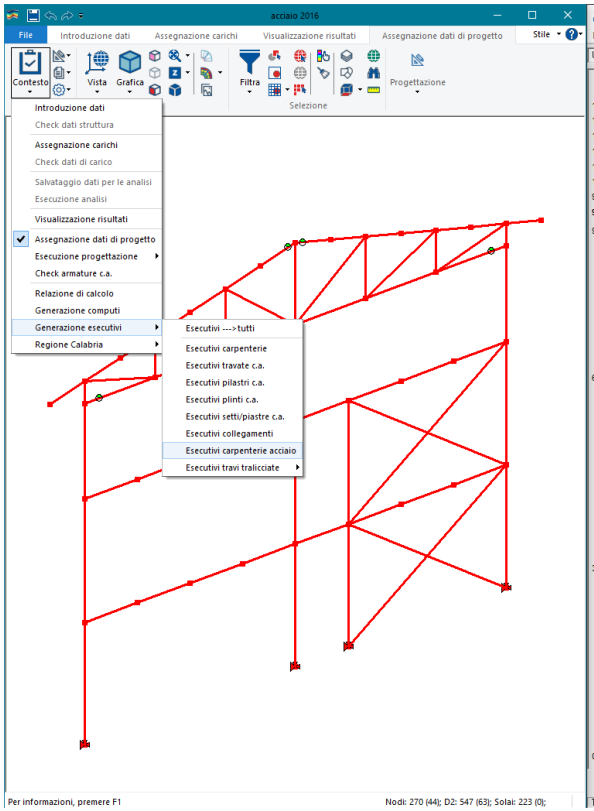
Nel caso di ***struttura non dissipativa*** il calcolo dei collegamenti è effettuato sulla base delle sollecitazioni senza prevedere sovra-resistenze.

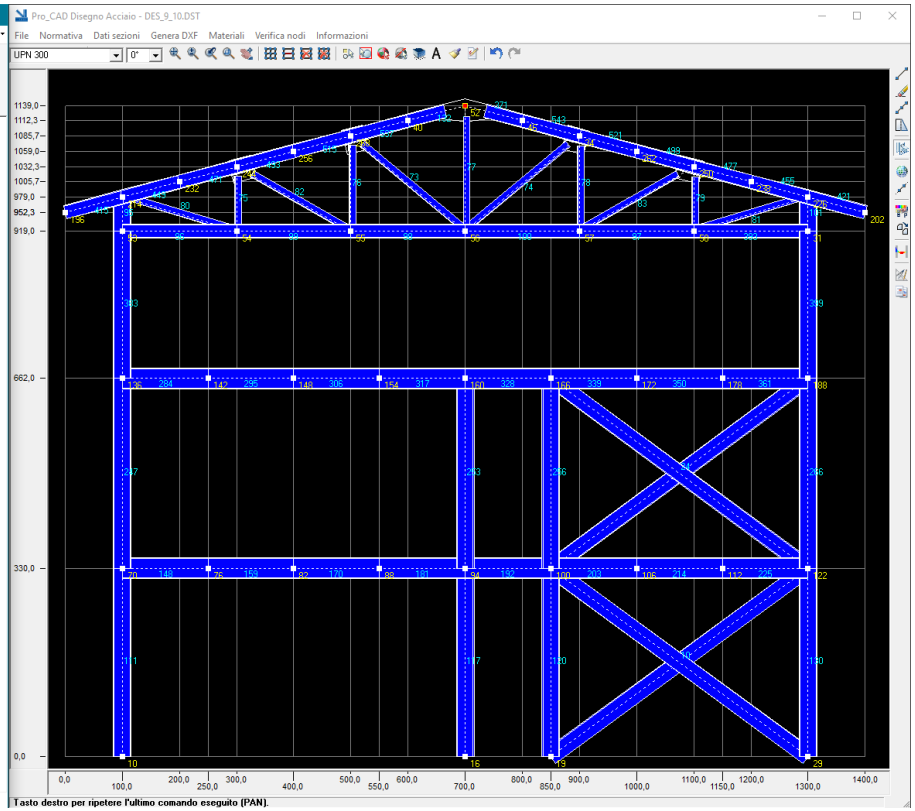


Calcolo nodi

Per realizzare l'esecutivo di una **reticolare** è sufficiente selezionare due aste complanari e cliccare:

Contesto → Generazione esecutivi → Carpenterie acciaio

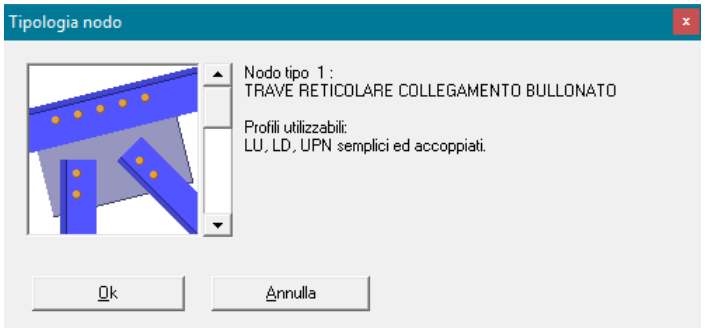


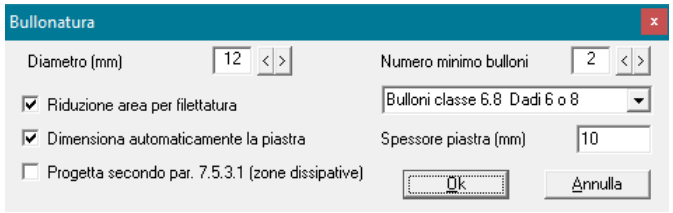


Calcolo nodi

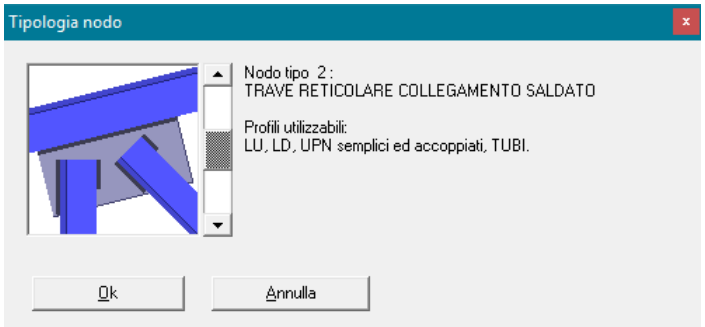
Per ciascuna tipologia di nodo è possibile dimensionare automaticamente le piastre. Nel caso di comportamento non dissipativo il calcolo del collegamento è effettuato senza prevedere sovra-resistenze.

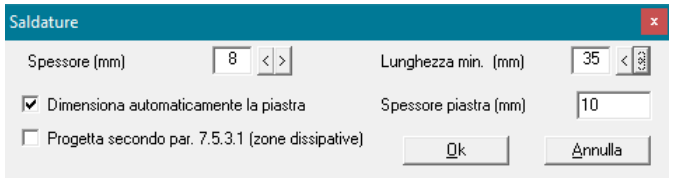
- **Collegamento bullonato**





- **Collegamento saldato**





INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

Criteri generali di progettazione

COMPORTAMENTO STRUTTURALE

Le costruzioni soggette all'azione sismica, non dotate di appositi dispositivi d'isolamento e/o dissipativi, devono essere progettate in accordo con uno dei seguenti comportamenti strutturali:

a) ***comportamento strutturale non dissipativo,***

oppure

b) ***comportamento strutturale dissipativo.***

Per ***comportamento strutturale non dissipativo***, nella valutazione della domanda tutte le membrature e i collegamenti rimangono in campo elastico o sostanzialmente elastico; la domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce, ma indipendentemente dalla tipologia strutturale e senza tener conto delle non linearità di materiale, attraverso un modello elastico (v. § 7.2.6)

Per ***comportamento strutturale dissipativo***, nella valutazione della domanda un numero elevato di membrature e/o collegamenti evolvono in campo plastico, mentre la restante parte della struttura rimane in campo elastico o sostanzialmente elastico; la domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce e della tipologia strutturale, tenendo conto della capacità dissipativa legata alle non linearità di materiale. Se la capacità dissipativa è presa in conto implicitamente attraverso il fattore di comportamento q (v. § 7.3), si adotta un modello elastico; se la capacità dissipativa è presa in conto esplicitamente, si adotta un'adeguata legge costitutiva (v. § 7.2.6).

CLASSI DI DUTTILITÀ

Una costruzione a comportamento strutturale dissipativo deve essere progettata per conseguire una delle due Classi di Duttilità (CD):

- Classe di Duttilità Alta (CD"A"), ad elevata capacità dissipativa;
- Classe di Duttilità Media (CD"B"), a media capacità dissipativa.

La differenza tra le due classi risiede nell'entità delle plasticizzazioni previste, in fase di progettazione, sia a livello locale sia a livello globale.

Costruzioni in Acciaio

Le strutture sismo-resistenti in acciaio possono essere distinte, in accordo con il loro comportamento, nelle seguenti tipologie strutturali:

a) **Strutture intelaiate**: composte da telai che resistono alle forze orizzontali con un comportamento prevalentemente flessionale.

b) **Strutture con controventi concentrici**: nei quali le forze orizzontali sono assorbite principalmente da membrature soggette a forze assiali.

c) **Strutture con controventi eccentrici**

d) **Strutture a mensola o a pendolo inverso**

e) **Strutture intelaiate con controventi concentrici**

f) **Strutture intelaiate con tamponature**

Costruzioni d'acciaio (§ 7.5.2.2) e composte di acciaio-calcestruzzo (§ 7.6.2.2)		
Strutture intelaiate Strutture con controventi eccentrici	$5{,}0\ \alpha_u/\alpha_1$	4,0
Strutture con controventi concentrici a diagonale tesa attiva Strutture con controventi concentrici a V	4,0 2,5	4,0 2,0
Strutture a mensola o a pendolo inverso	$2{,}0\ \alpha_u/\alpha_1$	2,0
Strutture intelaiate con controventi concentrici	$4{,}0\ \alpha_u/\alpha_1$	4,0
Strutture intelaiate con tamponature in murature	2,0	2,0

Costruzioni in Acciaio

7.5. COSTRUZIONI DI ACCIAIO

Nel caso di comportamento strutturale non dissipativo la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al § 4.2 delle presenti norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Nel caso di comportamento strutturale dissipativo la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui dal § 7.1 al § 7.3 delle presenti norme, integrate dalle regole di progettazione e di dettaglio fornite dal § 7.5.3 al § 7.5.6. Le strutture devono essere progettate in maniera tale che i fenomeni di degrado e riduzione di rigidezza che si manifestano nelle zone dissipative non pregiudichino la stabilità globale della struttura.

Nelle zone dissipative, al fine di assicurare che le stesse si formino in accordo con quanto previsto in progetto, la possibilità che il reale limite di snervamento dell'acciaio sia maggiore del limite nominale deve essere tenuta in conto attraverso un opportuno coefficiente γ_{ov}, definito al § 7.5.1.

Gli elementi non dissipativi delle strutture dissipative e i collegamenti tra le parti dissipative ed il resto della struttura devono possedere una capacità sufficiente a consentire lo sviluppo della plasticizzazione ciclica delle parti dissipative.

7.5.1. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

L'acciaio strutturale deve essere conforme ai requisiti del § 11.3.4.9.

La distribuzione delle proprietà del materiale, nella struttura, quali la tensione di snervamento e la tenacità deve essere tale che le zone dissipative si formino dove stabilito nella progettazione.

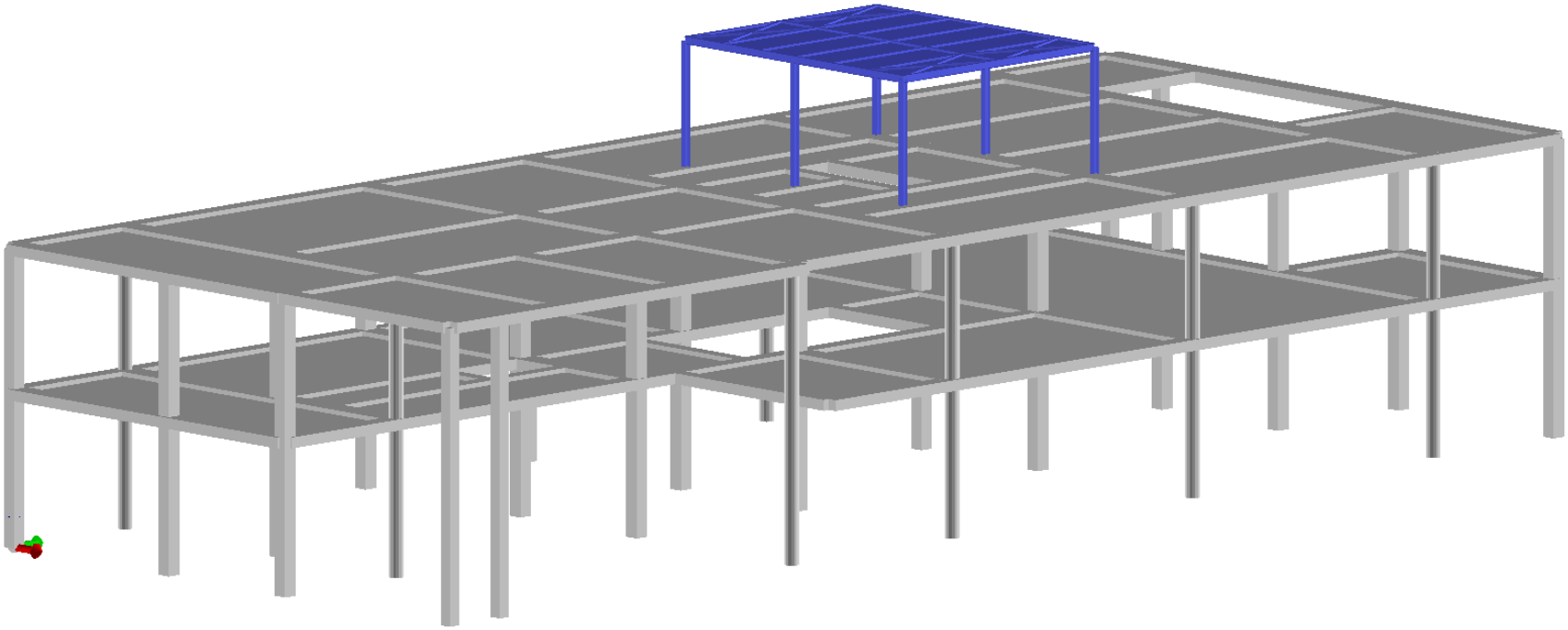
Ai fini della progettazione, il fattore di sovraresistenza del materiale, γ_{ov} è assunto pari a 1,25 per gli acciai tipo S235, S275 ed S355 e pari a 1,15 per gli acciai tipo S420 e S460.

INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

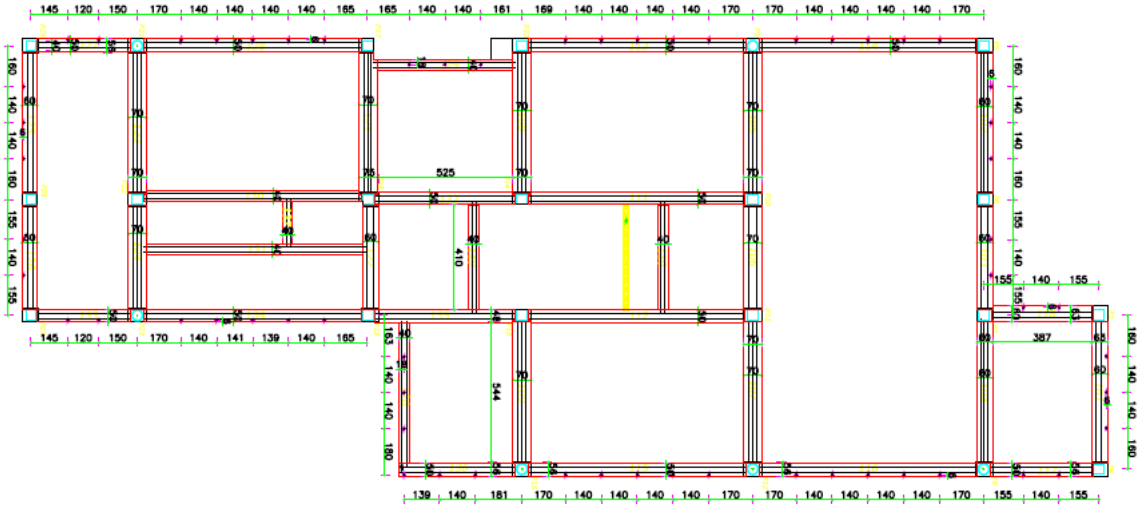
Applicazioni con PRO_SAP

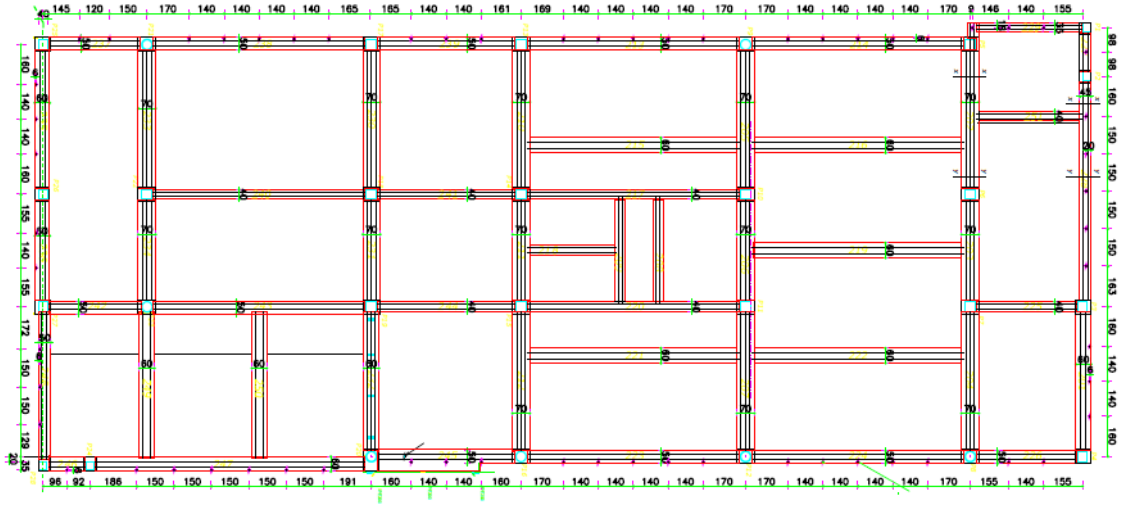
2) Edificio in c.a. con sopraelevazione in acciaio



Applicazioni con PRO_SAP

Pianta impalcato 1

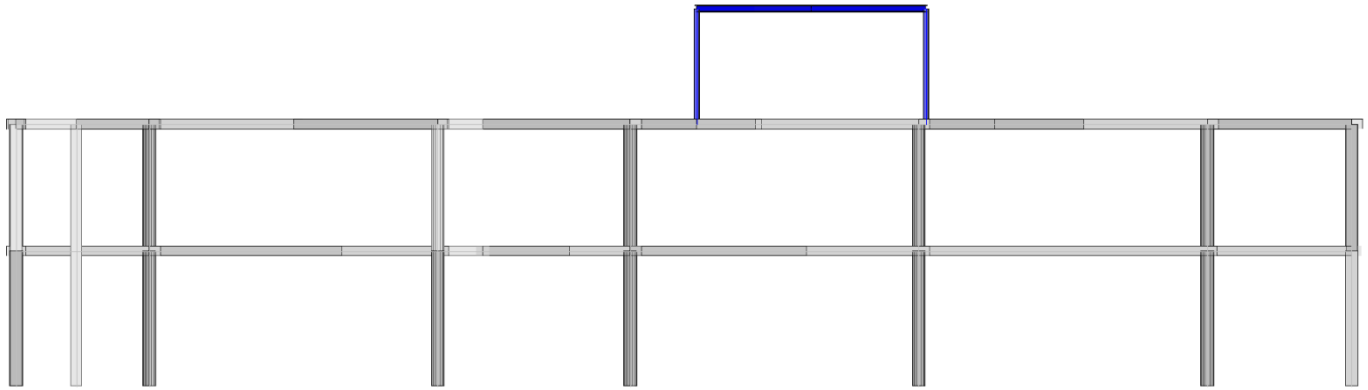


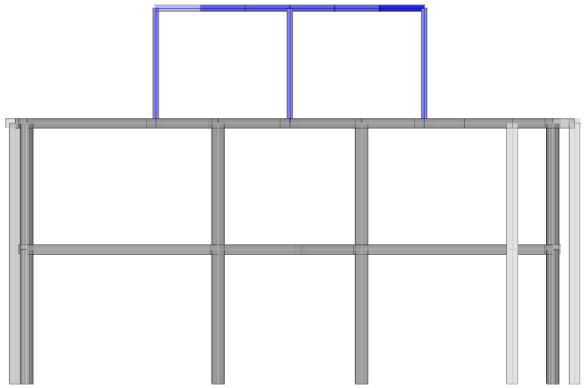


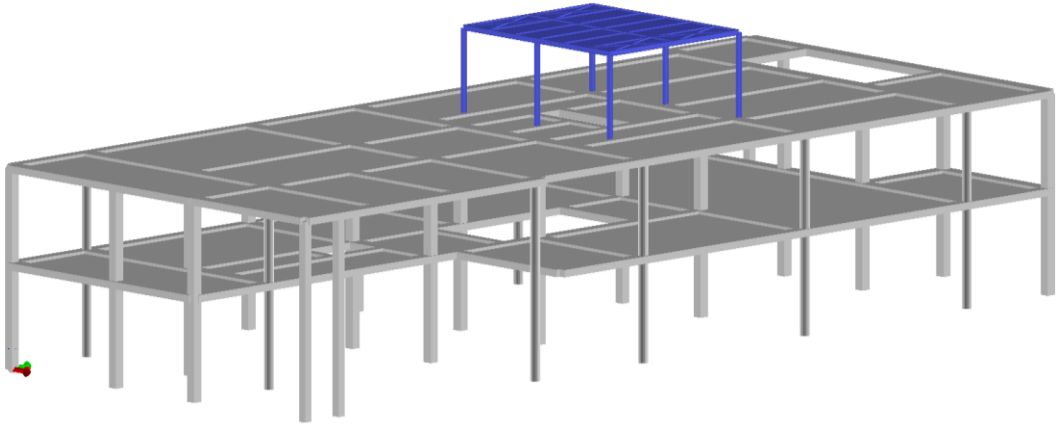
Pianta impalcato 2

Applicazioni con PRO_SAP

Prospetti e assonometria



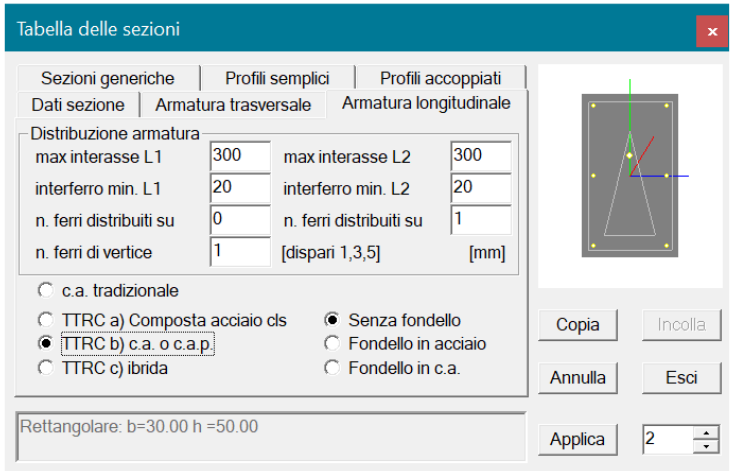




Applicazioni con PRO_SAP

TRAVI PREM

- Facilità montaggio
- Autoportante in fase di montaggio
- Traslazione del momento in campata
  - Minore armatura sui pilastri
  - Verifiche dei nodi meno gravose
- Esportazione delle sollecitazioni e progetto a cura della ditta costruttrice



Applicazioni con PRO_SAP

TRAVI PREM

Fase 1: posa a secco di travi e solai e getto integrativo, le **travi** sono vincolate agli appoggi con vincolo di cerniera o carrello.

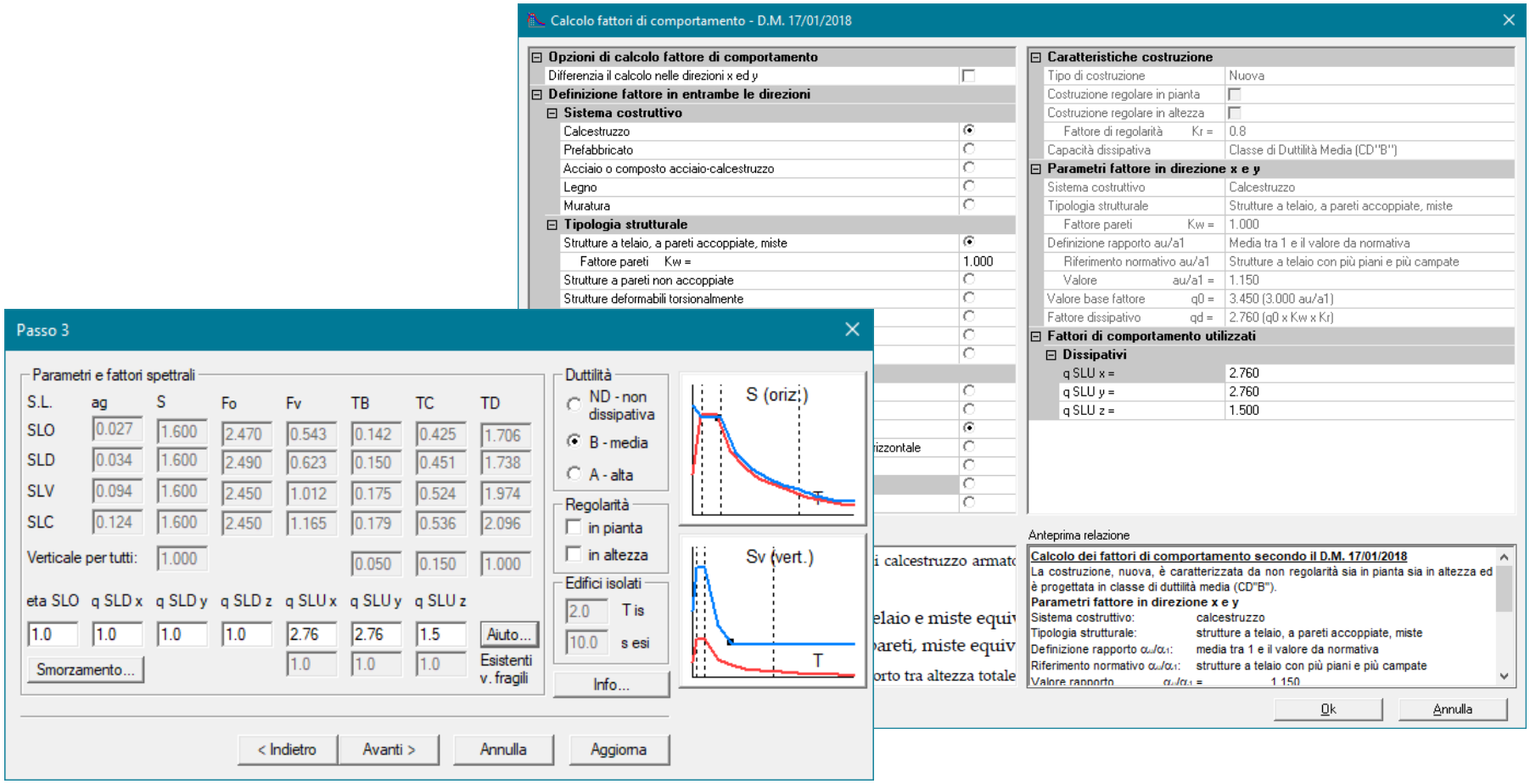
Fase 2: a getto consolidato e resistente, le **travi** sono vincolate (in generale) con vincolo di continuità con i pilastri, con i muri e con le altre travi.

PRO_SAP consente di gestire gli svincoli nelle varie fasi ed esporta le sollecitazioni da fornire al produttore per consentirne la progettazione.

INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

Fattore di comportamento



Comportamento strutturale **dissipativo (q>1,5)**

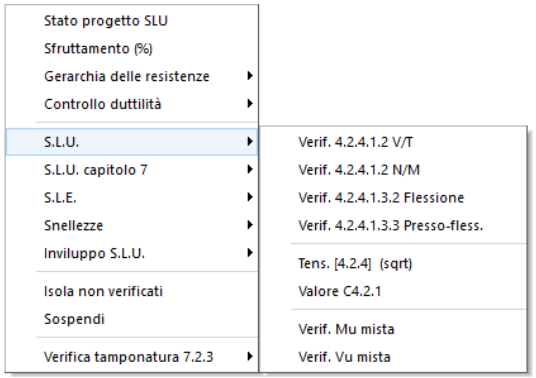
INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

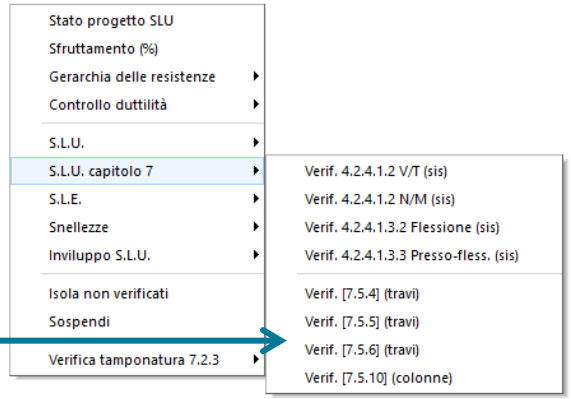
Verifiche: struttura dissipativa

Nel caso di **comportamento strutturale dissipativo** PRO_SAP esegue la progettazione con la gerarchia delle resistenze distinguendo 2 comportamenti:

- Nelle combinazioni **SENZA** il sisma fa le verifiche previste nel capitolo 4 delle NTC18.



- Nelle combinazioni **CON** il sisma fa le verifiche previste nel capitolo 4 delle NTC18, considerando la componente sismica incrementate del fattore Ω
- Vengono inoltre eseguite le verifiche previste nel paragrafo 7.5.4 delle NTC18.



Verifiche: struttura dissipativa

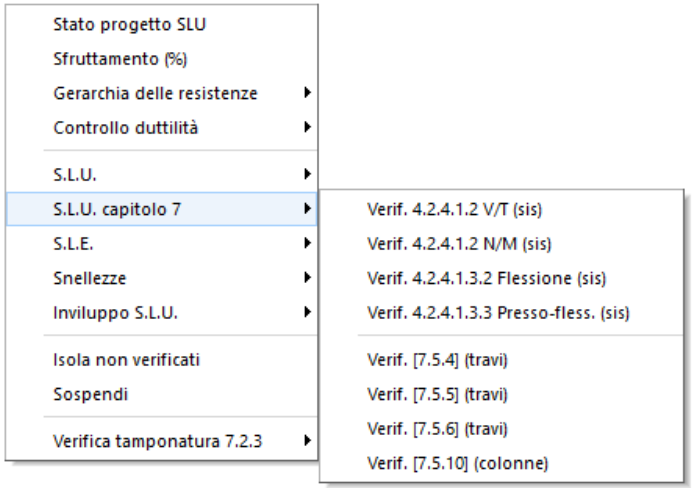
- Nel menu SLU capitolo 7 vengono ripercorse, per le combinazioni sismiche, le verifiche del capitolo 4 con la componente sismica amplificata come da capitolo 7 (OK se < 1)

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \qquad [7.5.7]$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} \qquad [7.5.8]$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} \qquad [7.5.9]$$

- Vengono inoltre effettuate le verifiche specifiche per le travi e colonne previste dal capitolo 7 per strutture dissipative (OK se < 1)



Verifiche: struttura dissipativa

7.5.4.1 TRAVI

Verifiche di resistenza (RES)

Nelle sezioni in cui è attesa la formazione delle zone dissipative devono essere verificate le seguenti relazioni:

$$M_{Ed}/M_{pl,Rd} \leq 1 \qquad [7.5.4]$$

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} \leq 0{,}15 \qquad [7.5.5]$$

$$\left(V_{Ed,G} + V_{Ed,M}\right)/V_{pl,Rd} \leq 0{,}50 \qquad [7.5.6]$$

dove:

M_{Ed}, N_{Ed} e V_{Ed} sono i valori della domanda a flessione, sforzo normale e taglio;

$M_{pl,Rd}$, $N_{pl,Rd}$ e $V_{pl,Rd}$ sono i valori della capacità a flessione, sforzo normale e taglio determinate secondo criteri di cui al § 4.2.4.1.2;

$V_{Ed,G}$ è la domanda a taglio dovuta alle azioni non-sismiche;

$V_{Ed,M}$ è la domanda a taglio dovuta all'applicazione di momenti plastici equiversi $M_{pl,Rd}$ nelle sezioni in cui è attesa la formazione delle zone dissipative.

Le travi devono avere capacità sufficiente nei confronti dell'instabilità flessionale e flesso-torsionale, determinata come in §4.2.4.1.3. ed assumendo la formazione delle zone dissipative nella sezione caratterizzata dalla domanda più elevata in condizioni sismiche.

Verifiche: struttura dissipativa

7.5.4.2 COLONNE

Verifiche di resistenza (RES)

La capacità delle colonne deve essere confrontata con la combinazione più sfavorevole della domanda a flessione ed a sforzo normale.

La domanda deve essere determinata come segue:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \qquad [7.5.7]$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} \qquad [7.5.8]$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} \qquad [7.5.9]$$

in cui

M_{Ed}, N_{Ed} e V_{Ed} sono i valori della domanda a flessione, sforzo normale e taglio;

$N_{Ed,G}$, $M_{Ed,G}$, $V_{Ed,G}$ sono i valori della domanda a sforzo normale, flessione e taglio dovuta alle azioni non sismiche incluse nella combinazione delle azioni per la condizione sismica di progetto;

$N_{Ed,E}$, $M_{Ed,E}$, $V_{Ed,E}$ sono i valori della domanda a sforzo normale, flessione e taglio dovuta alle azioni sismiche di progetto;

γ_{ov} è il fattore di sovraresistenza relativo al materiale di cui al § 7.5.1;

Ω è il minimo valore tra gli $\Omega_i = (M_{pl,Rd,i} - M_{Ed,G,i}) / M_{Ed,E,i}$ valutati per tutte le travi in cui si attende la formazione di zone dissipative, essendo $M_{Ed,E,i}$ la domanda a flessione dovuta alle azioni sismiche di progetto, $M_{Ed,G,i}$ la domanda a flessione dovuta alle azioni non sismiche incluse nella combinazione delle azioni per la condizione sismica di progetto e $M_{pl,Rd,i}$ il valore dalla capacità a flessione dalla i-esima trave.

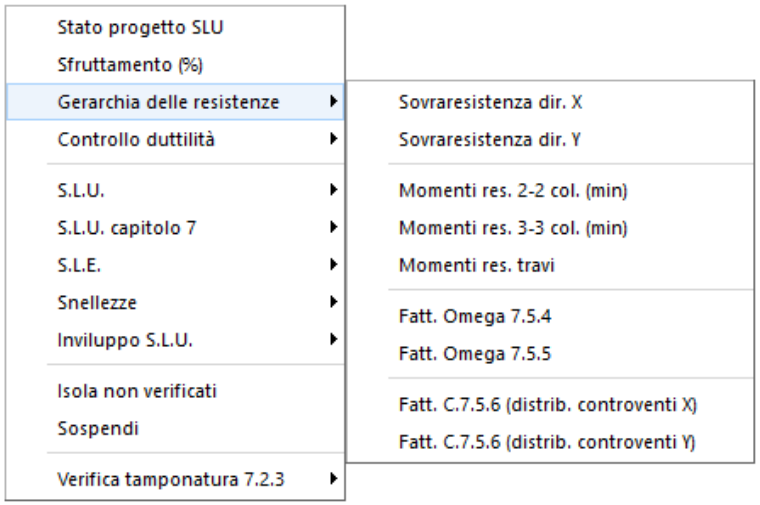
Il rapporto tra la domanda e la capacità a taglio deve rispettare la seguente limitazione:

$$\boxed{V_{Ed} / V_{pl,Rd} \leq 0,50 \qquad [7.5.10]}$$

Verifiche: struttura dissipativa

- *Sovraresistenza dir. X / dir. Y*

OK se > 1.3 (per CDB e CDA)



Attenzione

Con DM08: ok se > 1.1 per CDB
ok se > 1.3 per CDA

Per assicurare lo sviluppo del meccanismo globale dissipativo, deve inoltre essere rispettata la seguente diseguaglianza per ogni nodo trave-colonna del telaio

$$\sum M_{C,pl,Rd} \geq \gamma_{Rd} \cdot \sum M_{b,pl,Rd} \qquad [7.5.11]$$

dove γ_{Rd} è dato in Tab. 7.2.I, $M_{C,pl,Rd}$ è la capacità a flessione della colonna calcolata per i livelli di domanda a sforzo normale valutata nelle combinazioni sismiche delle azioni ed $M_{b,pl,Rd}$ è la capacità delle travi che convergono nel nodo trave-colonna.

Tipologia strutturale	Elementi strutturali	Progettazione in capacità	γ_{Rd}	
			CD"A"	CD"B"
Acciaio	Si impiega il fattore di sovraresistenza γ_{ov} definito al § 7.5.1			
	Colonne (§ 7.5.4.2)	Pressoflessione [7.5.10]	1,30	1,30

Verifiche: struttura dissipativa

- *Verifica 7.5.2* è funzione dell'area netta (assegnabile nella tabella delle sezioni) (OK se < 1)

Nel caso di membrature tese con collegamenti bullonati, la capacità corrispondente al raggiungimento della tensione di snervamento della sezione deve risultare inferiore alla capacità corrispondente al raggiungimento della tensione di rottura della sezione netta in corrispondenza dei fori per i dispositivi di collegamento; si deve quindi verificare che:

$$\frac{A_{res}}{A} \geq 1{,}1 \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{f_{yk}}{f_{tk}} \qquad [7.5.2]$$

essendo A l'area lorda e A_{res} l'area resistente costituita dall'area netta in corrispondenza dei fori, integrata da un'eventuale area di rinforzo. I fattori parziali γ_{M0} e γ_{M2} sono definiti nella Tab. 4.2.V del § 4.2.3.1.1. delle presenti norme.

- *Verifica 7.5.2* (duttilità delle colonne) (OK se < 1)

La verifica di duttilità si ritiene comunque soddisfatta qualora siano rispettate, in funzione della classe di duttilità e del valore di base del fattore di comportamento q_0 utilizzato in fase di progetto, le prescrizioni relative alle classi di sezioni trasversali per le zone/elementi dissipativi riportate in Tab. 7.5.I nonché le prescrizioni specifiche di cui ai successivi paragrafi relativi a ciascuna tipologia strutturale e sia soddisfatta, per le sezioni delle colonne primarie delle strutture a telaio in cui si prevede la formazione di zone dissipative, la relazione:

$$N_{Ed} / N_{pl,Rd} \leq 0{,}3 \qquad [7.5.3]$$

dove N_{Ed} è il valore della domanda a sforzo normale e $N_{pl,Rd}$ è il valore della capacità a sforzo normale determinata secondo criteri di cui al § 4.2.4.1.2.

Verifiche: struttura dissipativa

- *Fatt. *C.7.5.6 (distrib. controventi X e Y)* *(OK se <1)*

  Consente di controllare la simmetricità dei controventi

C7.5.5 REGOLE DI PROGETTO SPECIFICHE PER STRUTTURE CON CONTROVENTI CONCENTRICI

La risposta carico-spostamento laterale di una struttura con controventi concentrici deve risultare sostanzialmente indipendente dal verso dell'azione sismica. Tale requisito si ritiene soddisfatto se od ogni piano vale la seguente disuguaglianza:

$$\frac{\left|A^{+} - A^{-}\right|}{A^{+} + A^{-}} \leq 0,05 \qquad \text{(C7.5.6)}$$

essendo A^{+} e A^{-} le proiezioni verticali delle sezioni trasversali delle diagonali tese, valutate per i due versi possibili delle azioni sismiche secondo quanto presentato nella figura C7.5.3.

*In attesa della pubblicazione della nuova circolare applicativa le verifiche vengono condotte con riferimento alla circolare n°617 del 2 Febbraio 2009

Verifiche: struttura dissipativa

7.5.5. REGOLE DI PROGETTO SPECIFICHE PER STRUTTURE CON CONTROVENTI CONCENTRICI

Nelle strutture con controventi concentrici le membrature costituenti le travi e le colonne ed i collegamenti devono possedere una capacità sufficiente a consentire lo sviluppo delle zone dissipative nelle diagonali.

Le diagonali di controvento hanno essenzialmente funzione portante nei confronti delle azioni sismiche e, a tal fine, tranne che per i controventi a V, devono essere considerate le sole diagonali tese.

La risposta carico-spostamento laterale deve essere sostanzialmente indipendente dal verso dell'azione sismica.

Per edifici con più di due piani, la snellezza adimensionale delle diagonali deve rispettare le seguenti condizioni:

$1{,}3 \le \bar{\lambda} \le 2$ in telai con controventi ad X;

$\bar{\lambda} \le 2$ in telai con controventi a V.

Verifiche di Resistenza (RES)

Travi e colonne considerate soggette prevalentemente a sforzi assiali in condizioni di sviluppo del meccanismo dissipativo previsto per tale tipo di struttura devono rispettare la condizione

$$N_{Ed}/N_{b,Rdp}(M_{Ed}) \le 1 \qquad [7.5.15]$$

essendo

$N_{b,Rd}$ la capacità nei confronti dell'instabilità, calcolata come in § 4.2.4.1.3.1 tenendo conto dell'interazione con il momento flettente M_{Ed},

N_{Ed} ed M_{Ed} i valori della domanda a sforzo normale e flessione dovuta alle combinazioni sismiche di progetto, valutate rispettivamente mediante le espressioni 7.5.7 e 7.5.8, ponendo Ω il minimo valore tra gli $\Omega_i = N_{pl,Rd,i} / N_{Ed,i}$ dove $N_{pl,Rd,i}$ è la capacità a sforzo normale della i-esima diagonale e $N_{Ed,i}$ la domanda a sforzo normale per la combinazione sismica, calcolati per tutti gli elementi di controvento in cui si attende la formazione di zone dissipative.

Per garantire un comportamento dissipativo omogeneo delle diagonali all'interno della struttura, i valori massimo e minimo dei coefficienti $\Omega_i = N_{pl,Rd,i} / N_{Ed,i}$, dove $N_{pl,Rd,i}$ è la capacità a sforzo normale della i-esima diagonale e $N_{Ed,i}$ la domanda a sforzo normale per la combinazione sismica, calcolati per tutti gli elementi di controvento in cui si attende la formazione di zone dissipative, devono differire non più del 25%.

INDICE

- Chi siamo, cosa facciamo
- Strutture in acciaio **NON dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 1)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi
- Strutture in acciaio **dissipative**:
  - Cosa dice la normativa
  - Applicazione pratica (ESEMPIO 2)
    - Fattore di comportamento q
    - Verifiche automatiche
    - Calcolo nodi

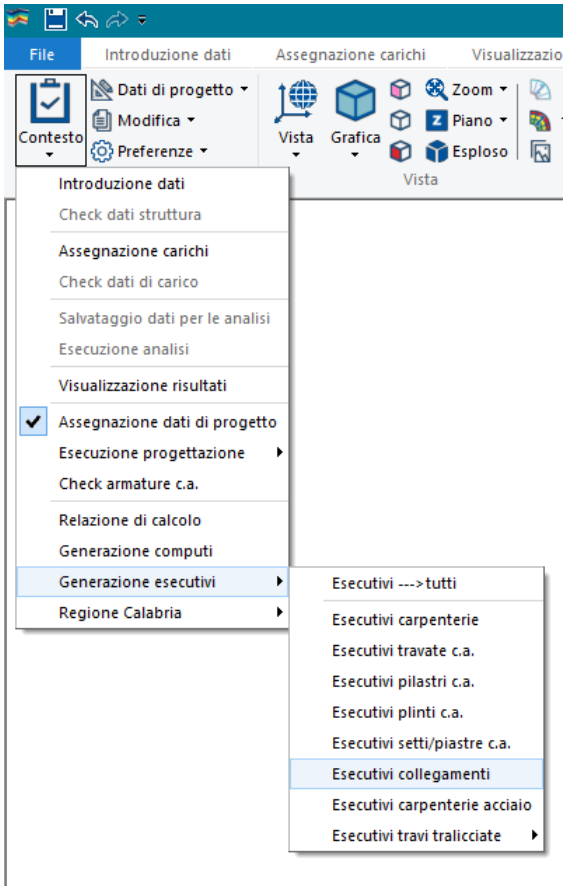
Calcolo nodi

Una volta ultimata la progettazione della struttura in acciaio è sufficiente cliccare il comando:

Contesto → Generazione esecutivi → Esecutivi collegamenti

Nella cartella disegni del modello verranno realizzati i file con le geometrie e le sollecitazioni di **tutti** i nodi della struttura.

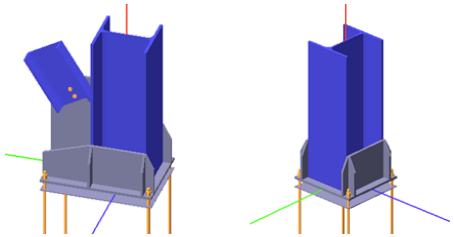
Dal menù *Controlla* è invece possibile generare l'esecutivo del **singolo** collegamento.



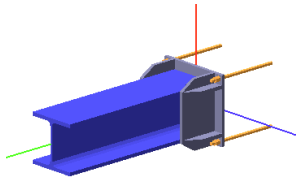
Calcolo nodi

È possibile calcolare in automatico i seguenti collegamenti:

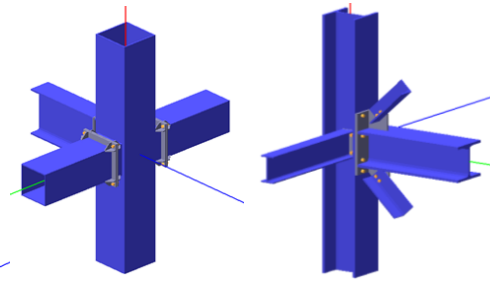
- *Piastra di base (con controventi)*



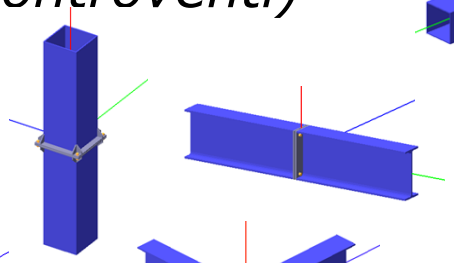
- *Attacco su parete in c.a.*



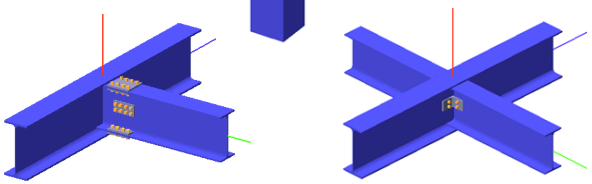
- *Nodo trave colonna (con controventi)*



- *Giunto di continuità*



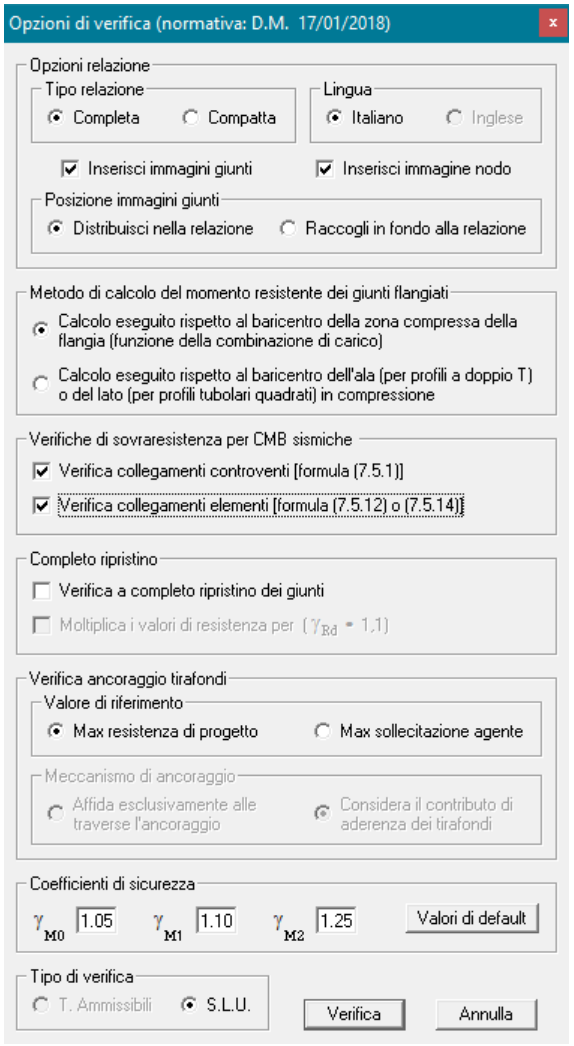
- *Nodo trave-trave*



Il programma raggruppa automaticamente i nodi simili ed esporta le sollecitazioni dal modello, è possibile eseguire le verifiche delle bullonature ed esportare i disegni e le relazioni di calcolo.

Calcolo nodi

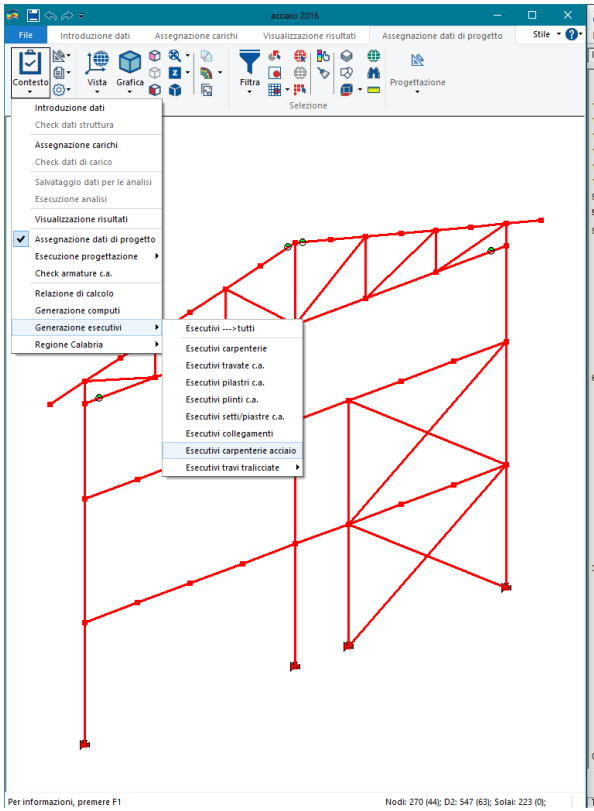
Nel caso di ***struttura dissipativa*** il calcolo dei collegamenti deve essere effettuato in modo da consentire la formazione delle cerniere plastiche alle estremità di travi e colonne in modo da anticipare la rottura dell'elemento rispetto a quella del collegamento.

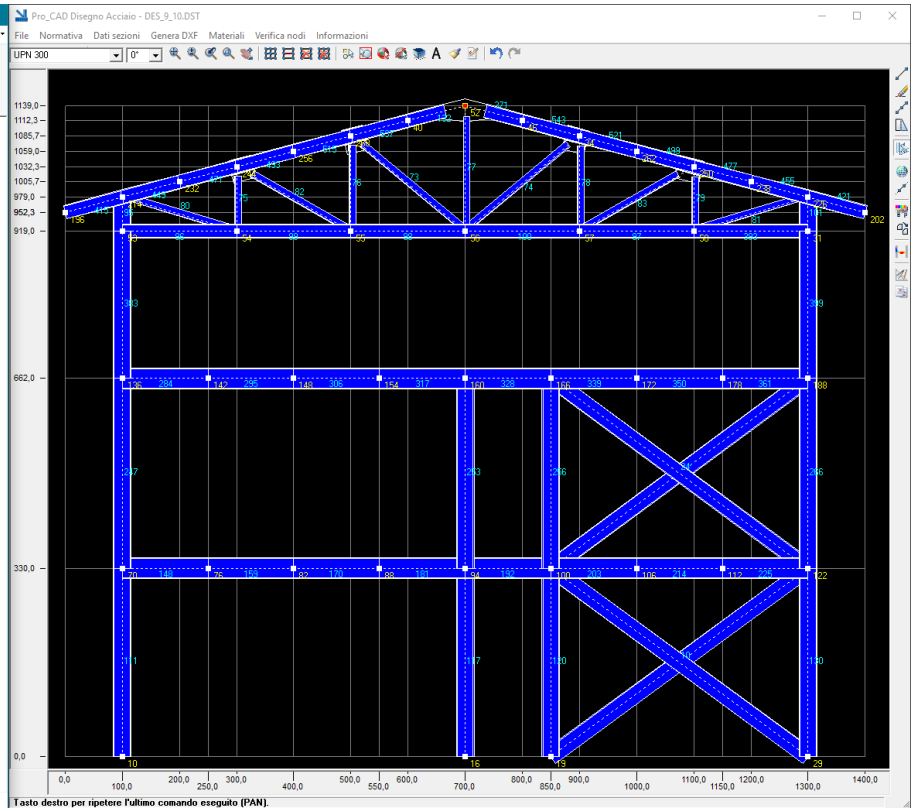


Calcolo nodi

Per realizzare l'esecutivo di una **reticolare** è sufficiente selezionare due aste complanari e cliccare:

Contesto → Generazione esecutivi → Carpenterie acciaio

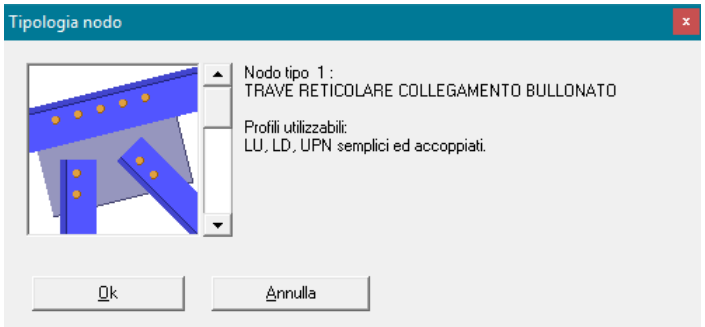


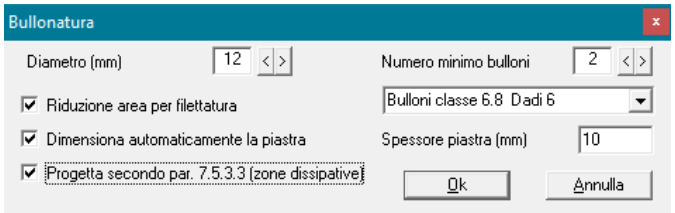


Calcolo nodi

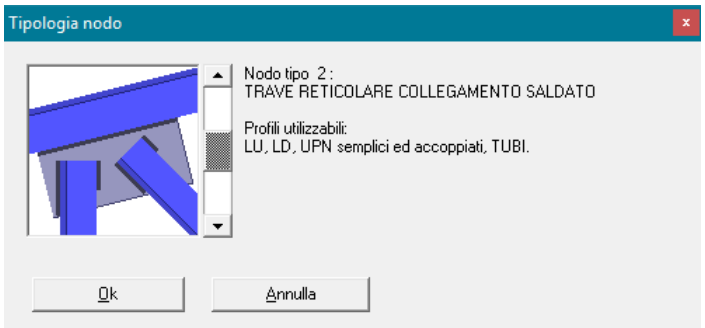
Per ciascuna tipologia di nodo è possibile dimensionare automaticamente le piastre secondo i criteri del paragrafo 7.5.3.1 per le zone dissipative

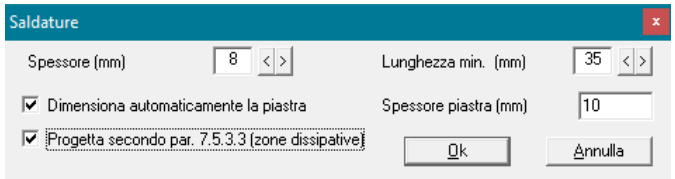
- **Collegamento bullonato**





- **Collegamento saldato**





Riassumendo

Comportamento **NON dissipativo**:

- Fattore di comportamento $q \leq 1.5$
- Azioni sismiche maggiori
- Non è necessaria la gerarchia delle resistenze per gli elementi strutturali
- Non è necessaria la gerarchia delle resistenze per il calcolo dei nodi
- In generale conveniente per piccole strutture

Comportamento **dissipativo**:

- Fattore di comportamento $q > 1.5$
- Azioni sismiche minori
- Necessaria la gerarchia delle resistenze per gli elementi strutturali
- Necessaria la gerarchia delle resistenze per il calcolo dei nodi
- In generale conveniente per grandi strutture.

SOFTWARE E SERVIZI PER L'INGEGNERIA s.r.l.

Grazie per l'attenzione

Ing.Mirco Basaglia basaglia@2si.it

Social