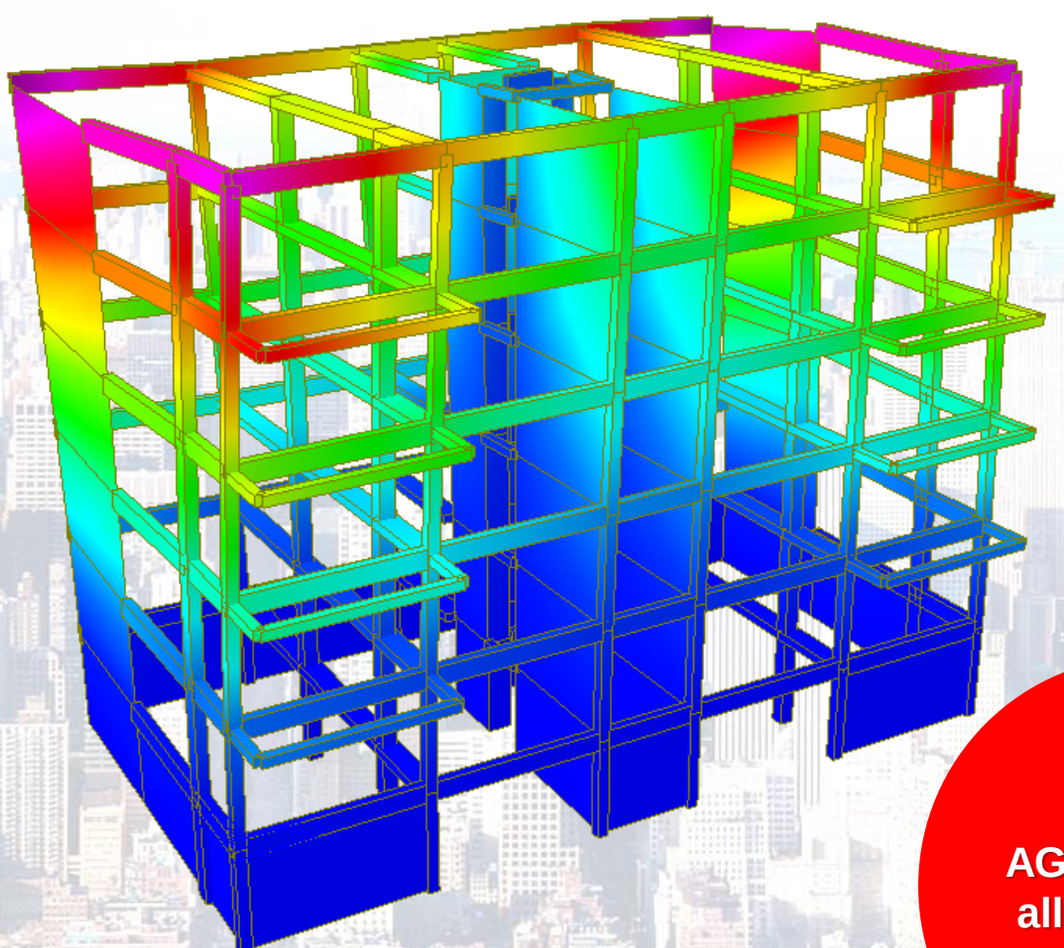
PROGETTO DI UN EDIFICIO MULTIPIANO IN CA IN ZONA SISMICA

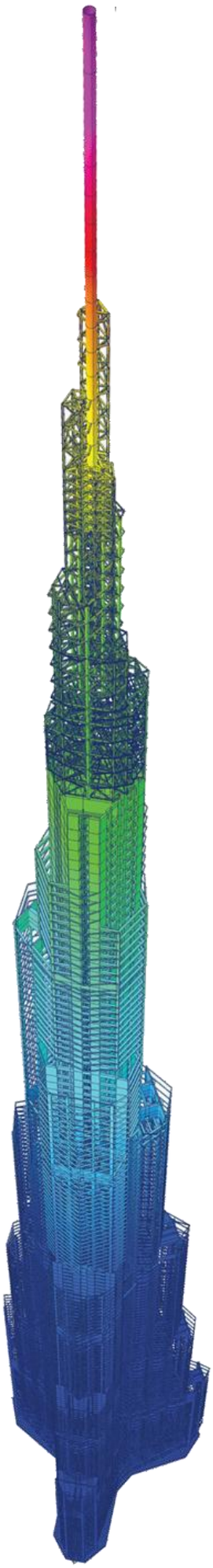
Tutorial MIDAS Gen



AGGIORNATO alle NTC 2018

CSPFEA
ENGINEERING SOLUTIONS

Seconda Edizione



Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico o altro senza l'autorizzazione dei proprietari dei dirittie dell'autore.

No parts of this publication may be copied or transmitted in any shape or form, and by any type of electronic, mechanical or different means, without permission of the copyright holder and the publisher.

© Copyright – CSPFea s.c

"Progetto di un edificio multipiano in ca in zona sismica"

Prodotto e distribuito da:

CSPFEA ENGINEERING SOLUTIONS

CSPFea s.c.
Via Zuccherificio 5/d
35042 Este (PD)
www.cspfea.net info@cspfea.net
Tel. 0429602404
Fax. 0429610021

a cura di:
Ing. Carlo Tuzza – CSPFea
con la collaborazione di:
Laureando Antonio Limena
2° Edizione – Febbraio 2019

Indice

INTRODUZIONE 7

1 MODELLAZIONE FEM 8

1-1 Modellazione FEM: Introduzione Struttura 8

1-2 Modellazione FEM: Definizione dei materiali 10

1-3 Modellazione FEM: Definizione delle sezioni (pilastri) 11

1-4 Modellazione FEM: Definizione delle sezioni (travi) 12

1-5 Modellazione FEM: Definizione delle sezioni (setti) 13

1-6 Modellazione FEM: Importazione file DXF 14

1-7 Modellazione FEM: Creazione nodi 15

1-8 Modellazione FEM: Creazione dei pilastri 16

1-9 Modellazione FEM: Creazione delle travi di piano 17

1-10 Modellazione FEM: Creazione degli elementi wall 18

1-11 Modellazione FEM: Building Generation 19

1-12 Modellazione FEM: Passaggio da Wall a Plate 21

1-13 Modellazione FEM: Definizione dei piani rigidi 22

1-14 Modellazione FEM: Building Control 23

1-15 Modellazione FEM: Definizione dei vincoli 25

2 ASSEGNAZIONE DEI CARICHI 26

2-1 Assegnazione dei carichi: Definizione casi di carico 26

2-2 Assegnazione dei carichi: Definizione dei carichi di piano 27

2-3 Assegnazione dei carichi: Definizione dei carichi tamponamento 30

2-4 Assegnazione dei carichi: Conversione dei carichi in masse 31

2-5 Assegnazione dei carichi: Definizione del carico vento 32

2-6 Assegnazione dei carichi: Definizione del sisma statico 34

2-7 Assegnazione dei carichi: Overturning Moment 36

3 ANALISI AGLI AUTOVALORI 37

3-1 Analisi agli autovalori: Introduzione Analisi Modale 37

3-2 Analisi agli autovalori: Subspace Iteration 39

3-3 Analisi agli autovalori: Lanczos (Frequency Range) 40

3-4 Analisi agli autovalori: Vettori di Ritz 41

3-5 Analisi agli autovalori: Main Control Data 42

3-6 Analisi agli autovalori: Perform Analysis 43

3-7 Analisi agli autovalori: Modi di vibrare 44

4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA 48

4-1 Valutazione dell'azione sismica: Regolarità in altezza 48

4-2 Valutazione dell'azione sismica: Tipologia Strutturale 49

4-3 Valutazione dell'azione sismica: Story Shear Force Ratio 50

4-4 Valutazione dell'azione sismica: Story Eccentricity 51

4-5 Valutazione dell'azione sismica: Definizione del fattore di struttura 52

4-6 Valutazione dell'azione sismica: Spettro di progetto 53

4-7 Valutazione dell'azione sismica: Gestione dello spettro 54

4-8 Valutazione dell'azione sismica: Considerazioni e Interventi 55

4-9 Valutazione dell'azione sismica: Spettro di progetto (Intervento) 56

4-10 Valutazione dell'azione sismica: Modi di vibrare (Intervento) 57

4-11 Valutazione dell'azione sismica: Riduzione delle rigidezze 61

4-12 Valutazione dell'azione sismica: Confronto dei risultati 64

5 ANALISI DEI RISULTATI 65

5-1 Analisi dei risultati: Combinazioni di carico 65

5-2 Analisi dei risultati: Beam Diagrams 67

5-3 Analisi dei risultati: Controllo di dettaglio di un elemento 68

5-4 Analisi dei risultati: Modello con platea di fondazione 69

6 VERIFICHE SLD 70

6-1 Verifiche SLD: Controllo spostamenti interpiano 70

6-2 Verifiche SLD: Controllo della non linearità geometrica 71

7 GENERAL DESIGN 72

7-1 General Design: Definition of Frame – Effective Lenght Factor 72

7-2 General Design: Live Load Reduction Factor – Limiting Slenderness Ratio 73

7-3 General Design: Member Assignment 74

7-4 General Design: Serviceability Load Combination Time 75

8 REINFORCED CONCRETE DESIGN 76

8-1 RC Design: Design Code 76

8-2 RC Design: Modify Concrete Material – Limiting Rebar Ratio 78

8-3 RC Design: Design Criteria for Rebars 79

8-4 RC Design: Input Additional Wall Data 80

8-5 RC Design: Parametri per la verifica agli SLE 81

8-6 RC Design: Concrete Code Design 82

8-7 RC Design: Concrete Code Check (Strenght) 83

8-8 RC Design: Concrete Code Check (Graphic – Detail) 84

8-9 RC Design: Concrete Code Check (Serviceability) 86

9 PROCEDURE OF DESIGN AND CHECK 88

10 BIBLIOGRAFIA 89

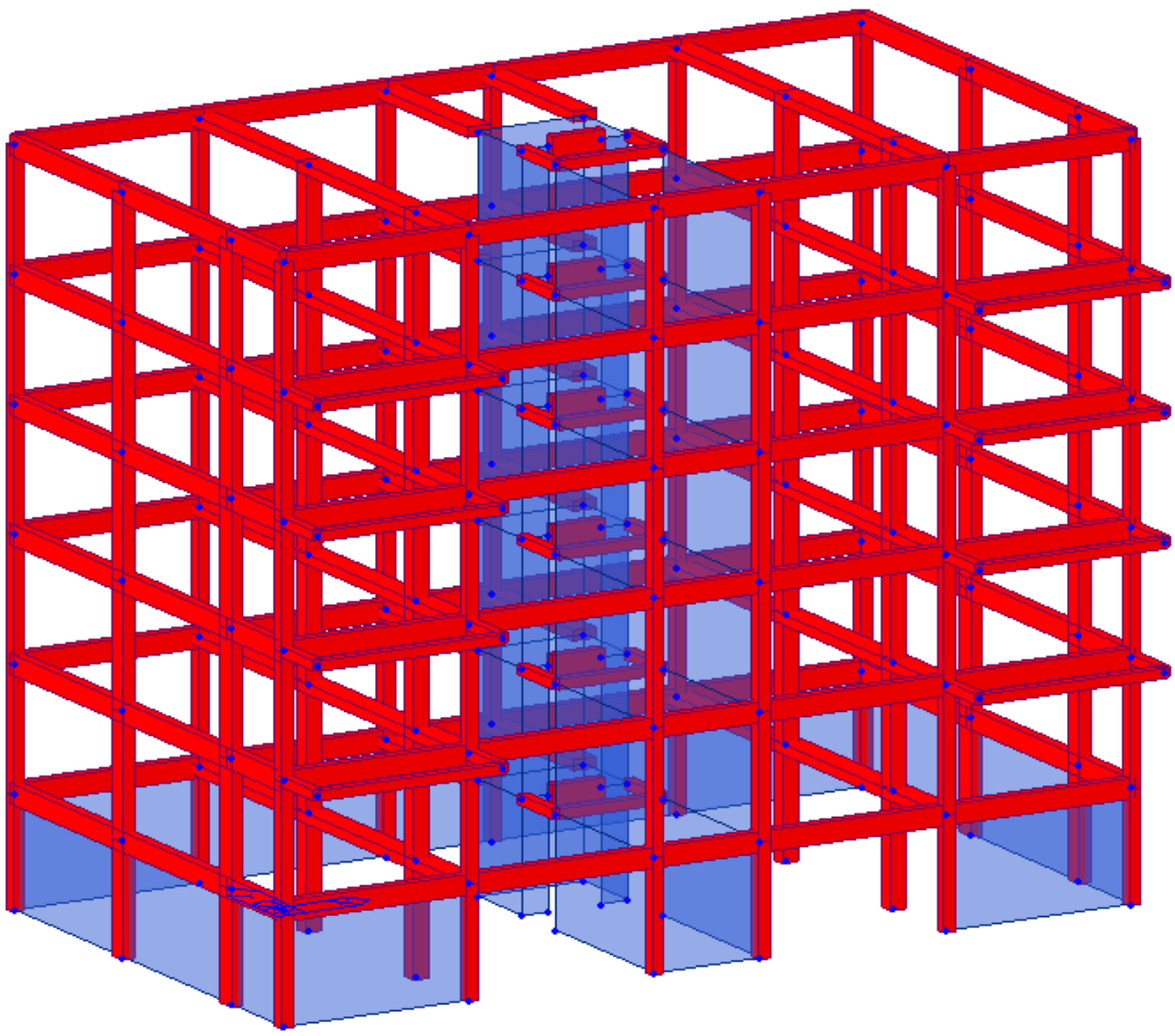
Introduzione

Scopo del presente manuale è fornire al lettore una metodologia di approccio alla moderna progettazione strutturale con l'ausilio delle tecnologie offerte dal software MIDAS GEN. L'obbiettivo che si pone questo libro è di rendere realmente operativo in pochi giorni un qualsiasi utente che non dispone necessariamente a priori di conoscenze del software MIDAS GEN, fornendo indicazioni sul corretto modo di operare e sulle ulteriori possibilità offerte dal software.

Questo libro, pur approfondendo molti dettagli, non fornisce tutte le informazioni relative alle varie funzioni, ma solamente le principali, e non vuole sostituire l'estesa manualistica fornita in dotazione al software.

Il testo è utile sia al cliente sia a coloro che per la prima volta si avvicinano al software MIDAS GEN nonché allo studente che, uscendo dall'università, è pronto ad entrare in un mondo del lavoro dove è ormai consolidata la progettazione strutturale con l'ausilio di software.

1-1 Modellazione FEM: Introduzione Struttura

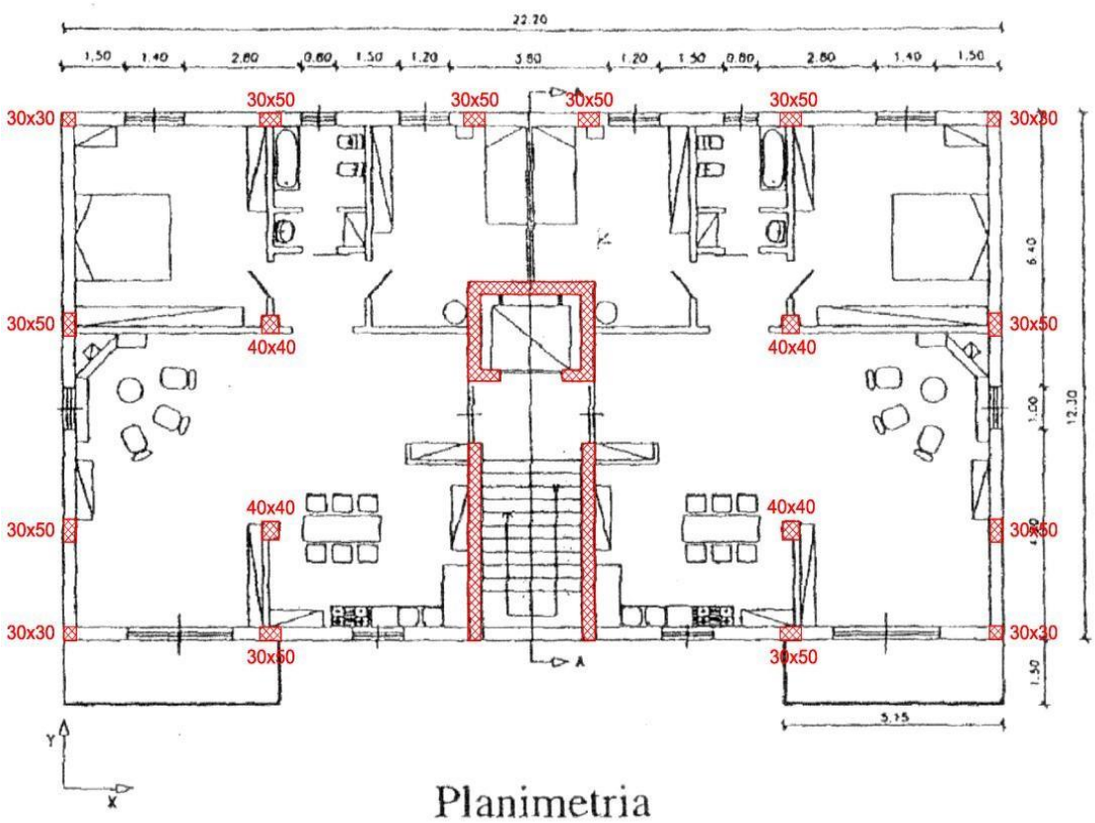


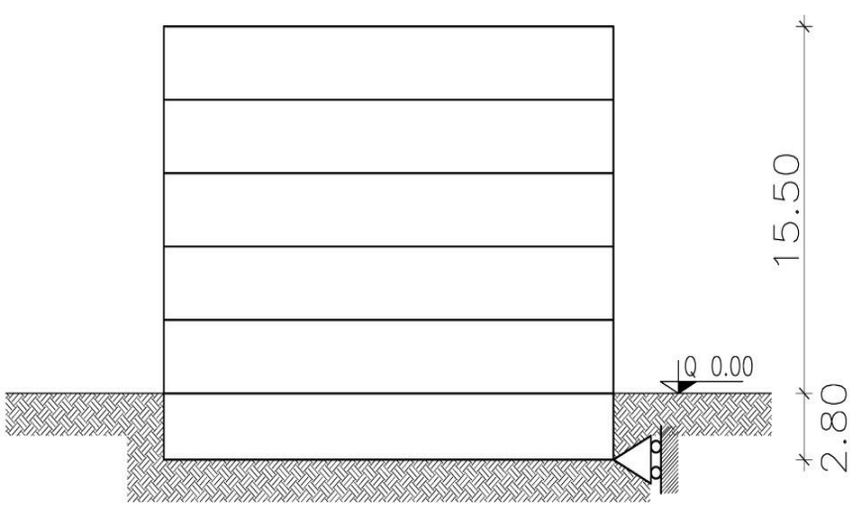
Civile abitazione – struttura in c.a.

5 piani fuori terra – 1 piano interrato

Zona 2 – a_g=0.25g Suolo B

1-1 Modellazione FEM: Introduzione Struttura





Definizione della pianta di piano terra e prospetto altimetrico dell'edificio in esame.

1-2 Modellazione FEM: Definizione dei materiali

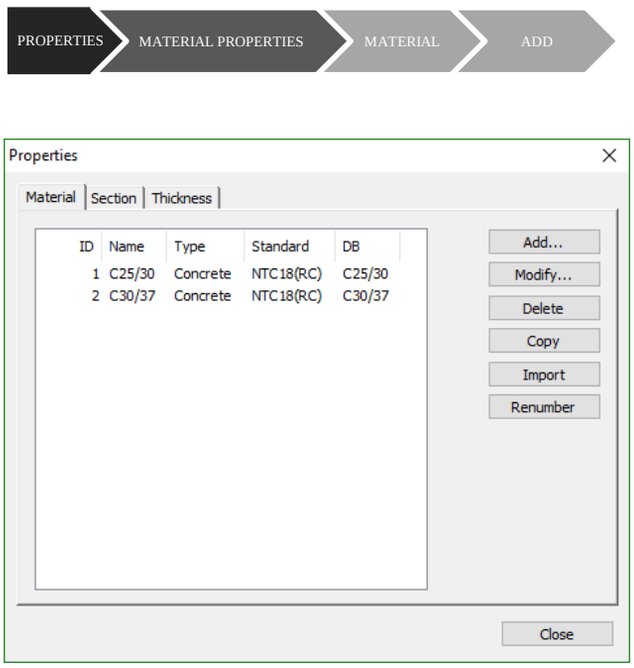


Tabella materiali

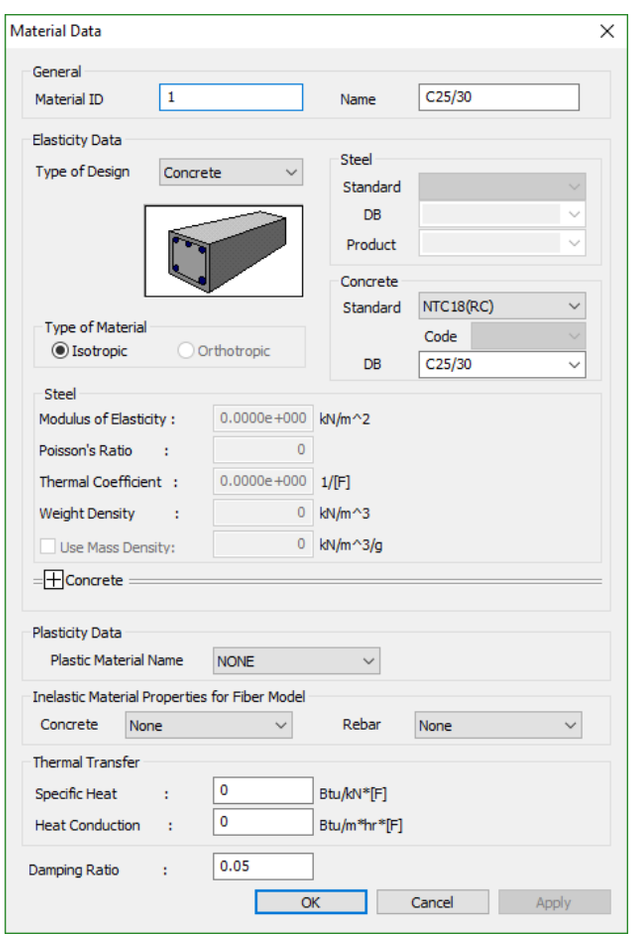


Tabella parametri materiali

Definizione e inserimento dei parametri dei materiali nell' apposita tabella; i materiali verranno in seguito utilizzati nell'analisi della costruzione.

I parametri relativi ad entrambi i materiali vengono inseriti in automatico a partire dalle librerie già presenti nel software.

Material ID 1:

Calcestruzzo da NTC 18

Concrete : C25/30

Material ID 2:

Calcestruzzo da NTC 18

Concrete : C30/37

1-3 Modellazione FEM: Definizione delle sezioni (Pilastri)

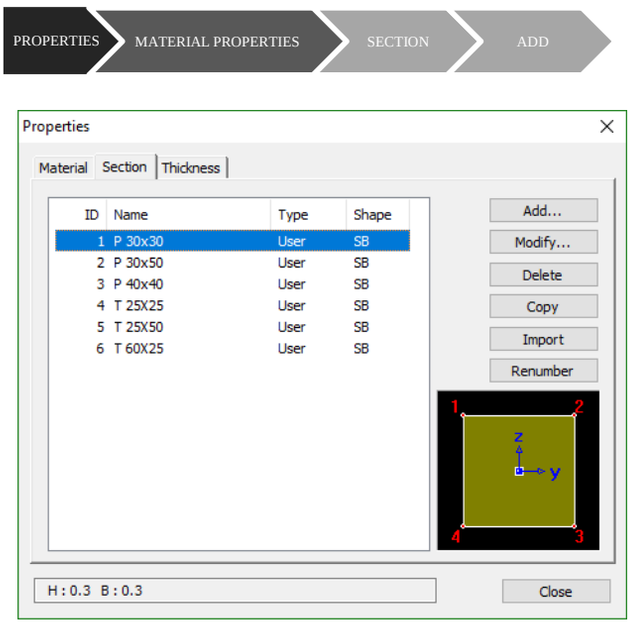


Tabella sezioni

Definizione e inserimento delle sezioni dei pilastri dal database presente in Midas Gen.
Per le sezioni in acciaio si fanno riferimento ai profili UNI.
In particolare per una sezione rettangolare in c.a. è possibile inserire manualmente (User) i valori di B e H; il programma calcola automaticamente le proprietà geometriche della sezione.

Lista sezioni pilastri:
P 30 x 30 cm
P 30 x 50 cm
P 40 x 40 cm

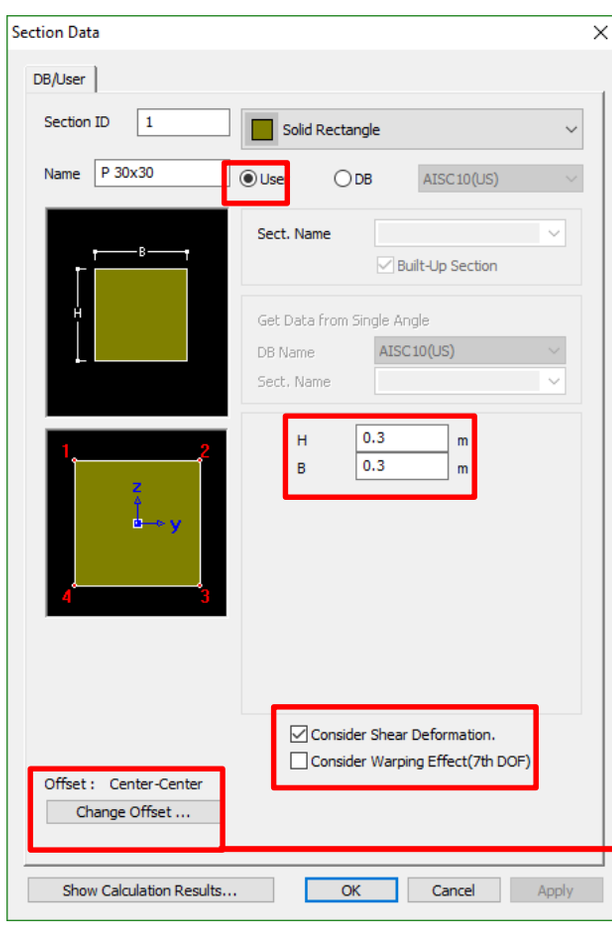
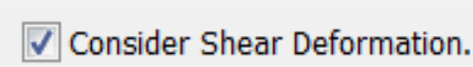


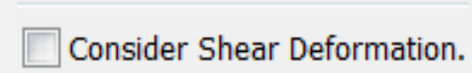
Tabella parametri sezioni

NOTA 1:
E' possibile considerare o meno la deformazione a taglio della sezione:



Modello di Timoshenko

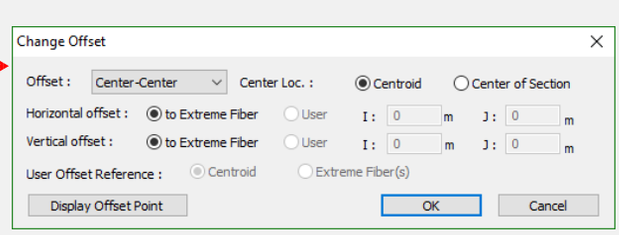
$$N = EA\varepsilon \quad T = GA^{*}\gamma \quad M = EJ\chi$$



Modello di Eulero-Bernoulli

$$N = EA\varepsilon \quad \gamma = 0 \quad M = EJ\chi$$

NOTA 2:
E' inoltre possibile assegnare un offset tra asse geometrico della sezione e asse dell' elemento finito:



1-4 Modellazione FEM: Definizione delle sezioni (Travi)

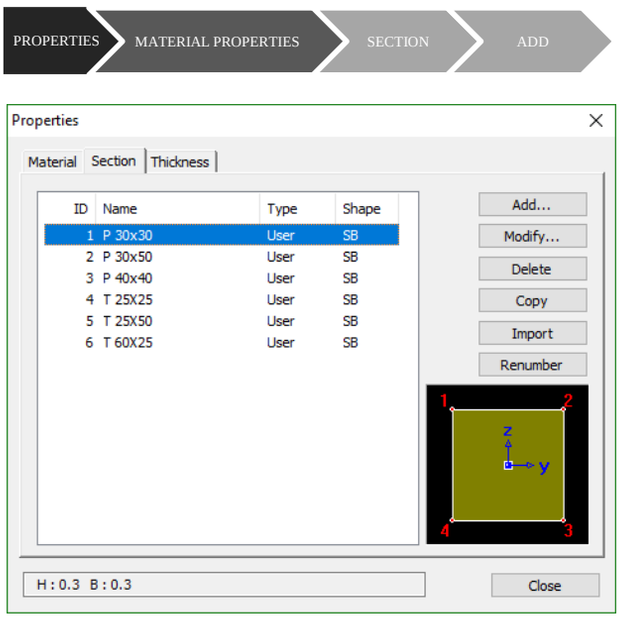


Tabella sezioni

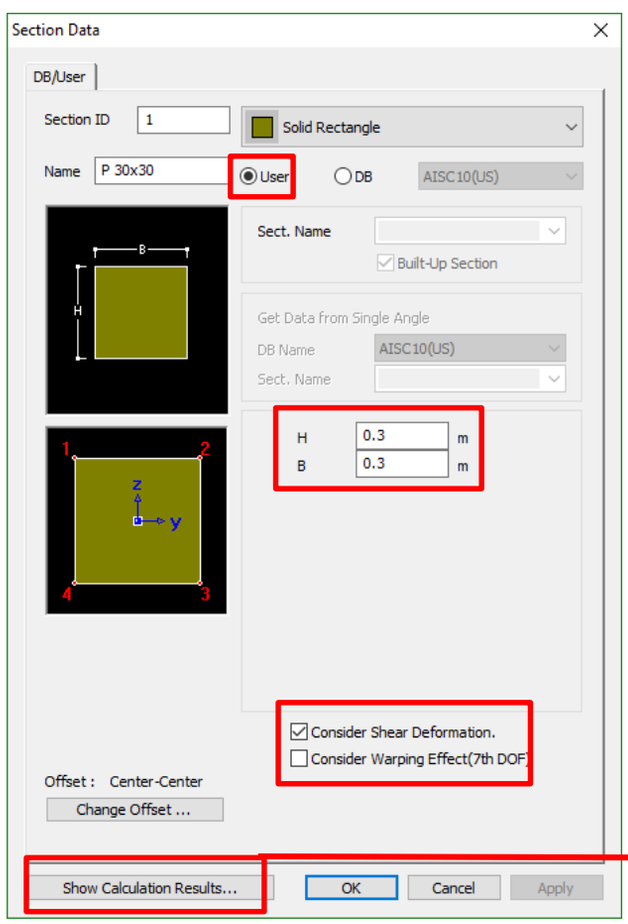


Tabella parametri sezioni

Definizione e inserimento delle sezioni delle travi in Midas Gen.

Lista sezioni travi:

T 25 x 25 cm
P 25 x 50 cm
P 60 x 25 cm

In particolare per una sezione rettangolare in c.a. è possibile inserire manualmente (User) i valori di B e H. Il programma calcola automaticamente le proprietà geometriche della sezione.

Section Properties

	Value	Unit
Area	9.000000e-002	m^2
Asy	7.500000e-002	m^2
Asz	7.500000e-002	m^2
Ixx	1.139063e-003	m^4
Iyy	6.750000e-004	m^4
Izz	6.750000e-004	m^4
Cyp	1.500000e-001	m
Cym	1.500000e-001	m
Czp	1.500000e-001	m
Czm	1.500000e-001	m
Qyb	1.125000e-002	m^2
Qzb	1.125000e-002	m^2
Peri:O	1.200000e+000	m
Peri:I	0.000000e+000	m
Center:y	1.500000e-001	m
Center:z	1.500000e-001	m
y1	-1.500000e-001	m
z1	1.500000e-001	m
y2	1.500000e-001	m
z2	1.500000e-001	m
y3	1.500000e-001	m
z3	-1.500000e-001	m
y4	-1.500000e-001	m
z4	-1.500000e-001	m

Close

Tabella proprietà geometriche sezione

1-5 Modellazione FEM: Definizione delle sezioni (Setti)

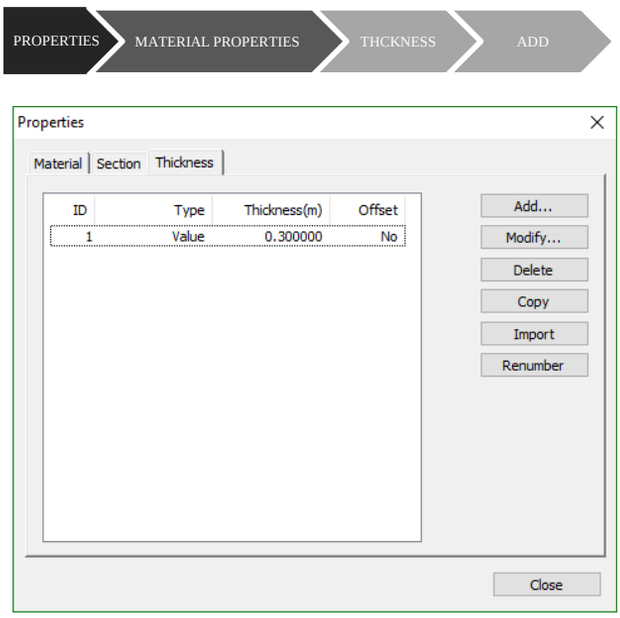
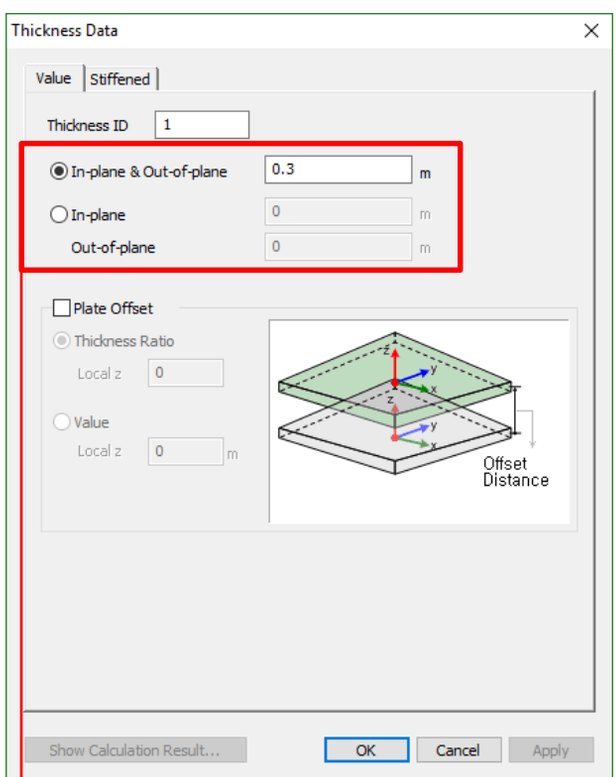
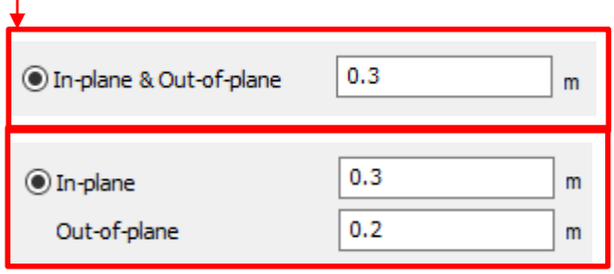


Tabella spessore setti



Definizione spessore setti



Definizione e inserimento dello spessore dei setti in Midas Gen.
Per modellare i setti si utilizzano "wall element".

***NOTA 1**: Per la definizione dei "wall" element si veda Pag.53 – Analysis reference*

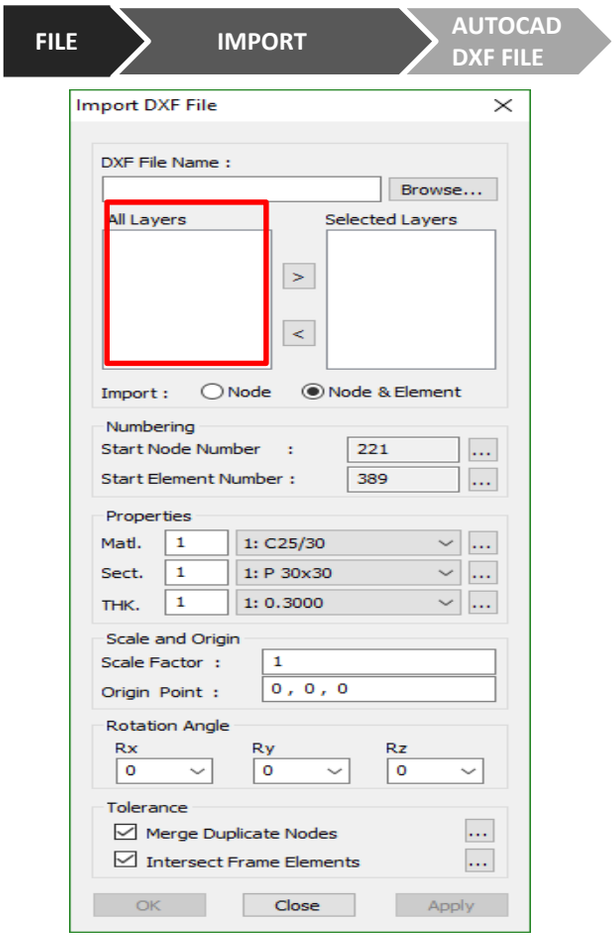
Spessori setti:

S = 0.30 m

Il software utilizza lo stesso spessore per calcolare sia la rigidezza flessionale che membranale

E' possibile distinguere la rigidezza flessionale da quella membranale inserendo 2 diversi valori di spessore.

1-6 Modellazione FEM: Importazione file DXF

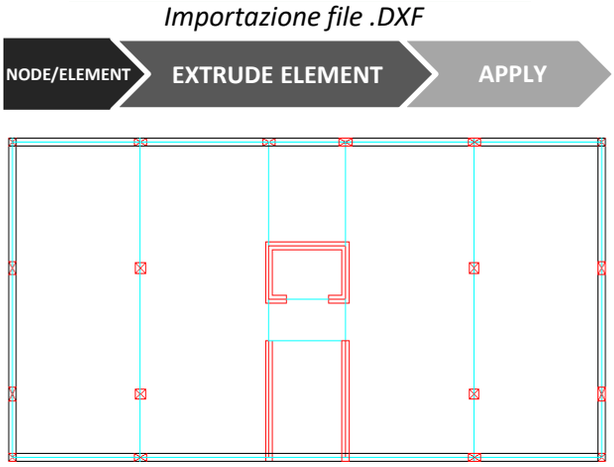


Importazione file .DXF

Tramite disegno CAD formato .DXF è possibile importare automaticamente la geometria (nodi ed elementi) della pianta di un piano tipo dell'edificio, per individuare la posizione di pilastri e setti.

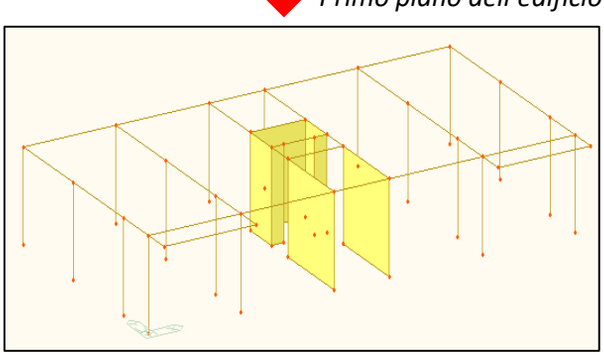
NOTA:
E' possibile selezionare i layer da importare da CAD in Midas Gen e assegnare rispettivamente materiale, sezione e spessore.
Particolare importanza si ha nel specificare il punto di origine di inserimento del modello e fattore di scala che deve essere coerente con il sistema di riferimento in Midas Gen.

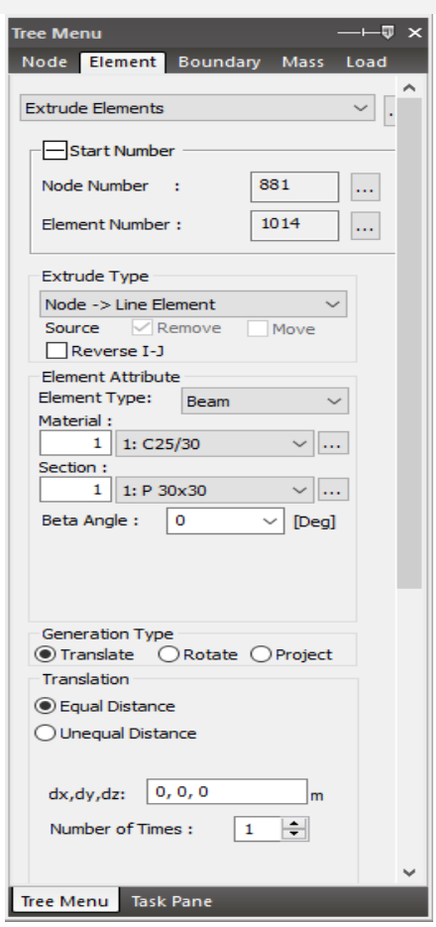
Tramite il comando "Extrude element" è successivamente possibile estrudere i nodi in line element (beam) e i line element in planar element (wall o plate).



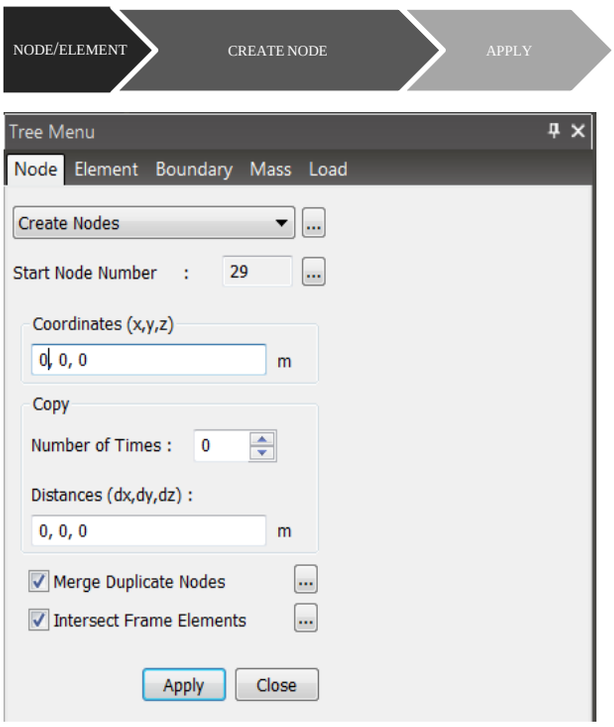
File AutoCAD .DXF

Primo piano dell'edificio

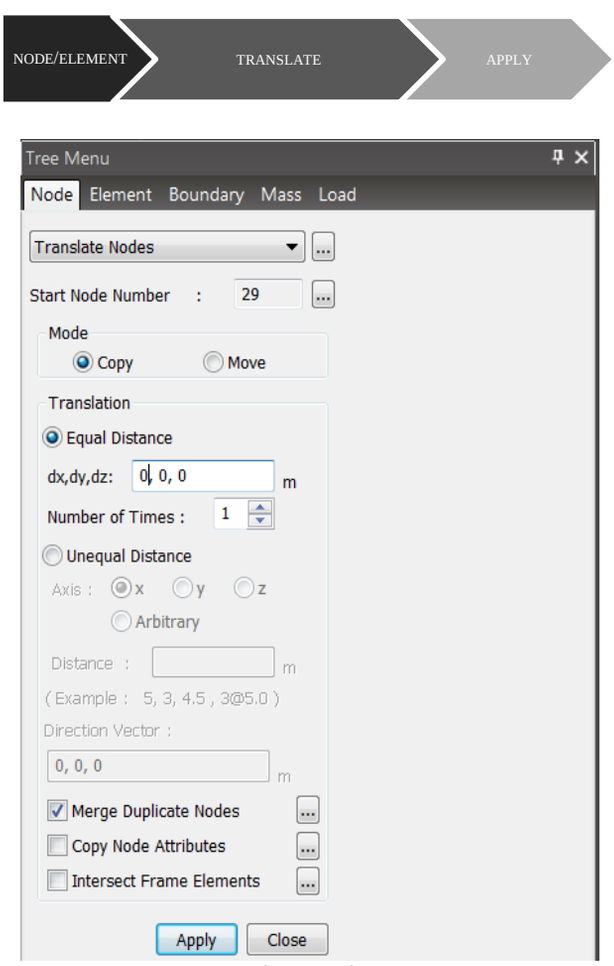




1-7 Modellazione FEM: Creazione di nodi



Create Nodes



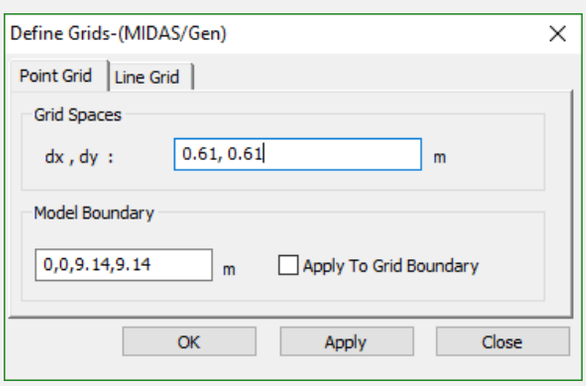
Translate nodes

Nel seguente esempio si decide di affrontare la modellazione tramite l'inserimento manuale delle coordinate dei nodi che fanno riferimento al GCS (global coordinate sistem).

NOTA 1:

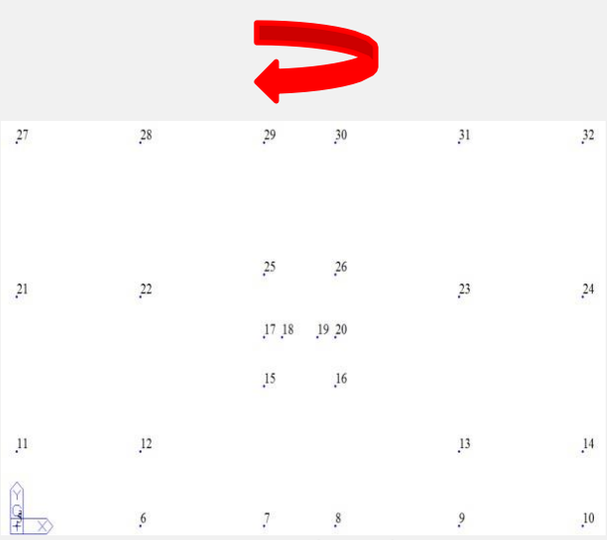
Nel caso di nodi posizionati a intervalli regolari è di aiuto nella modellazione definire una griglia di punti, tramite il comando:

Structure/Grids/Define point grid/apply



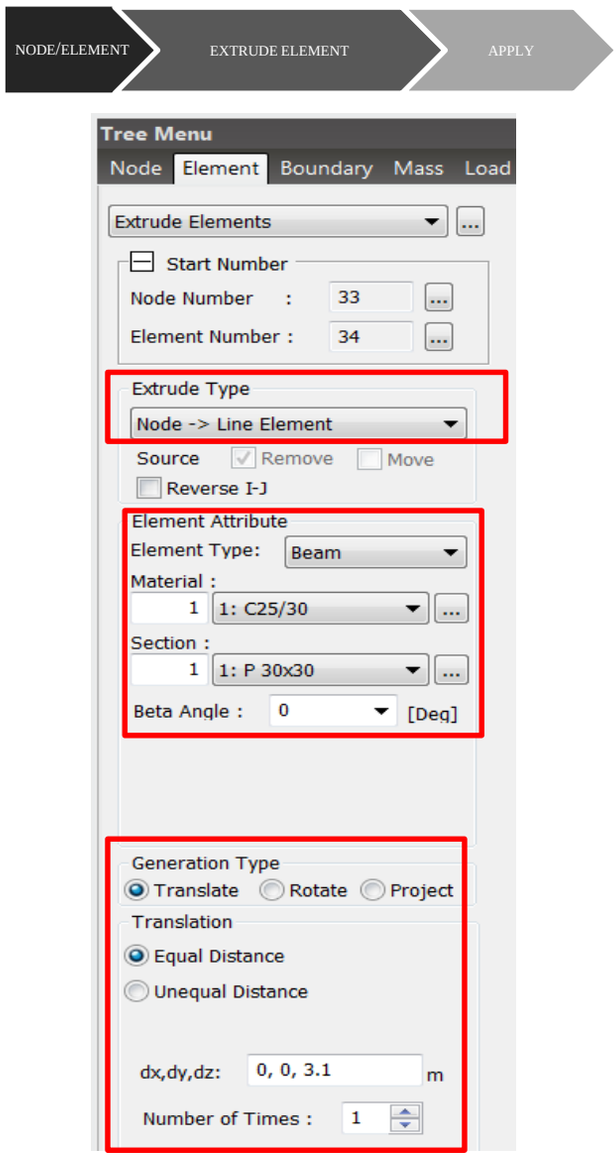
NOTA 2:

*Utilizzando il comando "**Translate Nodes**" è possibile copiare o muovere i nodi selezionati specificando una distanza. Lo stesso comando esiste anche per gli elementi.*



Creazione dei Nodi

1-8 Modellazione FEM: Creazione dei pilastri

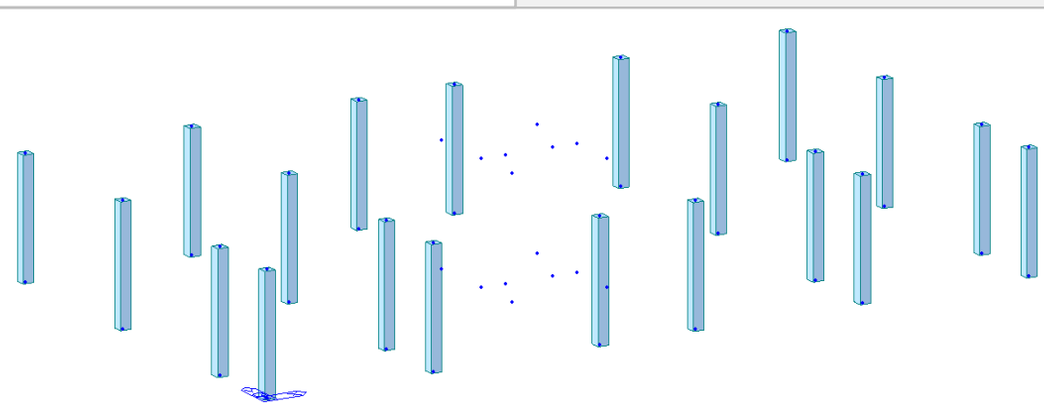


Extrude element

Definita la posizione dei nodi si procede alla creazione dei pilastri del solo piano terra tramite estrusione dei nodi in elementi beam.

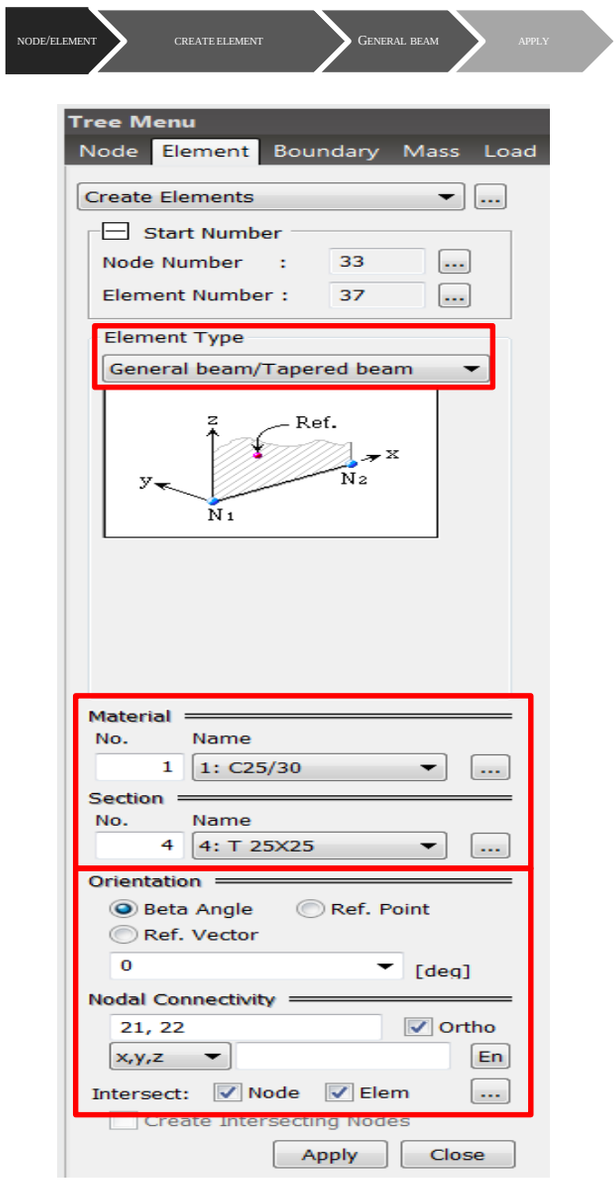
NOTA 1:
Si andranno ad estrudere in elementi beam verticali solo i nodi che rappresentano la posizione dei pilastri, mentre i nodi che rappresentano la posizione dei setti verranno copiati a quota z= 3.1 m, per poter poi creare successivamente le travi di piano.

NOTA 2:
*Dal **tree menu/works** tramite "**drag and drop**" è possibile andare a selezionare i pilastri e assegnare la corretta sezione precedentemente definita.*



Di default il programma considera elementi **"column"** tutti quelli con orientamento verticale ed elementi **"beam"** quelli orizzontali.

1-9 Modellazione FEM: Creazione delle travi di piano



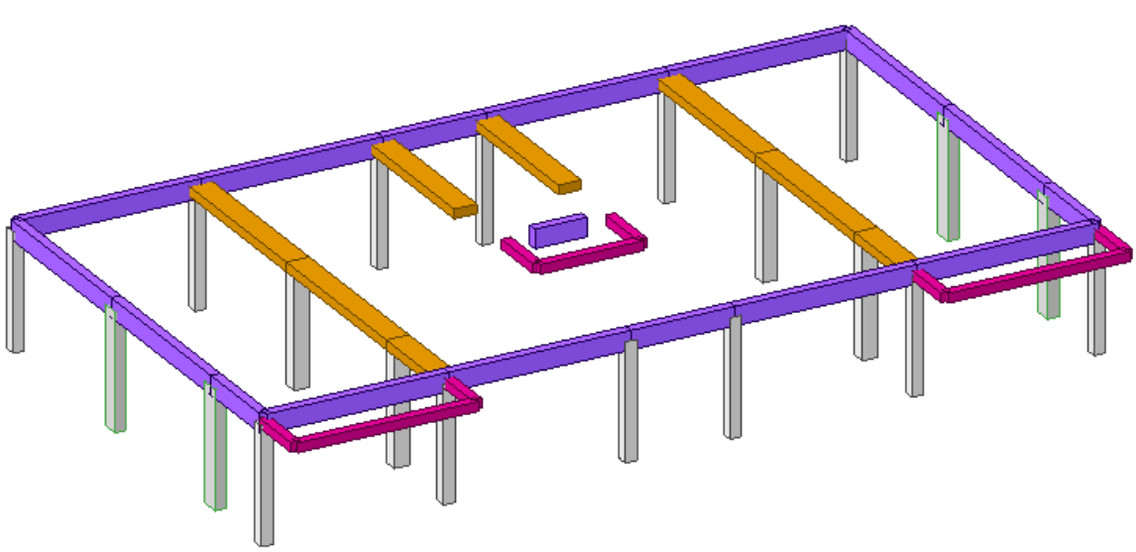
Create element – generalbeam

Si procede alla creazione delle travi di piano tramite il comando ***create elements.***

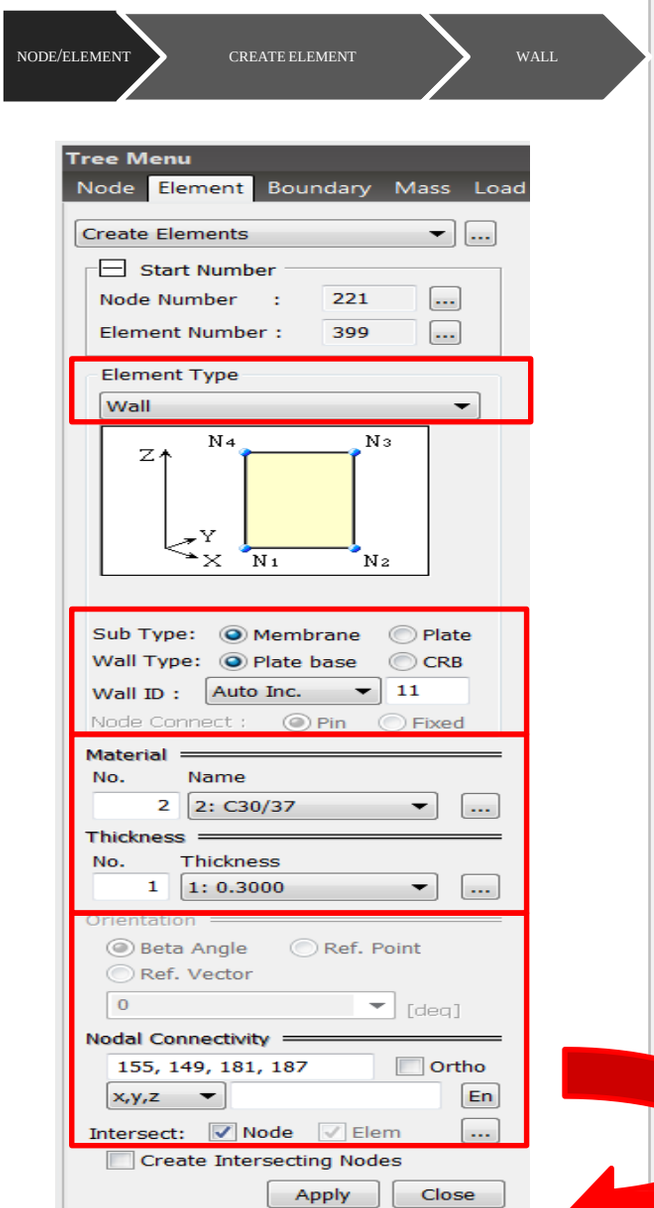
NOTA 1:
*Da **display/element/localaxis** è possibile visualizzare gli assi locali di ogni singolo elemento.*

NOTA 2:
*Dal **tree menu/works** tramite drag and drop è possibile andare a selezionare le travi e modificare la sezione precedentemente definita.*

NOTA 3:
*Da **display option/draw/element color** è possibile assegnare diversi colori agli elementi in base alla **tipologia strutturale, al materiale o alla sezione.***



1-10 Modellazione FEM: Creazione degli elementi wall



Create element - wall

Si procede alla creazione degli elementi **WALL**.

Nota:

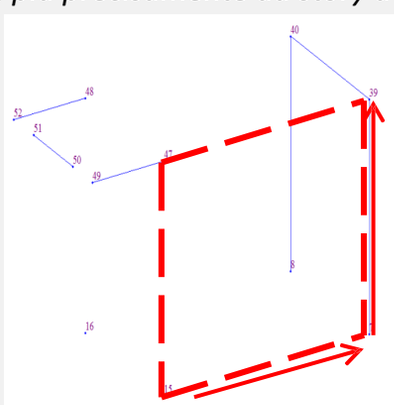
Per la creazione degli elementi wall si seleziona il primo nodo in basso a sinistra e si procede in senso antiorario.

Subtipe:

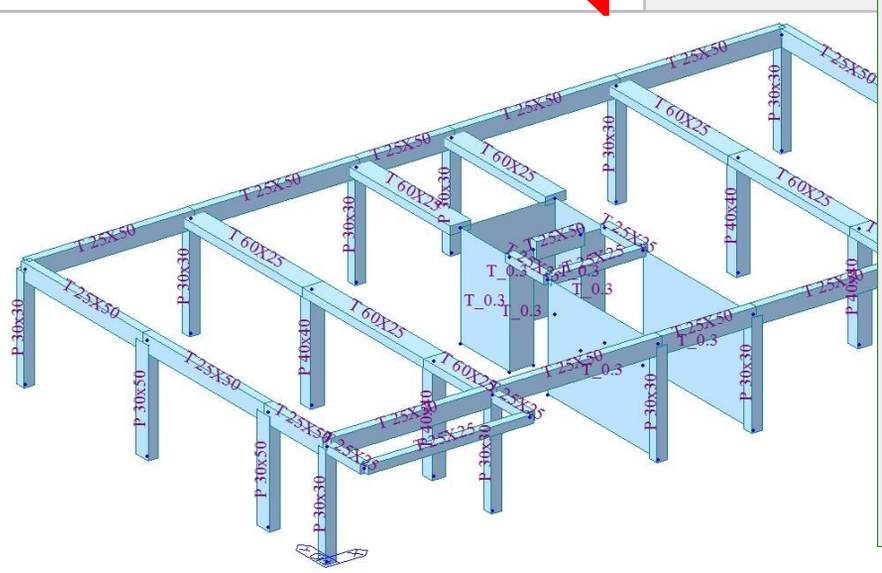
*•**Membrane**: L'elemento wall possiede una rigidezza solo membranale trascurando quella flessionale (labile fuori piano).*

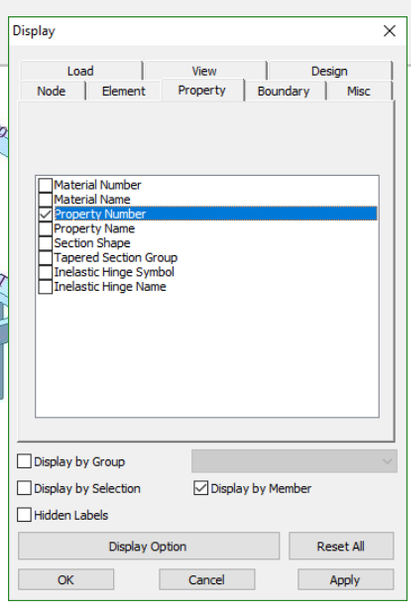
*•**Plate base:** L'elemento oltre che rigidezza membranale possiede anche rigidezza fuori piano.*

L'elemento wall deve andare da piano a piano, più precisamente da story a story.

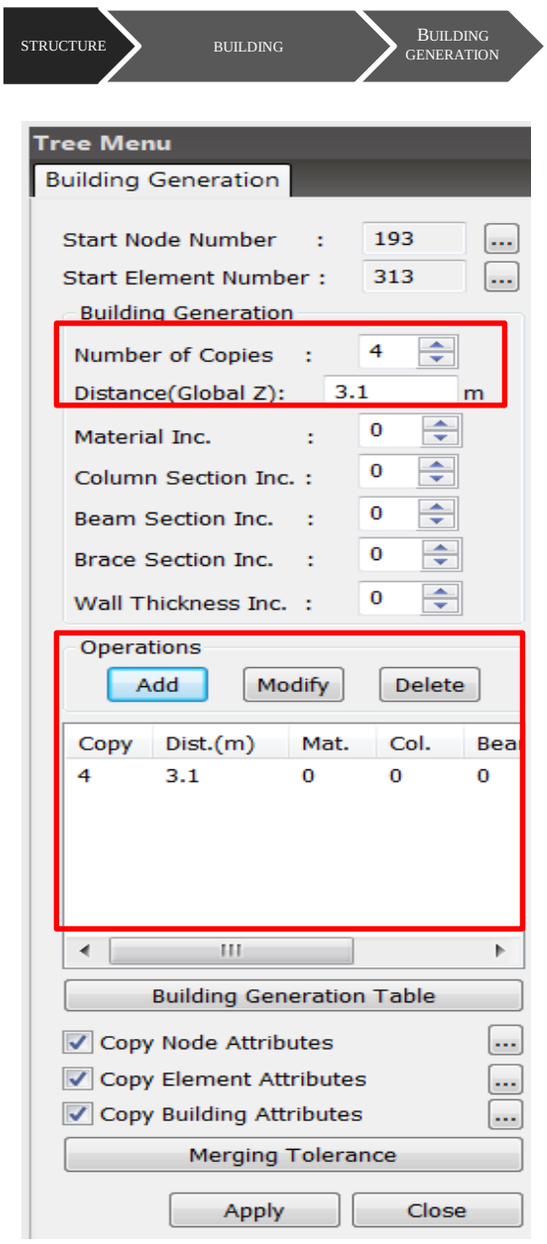


Creazione elemento wall

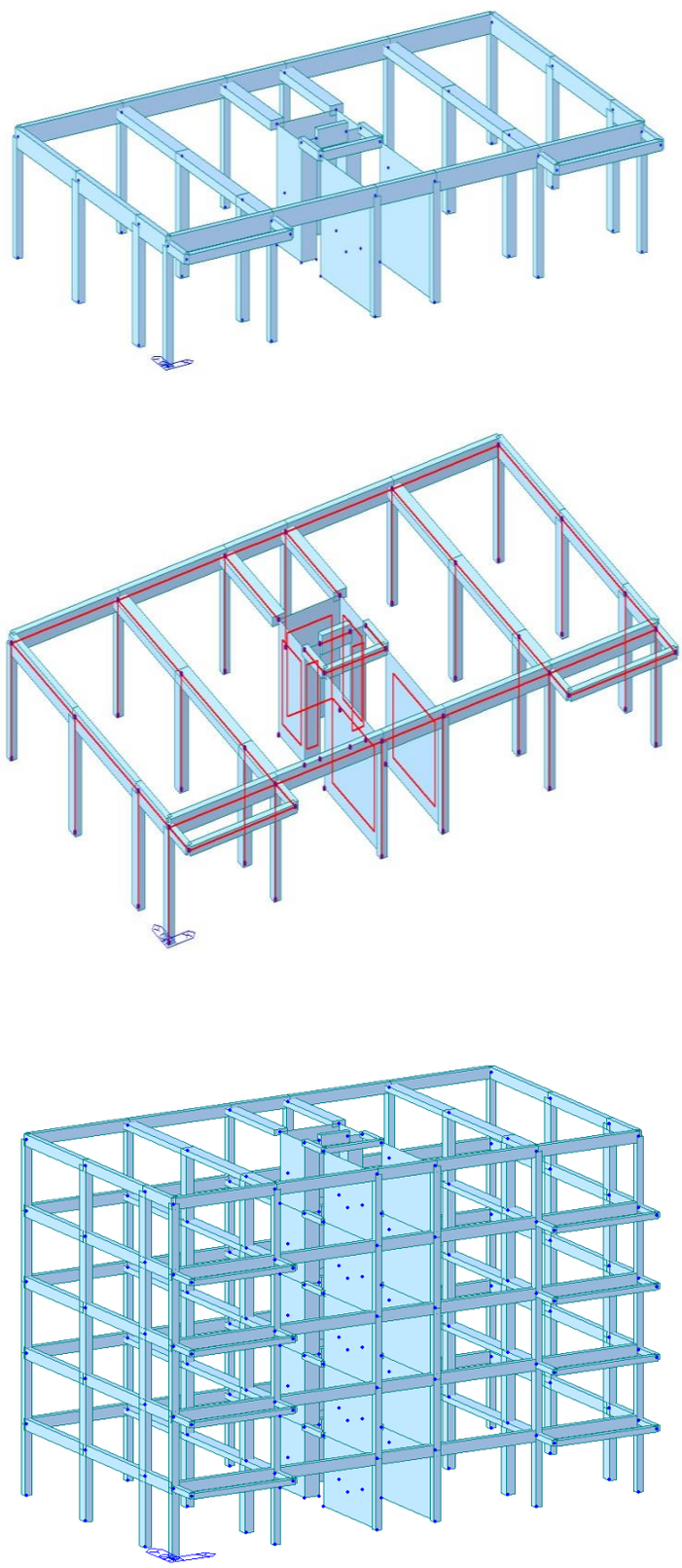




1-11 Modellazione FEM: Building generation

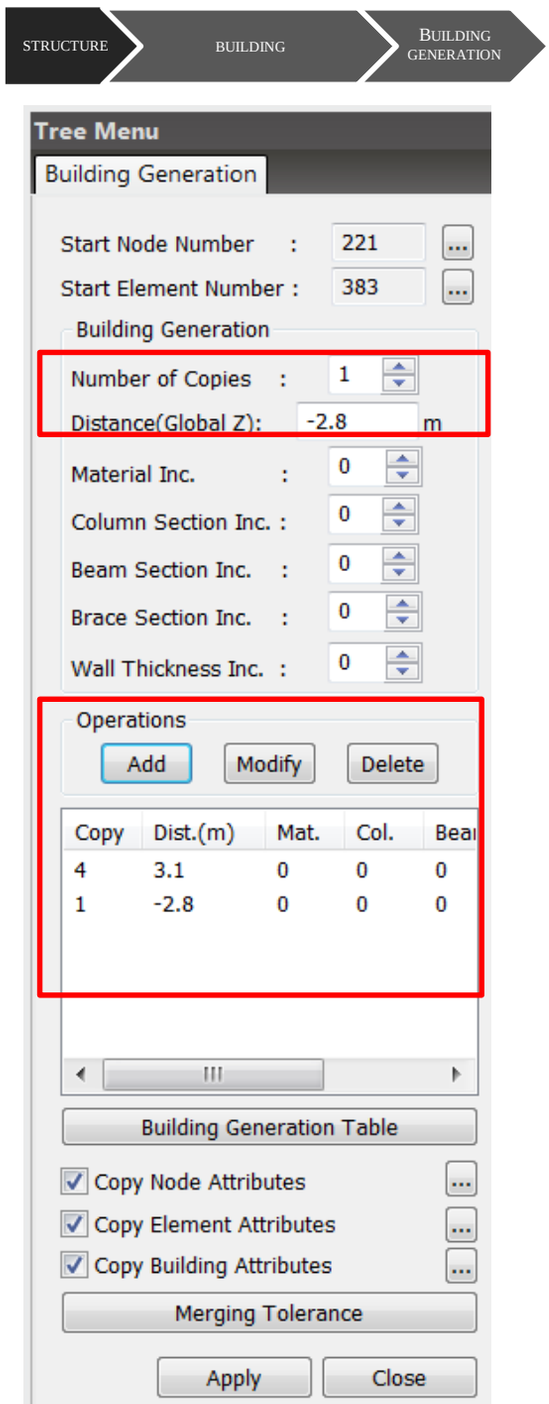


Building generation

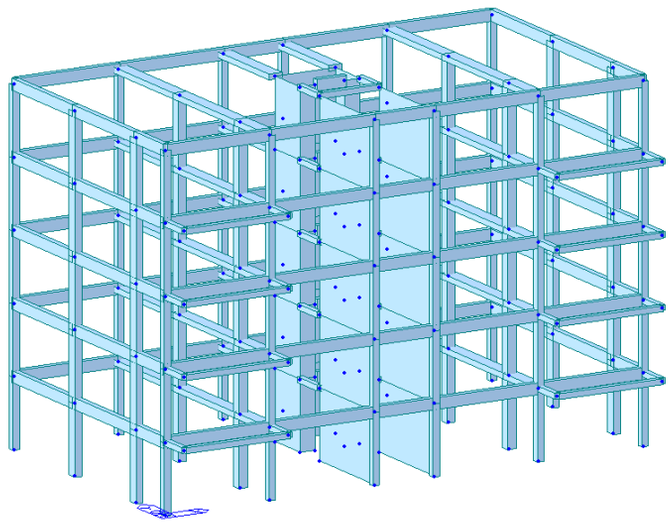


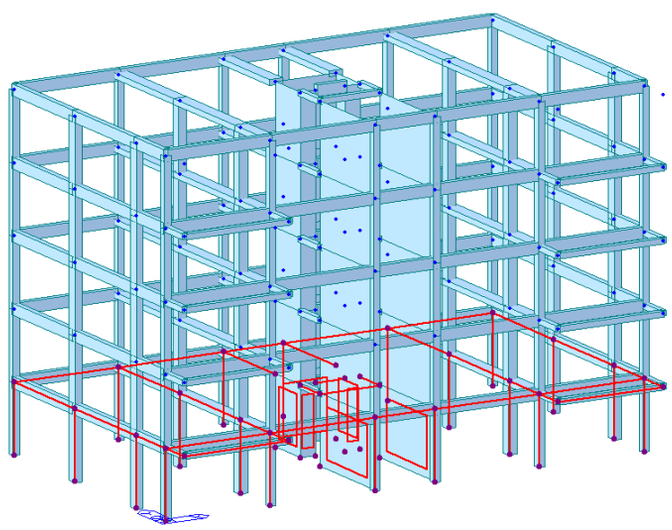
Building generation (creazione multipla di piani): il comando permette di copiare in serie i piani con le relative caratteristiche di proprietà: materiale, sezione, carichi e condizioni al contorno.

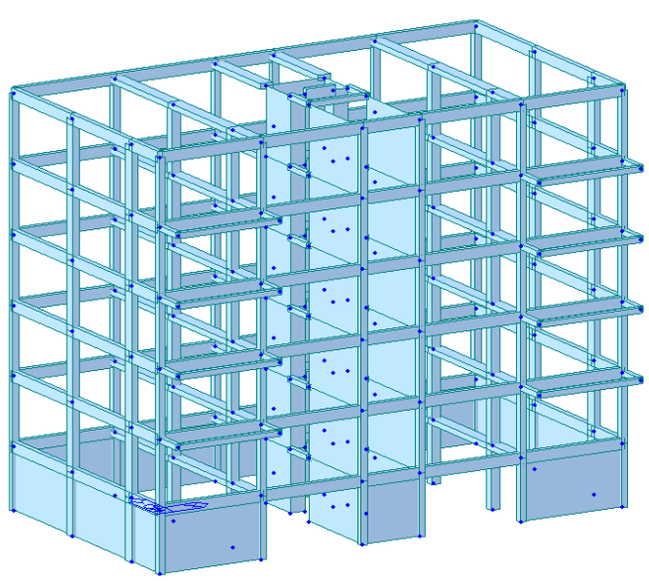
1-11 Modellazione FEM: Building generation



Building generation







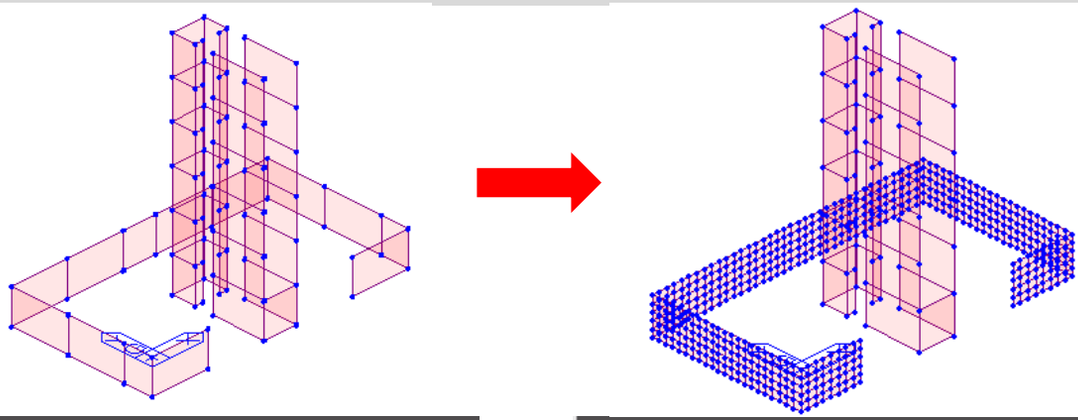
Nel piano interrato vengono inoltre inseriti elementi wall come mostrato in figura.

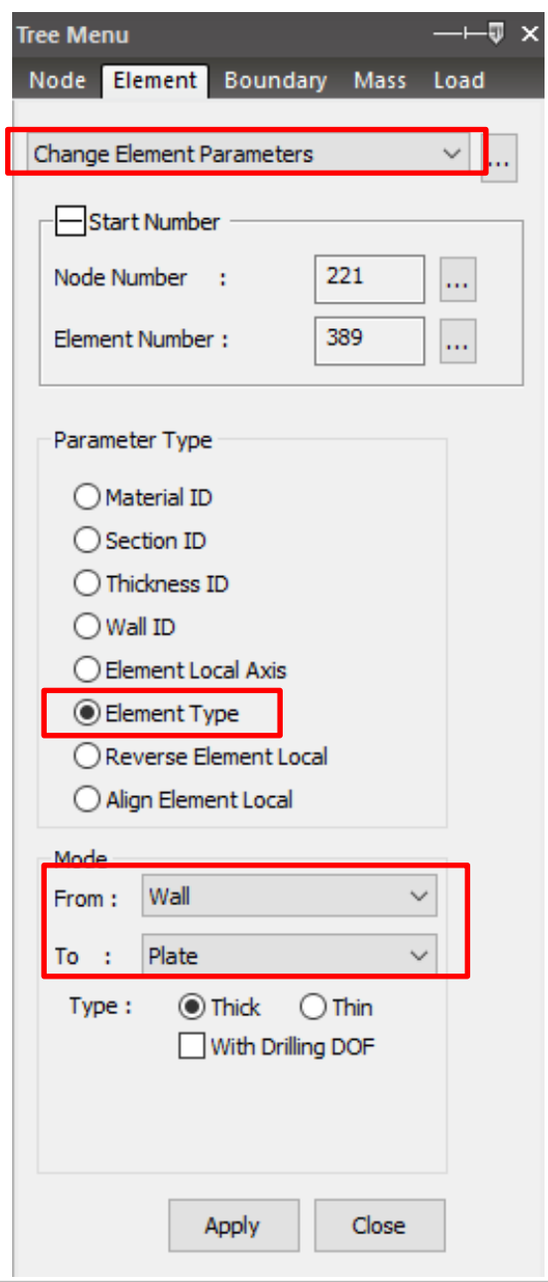
1-12 Modellazione FEM: Passaggio da Wall a Plate

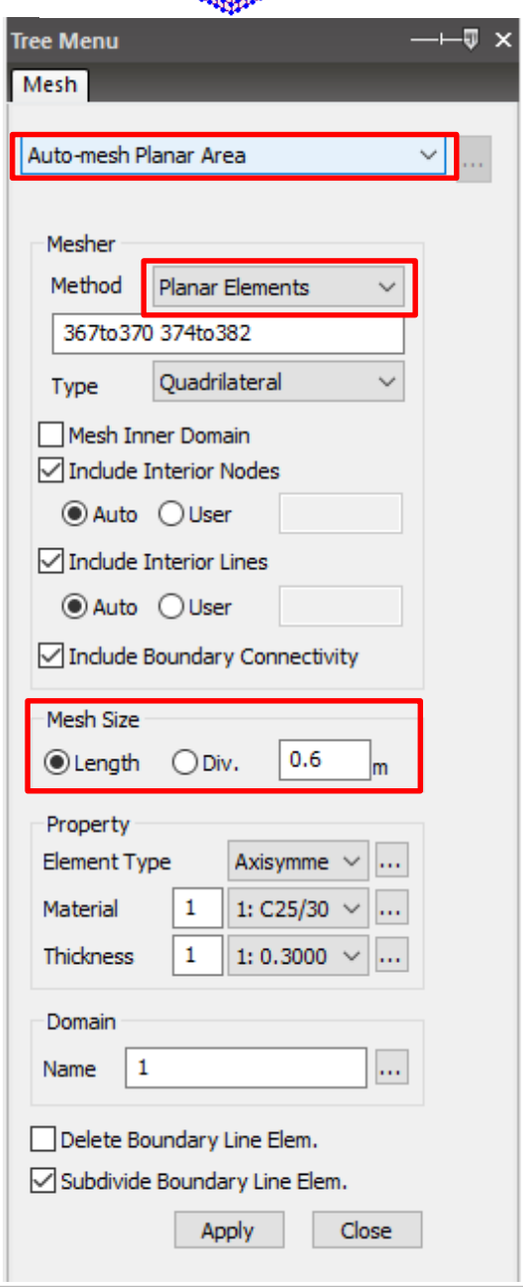
NODE/ELEMENT → CHANGE PARAMENTERS

NODE/ELEMENT → AUTO-MESH

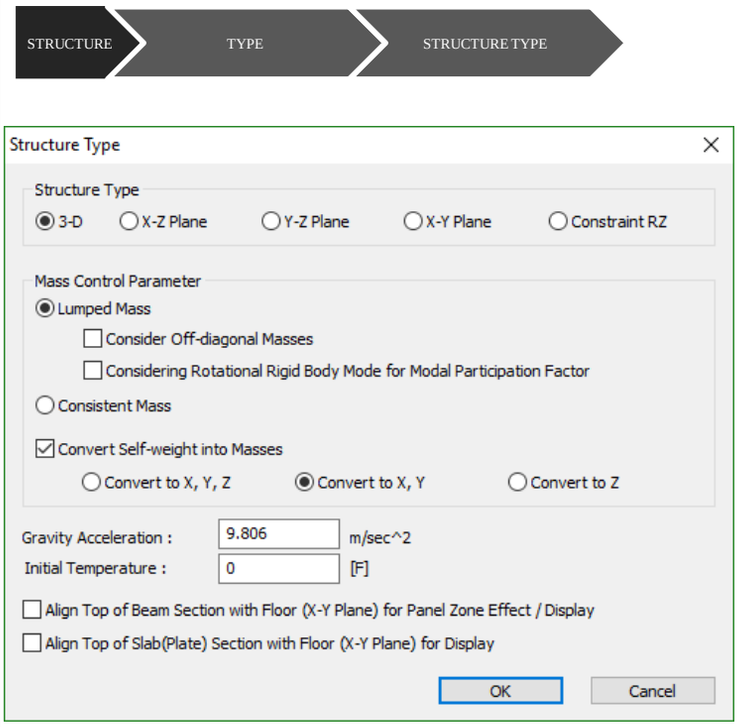
Trasformazione degli elementi wall seminterrati in elementi plate meshati.





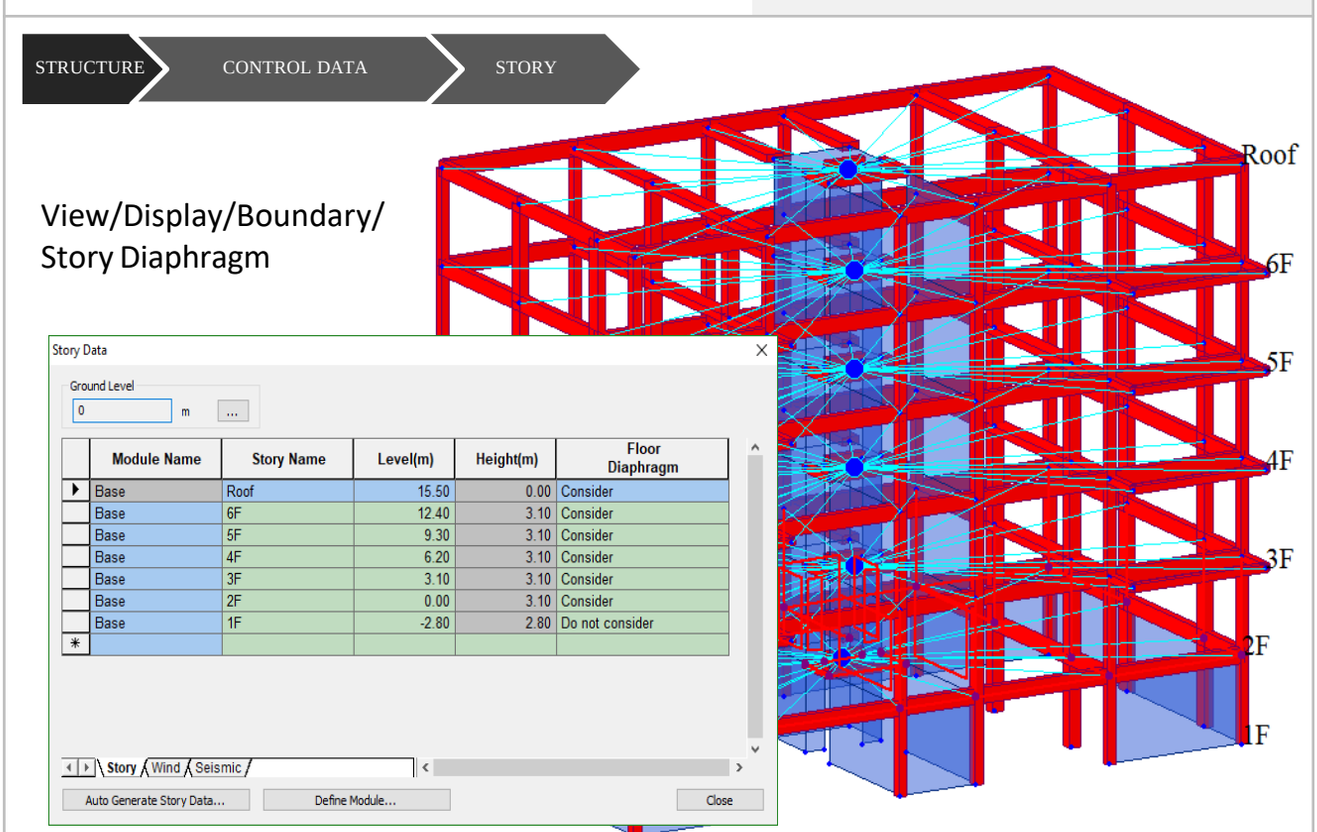


1-13 Modellazione FEM: Definizione dei piani rigidi



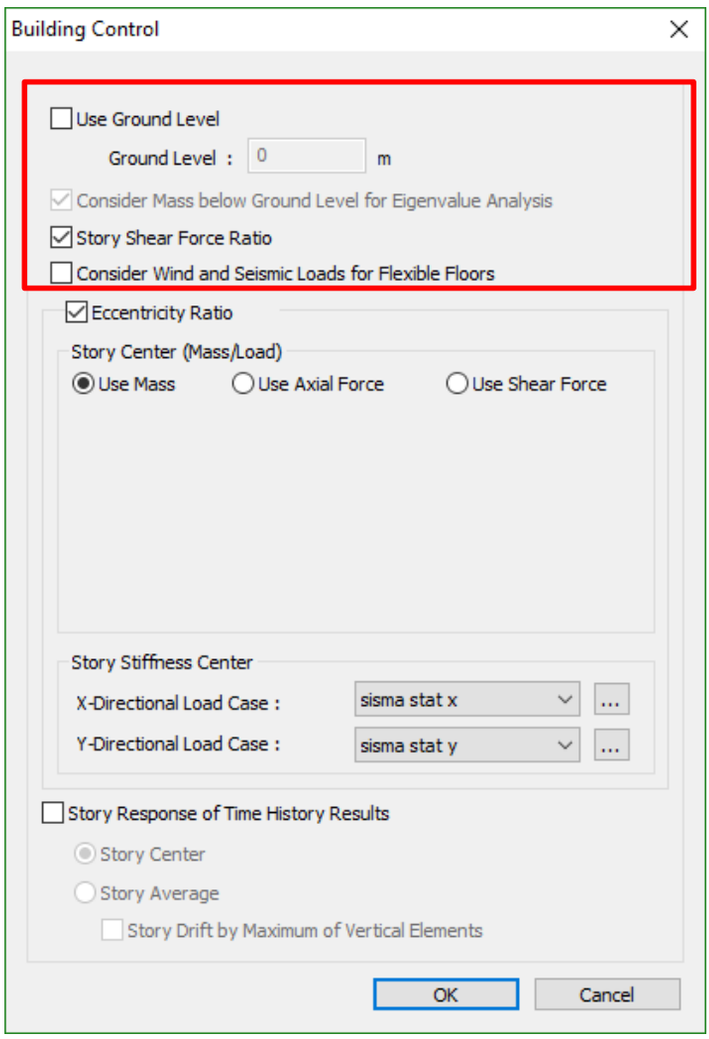
E' necessario indicare il tipo di struttura, in questo caso 3D, e la trasformazione del peso proprio degli elementi in masse nodali applicate ai nodi (lumped mass), in questo caso le masse avranno proprietà inerziali di tipo traslazionali nel solo piano x-y.

NOTA: *L'allineamento di beam o plate indicato in basso è solo un'opzione grafica e non va a modificare lo schema strutturale.*



Definizione dei livelli della struttura necessari per la definizione dei lateral load. Alla voce "Floor Diaphram" è inoltre possibile definire piano rigido (Consider) o piano flessibile (Do not consider).

STRUCTURE → BUILDING → CONTROL DATA

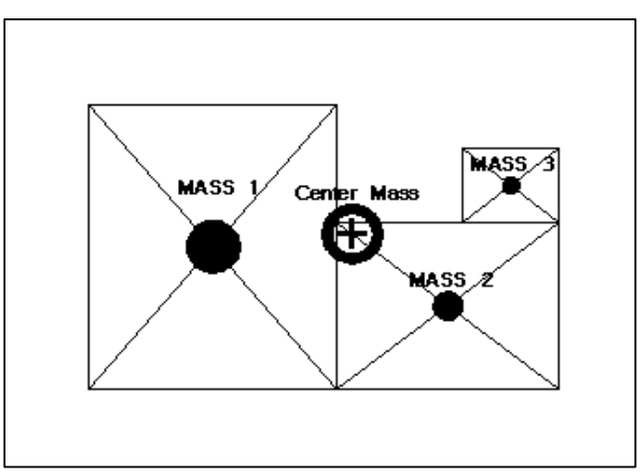


NOTA 1:

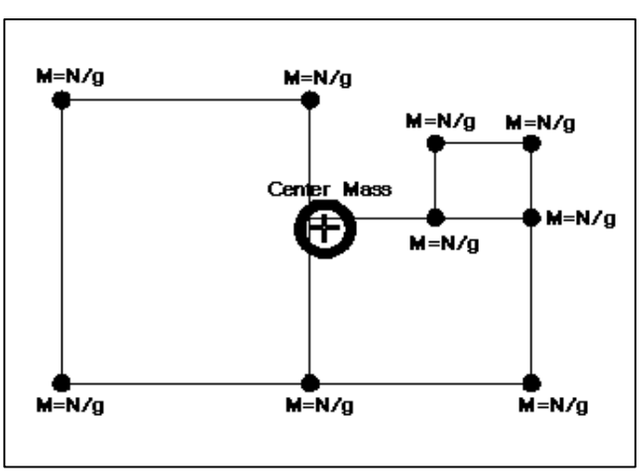
Consider Mass below Ground Level for Eigenvalue Analysis: Esclude dall'analisi modale le masse al di sotto del livello considerato (Ground Level).

NOTA 2:

Story Shear Force Ratio: Calcolo delle forze di taglio per piano. Utilizzate in seguito per le verifiche sismiche.



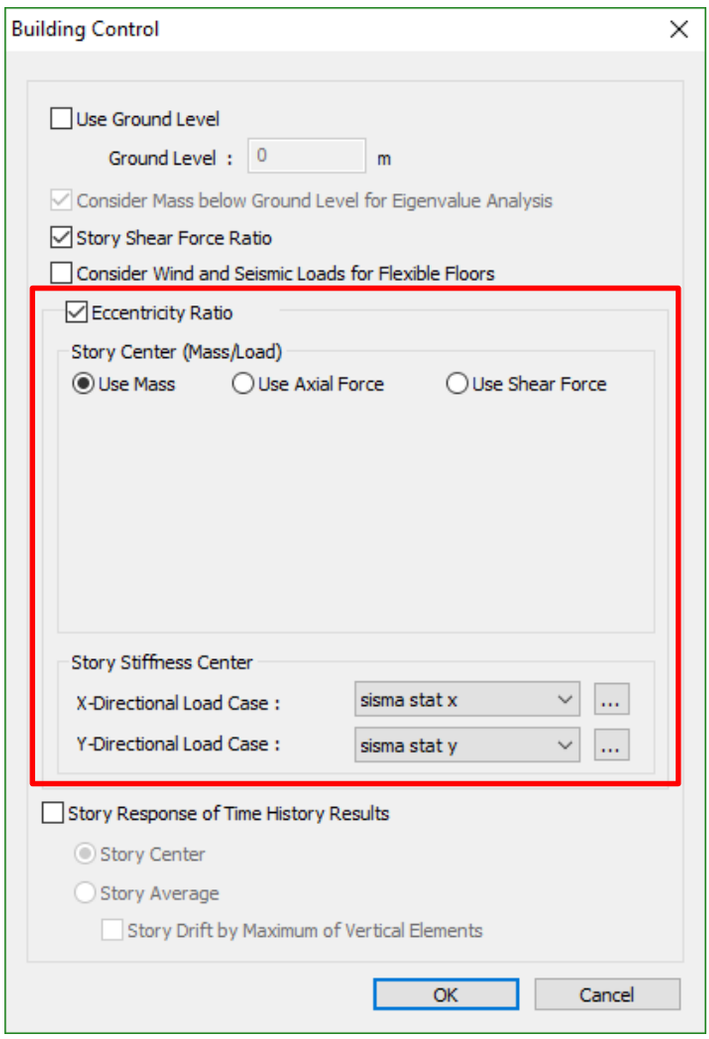
Story Center – Use Mass



Story Center – Use Axial Force

1-14 Modellazione FEM: Building Control

STRUCTURE → BUILDING → CONTROL DATA



Story Center (Mass/Load):

Calcolo del centro di massa per ogni piano.
Calcolo del centro di rigidezza in base a una coppia di forze orizzontali tra loro ortogonali.

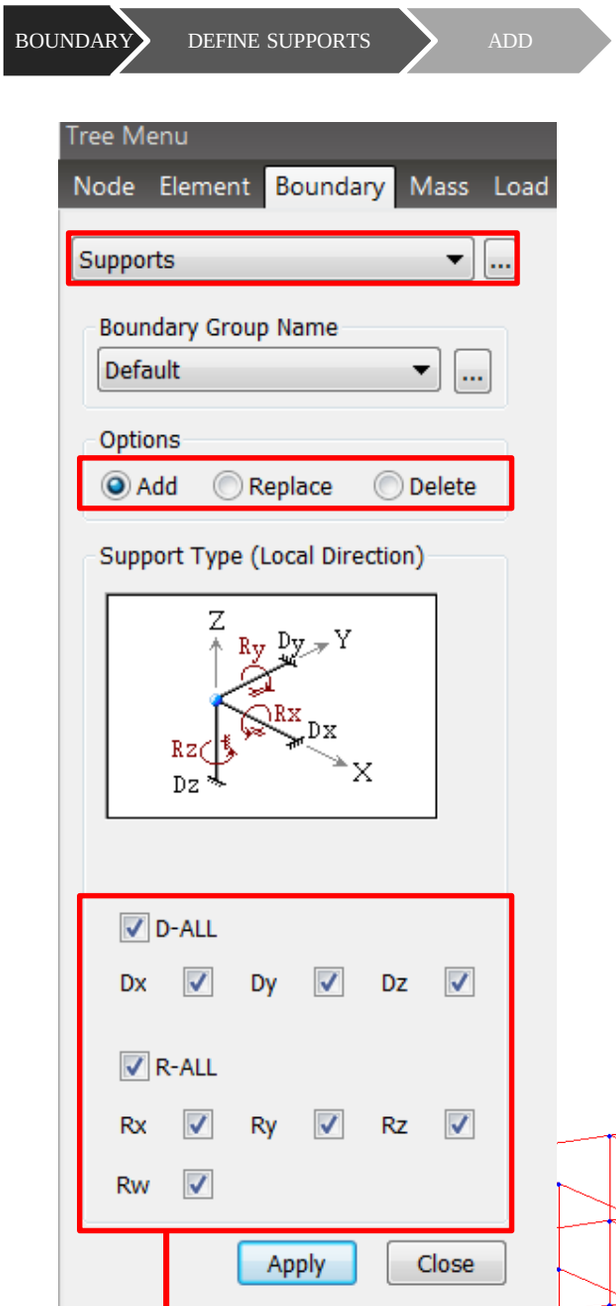
Story Stiffness Center:

Il CR deve essere calcolato secondo l'effettiva rigidezza alla traslazione degli elementi verticali. Il programma quindi richiede di due sistemi di forze orizzontali ed ortogonali tra di loro per calcolarlo.
Con questo sistema si calcola il CR secondo l'inerzia della sezione, la lunghezza effettiva dell'elemento frame e il grado di vincolo.

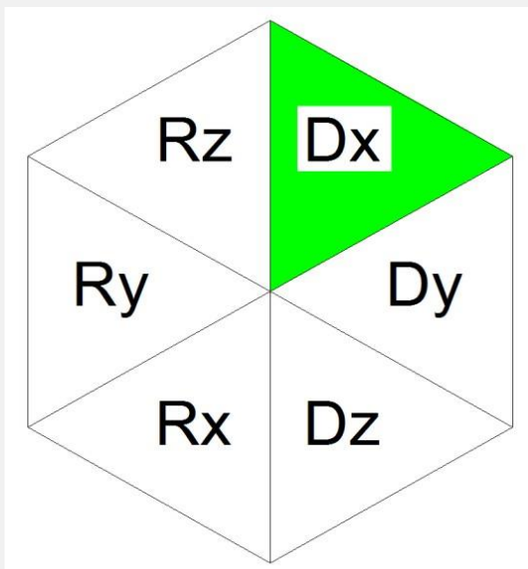
Possiamo visualizzare la posizione del centro di massa e del centro di rigidezza utilizzando il comando ***Result/Result Tables/Story Eccentricity***

Story	Level (m)	Weight Center		Stiffness Cent		Ecc. Dist.		Torsional Stiffness (kN*m)	El. Radius		Ecc. Ratio	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		X (m)	Y (m)	X	Y
Roof	15.50	10.98	5.92	11.11	6.27	0.14	0.35	1.43e+007	11.03	6.77	0.03	0.02
6F	12.40	10.74	5.54	10.96	7.09	0.23	1.55	1.32e+007	7.09	4.33	0.22	0.05
5F	9.30	10.74	5.54	10.95	7.20	0.21	1.65	1.46e+007	6.15	3.70	0.27	0.06
4F	6.20	10.74	5.54	10.94	7.40	0.20	1.86	1.56e+007	5.39	3.18	0.35	0.06
3F	3.10	10.74	5.54	10.93	7.20	0.20	1.66	2.27e+007	5.02	2.90	0.33	0.07
2F	0.00	10.77	6.00	10.96	7.69	0.20	1.69	5.68e+009	8.89	11.07	0.19	0.02
1F	-2.80	10.98	6.36	0.00	0.00	10.98	6.36	0.00e+000	0.00	0.00	0.00	0.00

1-15 Modellazione FEM: Definizione dei vincoli

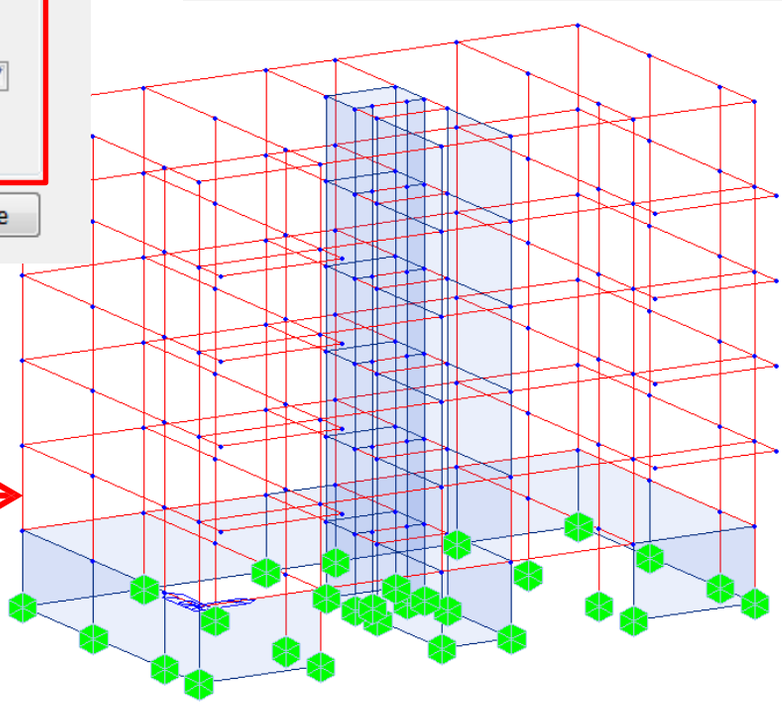


Si procede all'assegnazione dei vincoli, considerando la struttura incastrata alla base.



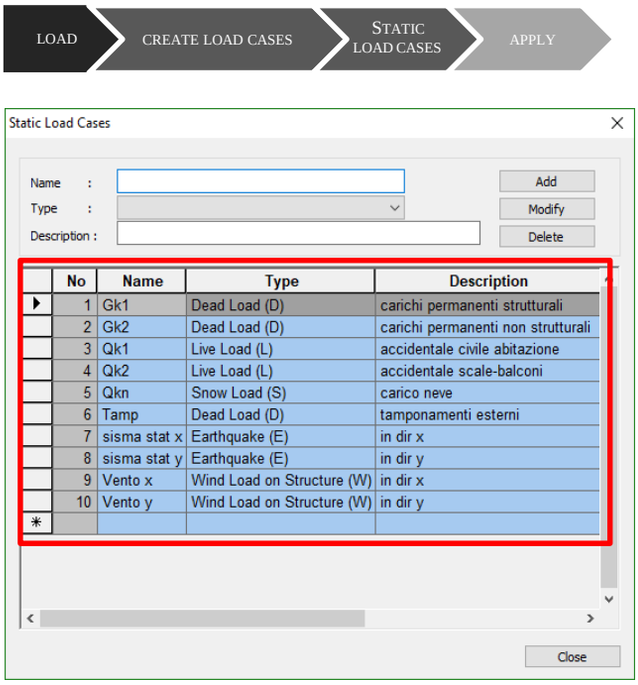
Rappresentazione grafica dei vincoli. Ogni spicchio colorato (verde) corrisponde ad un g.d.l. vincolato.

Define supports

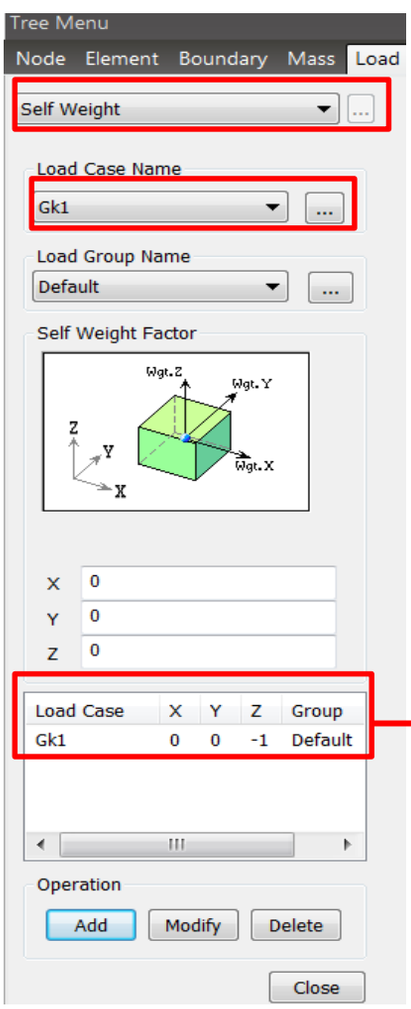


Assegnazione dei vincoli: Incastro perfetto

2-1 Assegnazione dei carichi: Definizione casi di carico



Definizione dei casi di carico



Self Weight

Si procede all'assegnazione dei carichi nel modello.

Definizione dei casi di carico

Carichi statici : NTC 18 cap. 3 azioni sulle costruzioni.

Pesi propri : il programma calcola in maniera automatica il peso proprio degli elementi Gk1 in base ai valori di peso specifico indicati in NTC 18 tab. 3.1.I

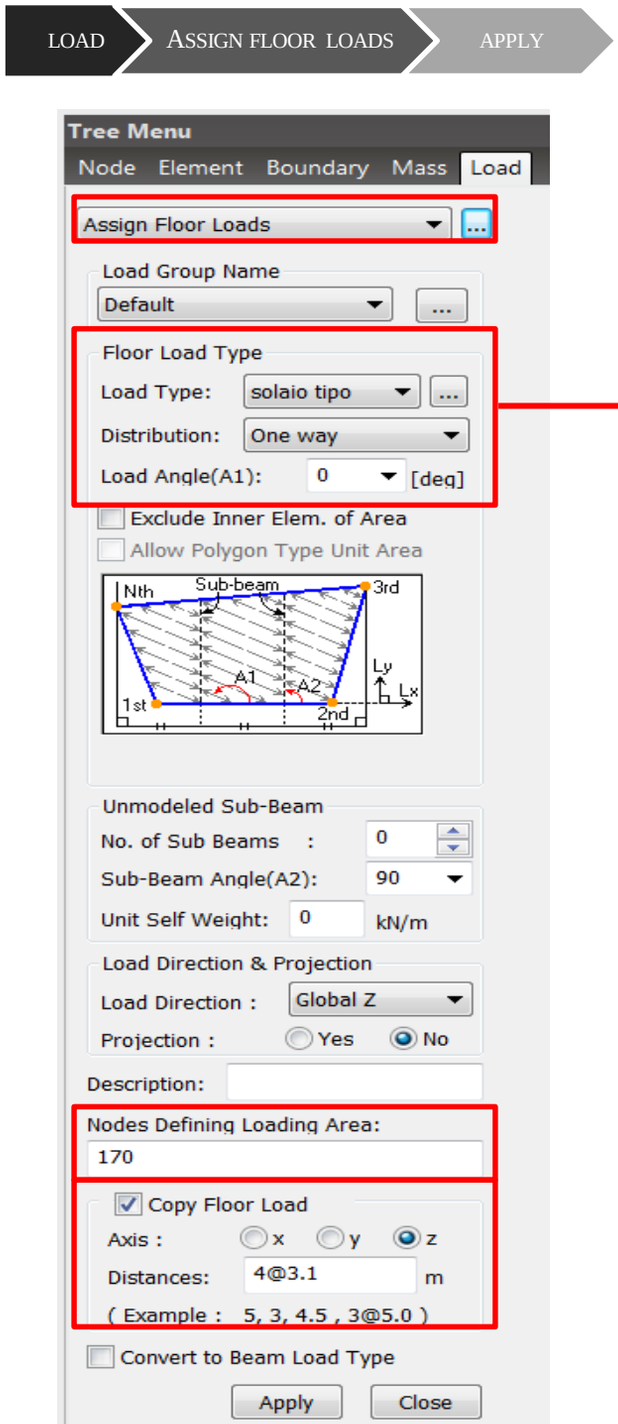
Carichi permanenti: *peso solai Gk2 cap. 3.1.3*

Carichi accidentali: *Carichi verticali uniformemente distribuiti qk in base alla destinazione d'uso definita in NTC 18 tab. 3.1.II, Carico vento NTC 18 cap. 3.3.4.*

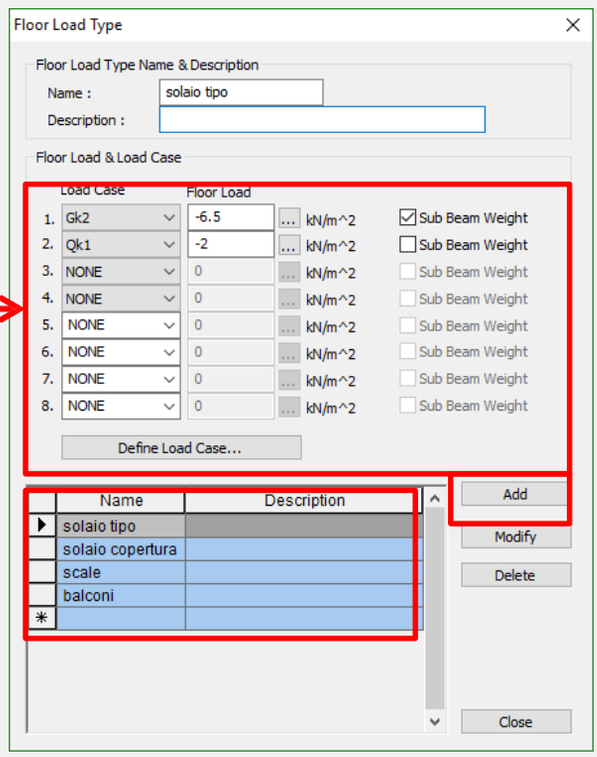
Sisma statico equivalente: *NTC 18 cap. 7.3.3.2.*

Assegnazione del peso proprio al modello. E' necessario settare il vettore z come direzione del peso proprio.

2-2 Assegnazione dei carichi: Definizione dei carichi di piano



Assign floor loads



Floor Load Type

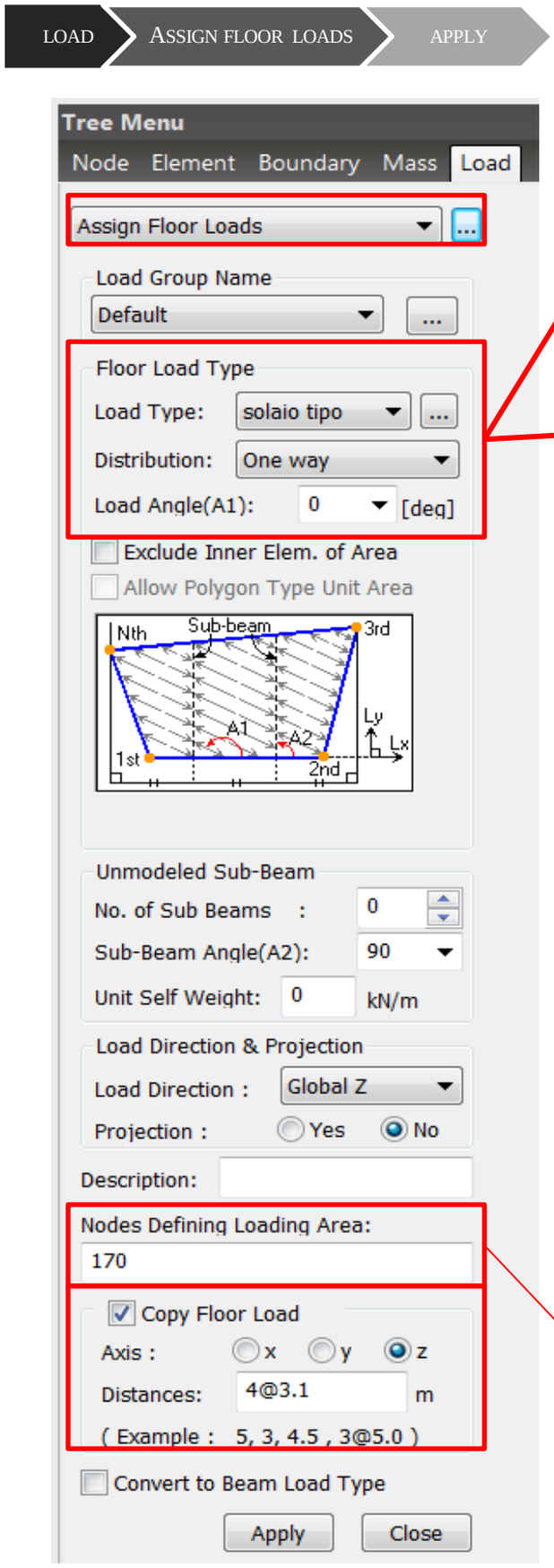
NOTA 1:

Si procede all'assegnazione dei carichi di piano come indicato in tabella.

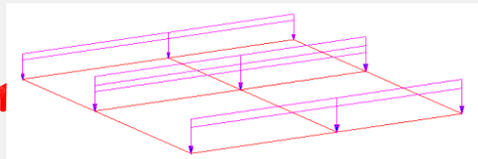
Carichi Permanenti (G_k)		Carichi Variabili (Q_k)	
Solaio tipo:	6,50 kN/m²	Solaio tipo:	2,00 kN/m²
Solaio copertura:	6,00 kN/m²	Scale e pianerottoli:	4,00 kN/m²
Scale:	8,30 kN/m²	Solaio copertura:	1,30 kN/m²
Balconi:	5,55 kN/m²	Balconi:	4,00 kN/m²
Tamponam. esterni:	6,25 kN/m		

Tabella: carichi permanenti e accidentali

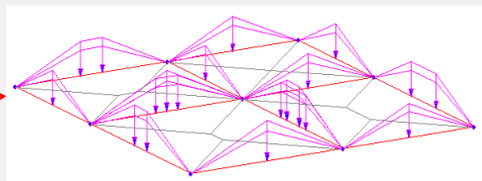
2-2 Assegnazione dei carichi: Definizione dei carichi di piano



Assign floor loads



Monodirezionale (One way)



Bidirezionale (Two way)

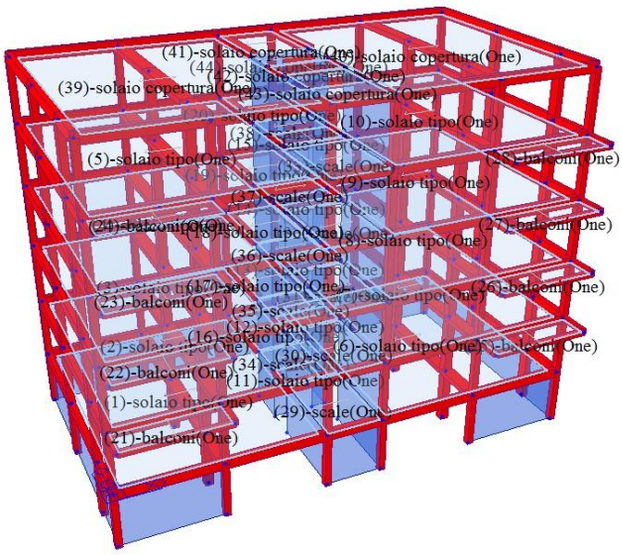
NOTA 1:
Per assegnare correttamente il "floor load" è necessario che i nodi, che rappresentano l'area caricata, siano complanari.

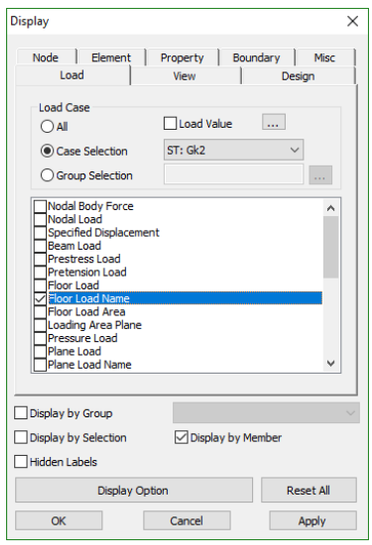
NOTA 2:
Load Angle: definisce l'angolo di orditura del solaio rispetto al primo lato selezionato.

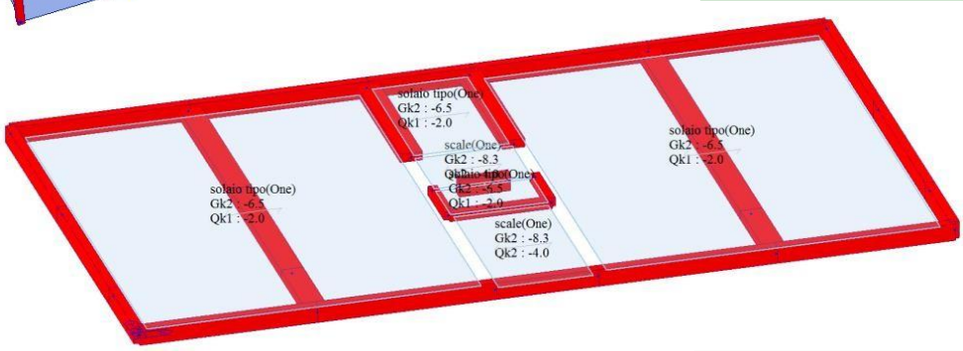
NOTA 3:
Il perimetro dell'area caricata è definibile con elementi beam, wall, e plate orientati verticalmente.

Minimo 3 nodi

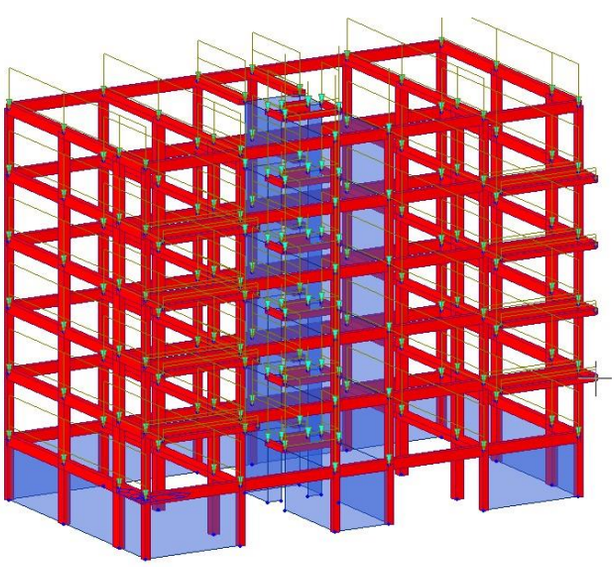
2-2 Assegnazione dei carichi: Definizione dei carichi di piano

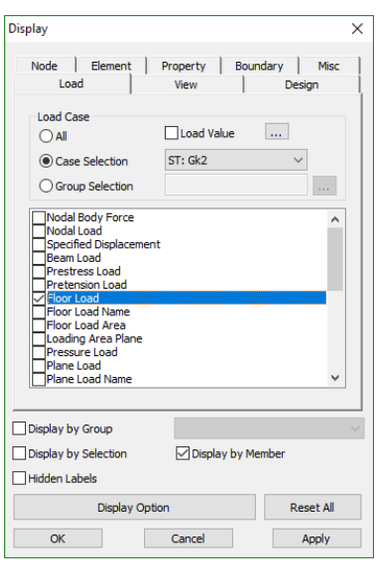


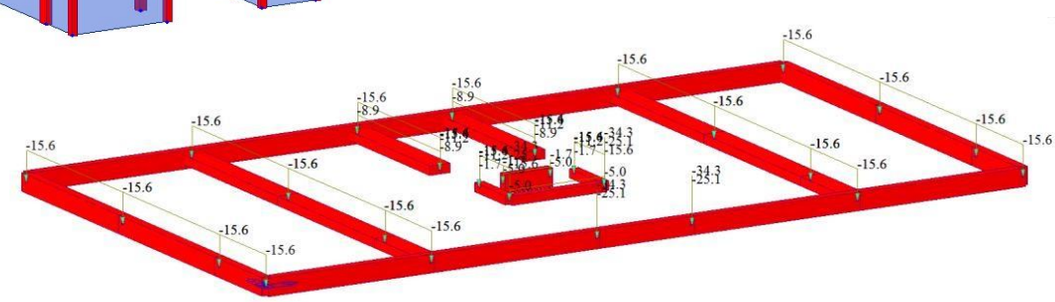




Carico di solaio

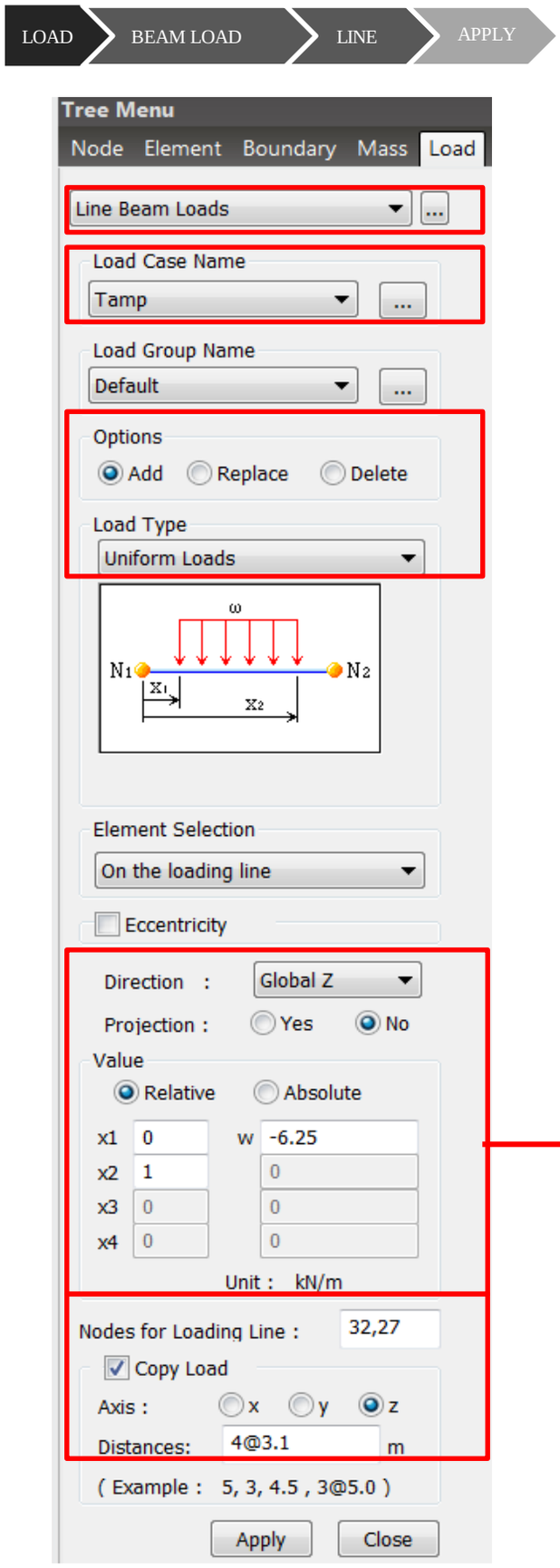






Carichi di solaio linearizzati sulle travi in base all'area di influenza

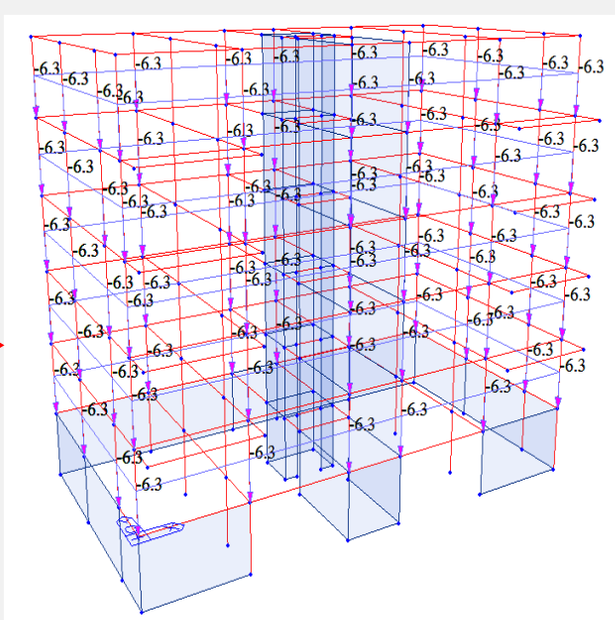
2-3 Assegnazione dei carichi: Definizione dei carichi tamponamento



Line beam loads

Si procede all'assegnazione del carico dei tamponamenti lungo le travi perimetrali tramite il comando ***line beam load*** andando a selezionare i due nodi tra i quali si vuole applicare il carico.

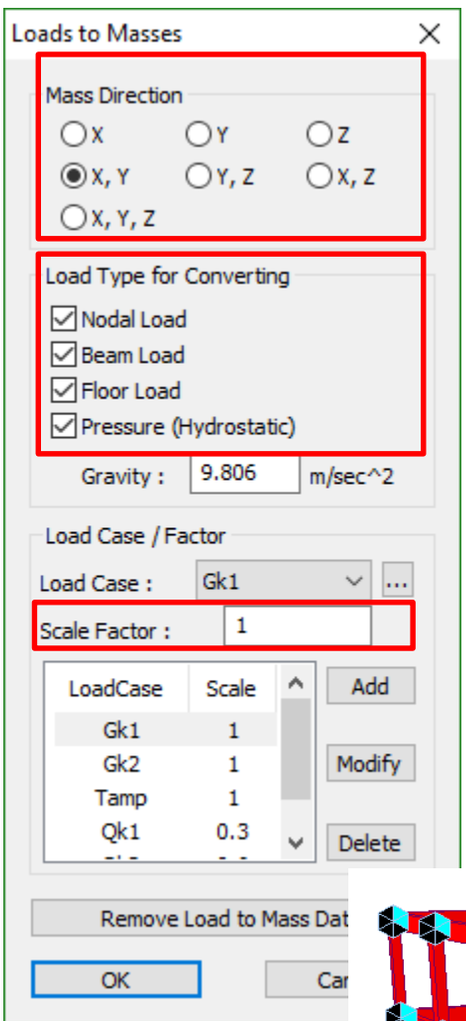
Il medesimo risultato si può ottenere tramite il comando ***element beam loads*** andando a selezionare gli elementi sui quali si vuole applicare il carico.



Assegnazione carichi lineari su beam

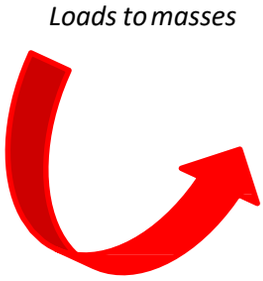
2-4 Assegnazione dei carichi: Conversione dei carichi in masse

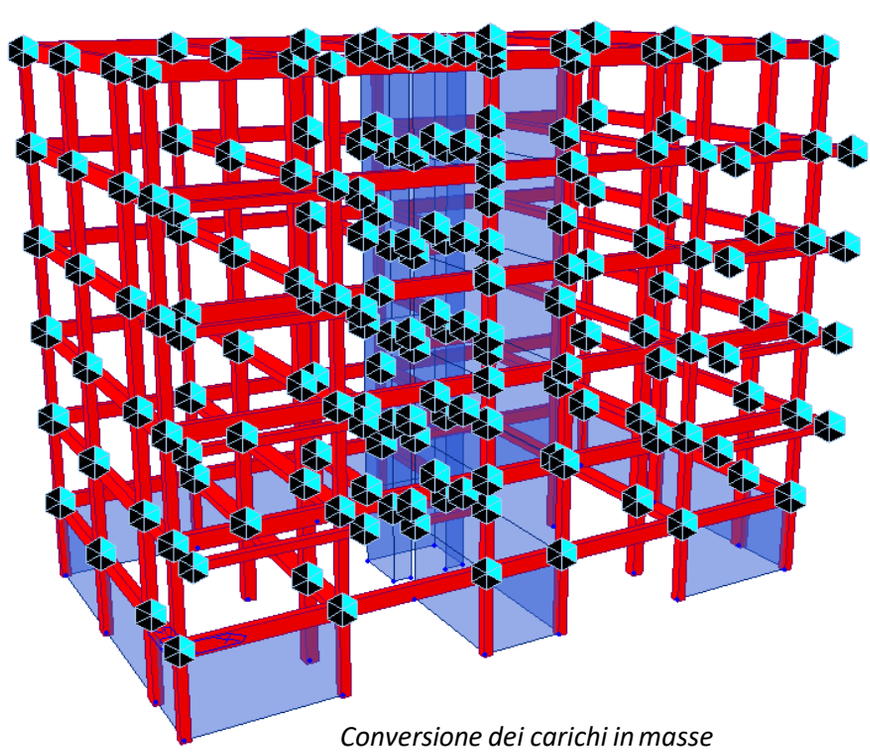
LOAD → STRUCTURE LOADS/MASSES → LOADS TO MASSES



E' necessario ora convertire i carichi portati, permanenti e accidentali, in masse affinché il solutore possa creare la matrice delle masse necessaria per l'analisi agli autovalori. I carichi vengono convertiti in masse e moltiplicati per un coefficiente di combinazione definito da normativa D.M. 18 cap. 2.5.2

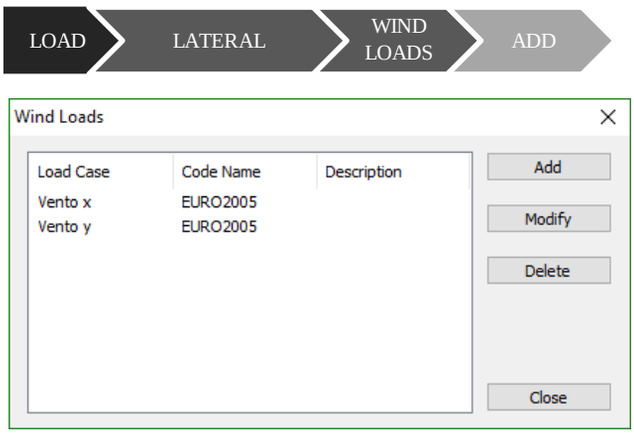
Loads to masses

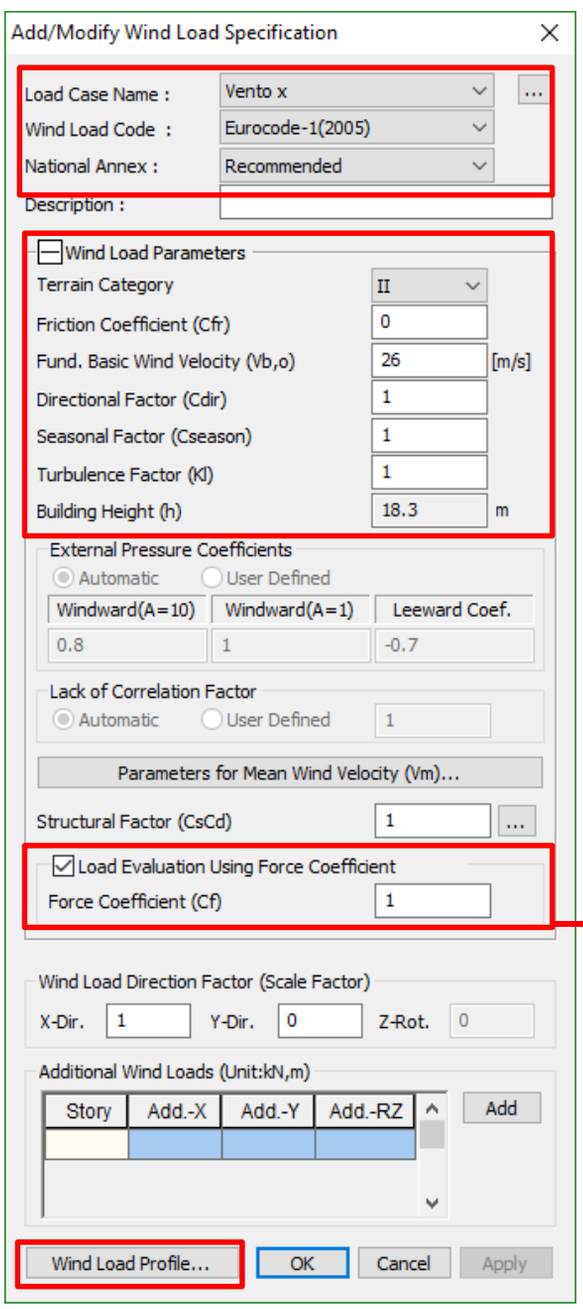




Conversione dei carichi in masse

2-5 Assegnazione dei carichi: Definizione del carico vento





Wind load specification

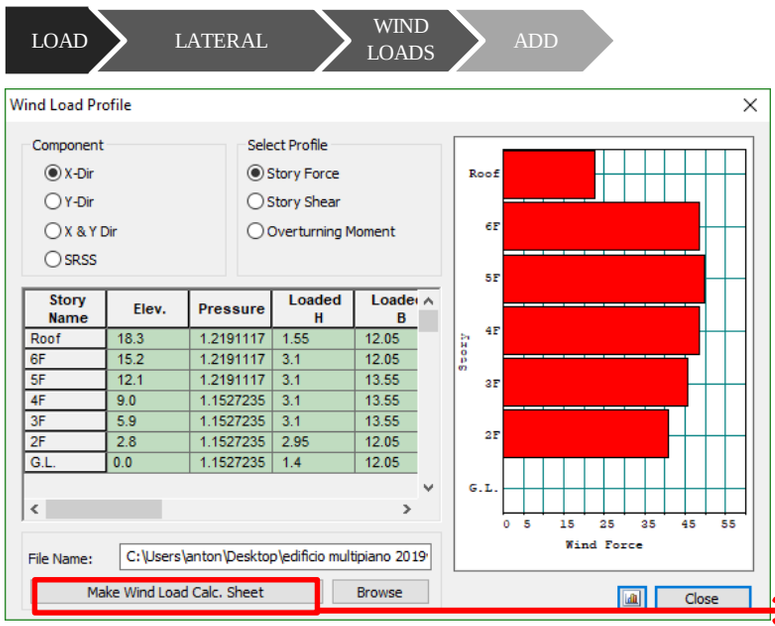
Si fa riferimento all'Eurocodice 1 - 2005 o DM 18 cap. 3.3, dove il vento viene rappresentato da una pressione che moltiplicata per l'area laterale dell'edificio diventa così una forza statica equivalente applicata ai solai di piano e scomposta nelle direzioni x e y.

NOTA:

Per assegnare il carico vento è prima necessario andare a definire i piani della struttura (Story data).

In Midas Gen si ottengono risultati uguali all'NTC 18 se si spunta la voce "**Load Evaluation Using Force Coefficient**" e si inserisce il valore **Cf = 1**.

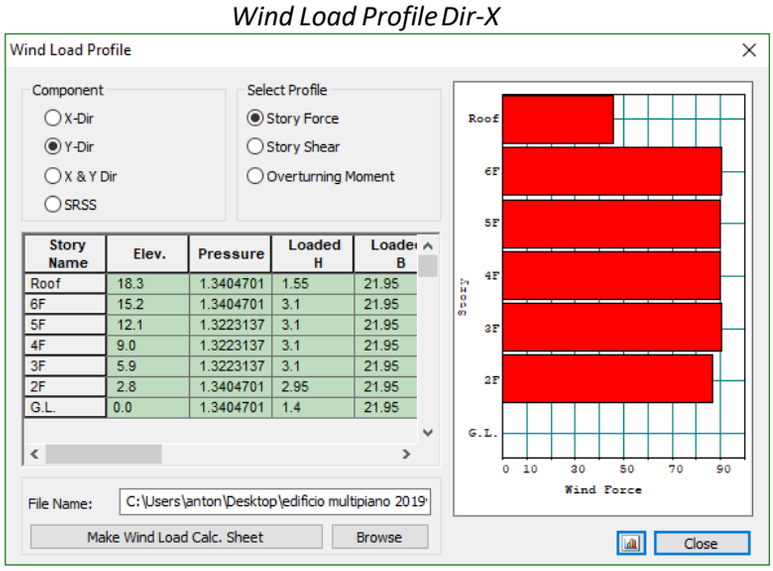
2-5 Assegnazione dei carichi: Definizione del carico vento



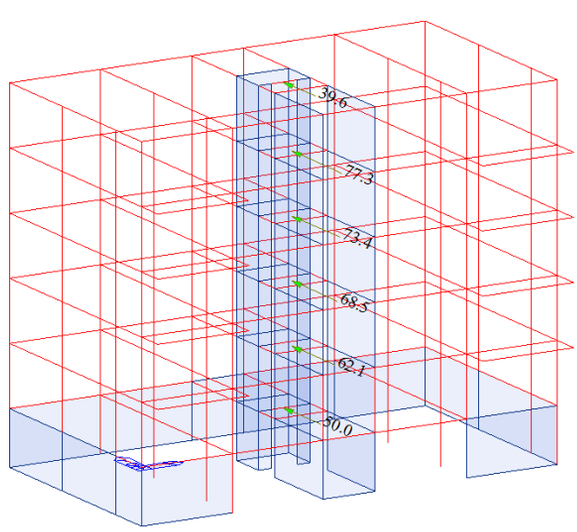
Wind Load Profile Dir-X

Nella schermata "**wind load profile**" è possibile osservare l'azione del vento nelle componenti in x e y applicata ai solai di piano.

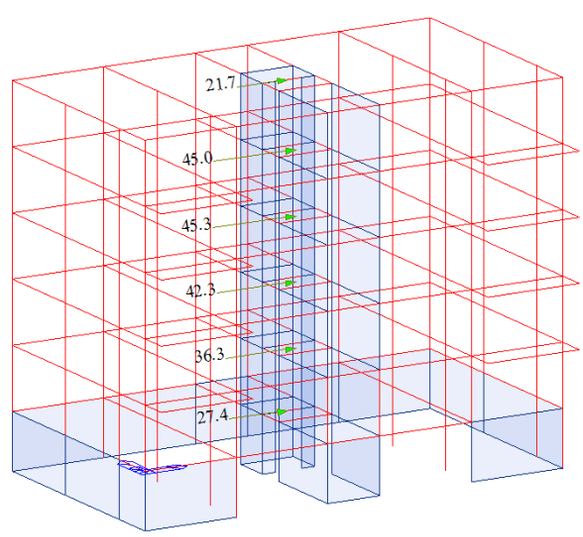
In "**Make Wind Load Calc. Sheet**" in Midas/text editor sono riassunti i parametri per il calcolo dell'azione del vento.



Wind load profile Dir-Y

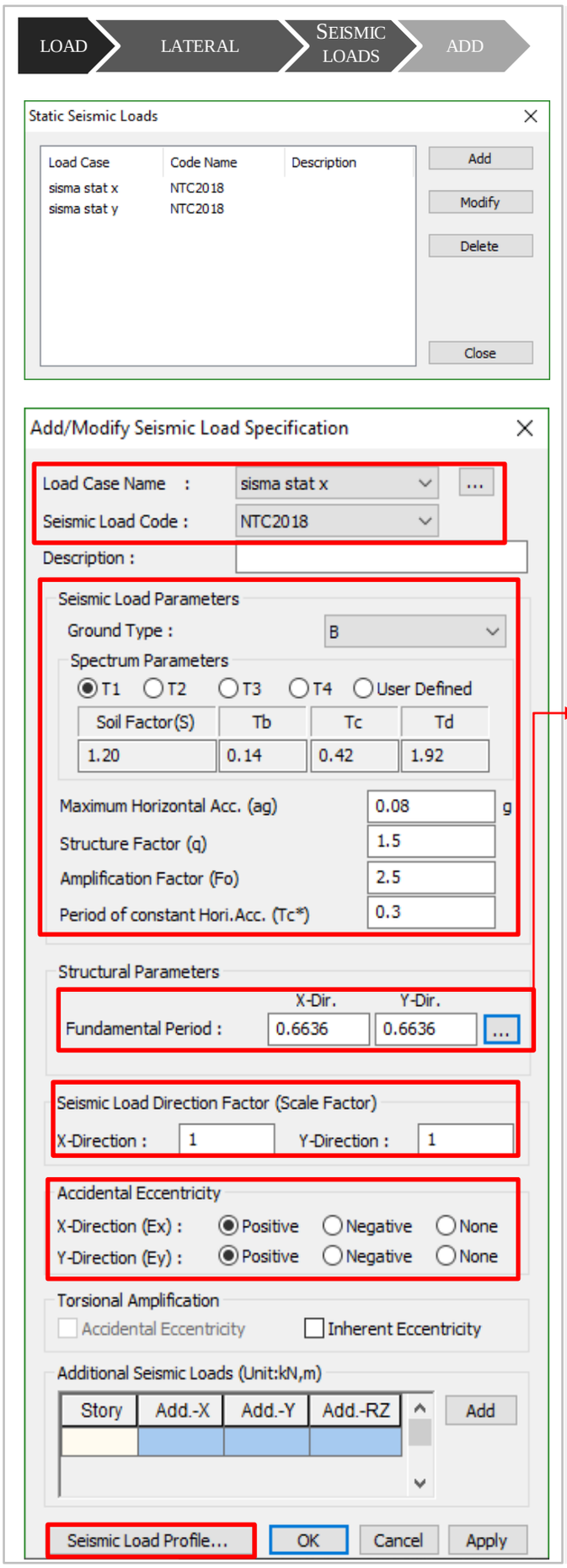


Wind load in direzione Y

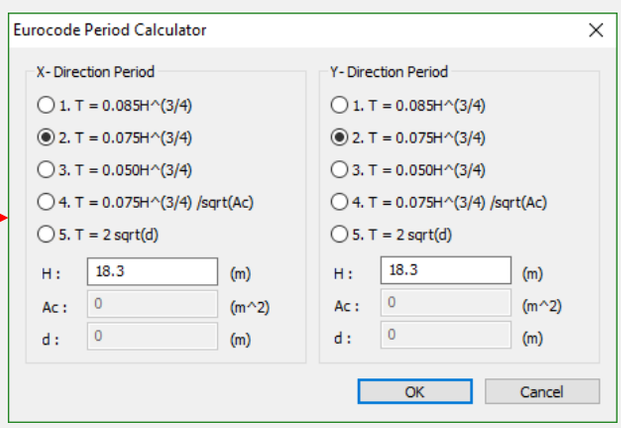


Wind load in direzione X

2-6 Assegnazione dei carichi: Definizione del sisma statico



L'azione sismica è definita secondo EC 8 2004 o NTC 18 cap. 7.3.3.2 e viene rappresentata come un'azione statica equivalente applicata nel baricentro di massa di ogni piano e applicata nelle direzioni x e y.

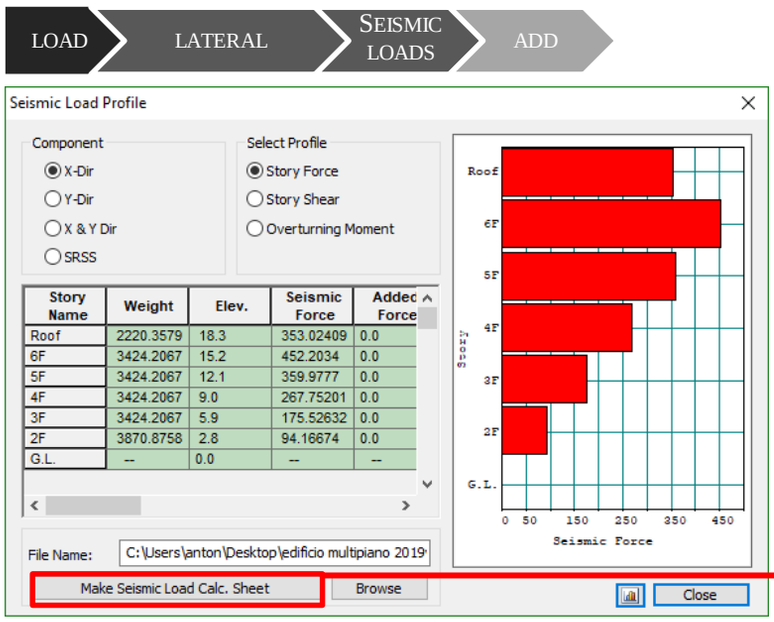


Calcolo per il periodo fondamentale di vibrazione

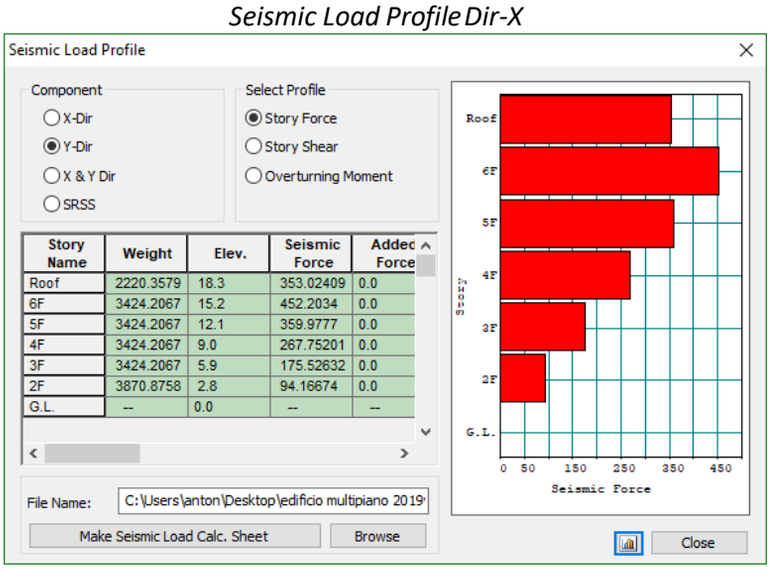
NOTA:

E' possibile considerare l'eccentricità accidentale (5%) anche per il sisma statico equivalente. In questo caso di studio non è stata considerata l'eccentricità accidentale (none) in quanto quasti casi di carico verranno utilizzati solamente per determinare il centro di rigidezza. Per le verifiche sismiche si procederà in seguito con un analisi modale spettrale.

2-6 Assegnazione dei carichi: Definizione del sisma statico



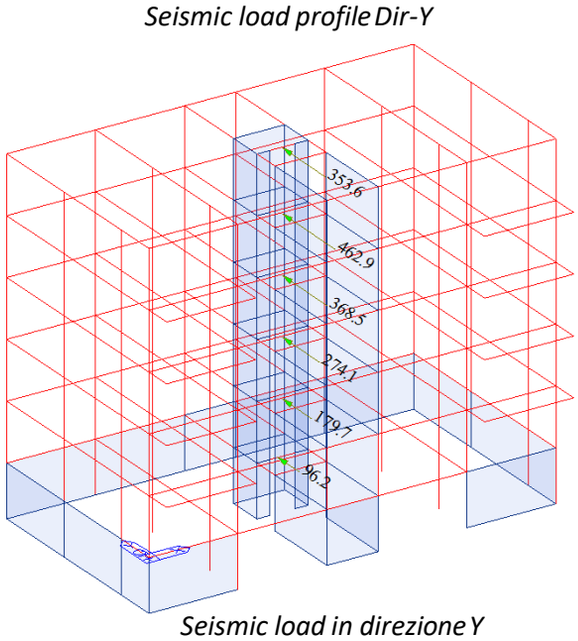
Seismic Load Profile Dir-X



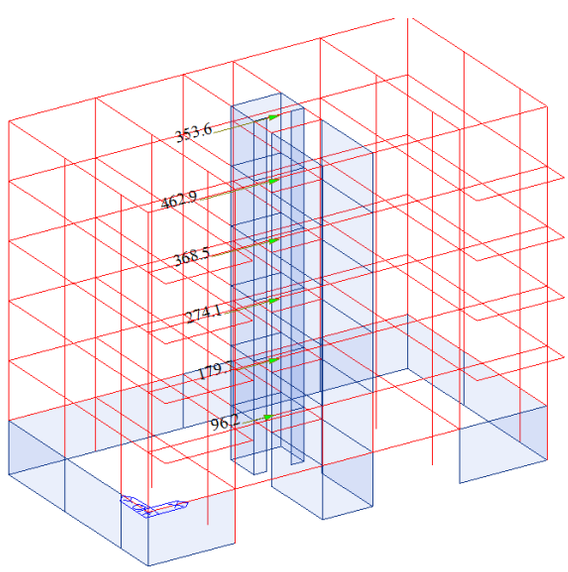
Seismic load profile Dir-Y

Nella schermata "**Seismic Load Profile**" è possibile osservare l'azione del sisma statico equivalente nelle componenti in x e y ed un momento torcente applicato ai solai di piano .

In "**Make Seismic Load Calc. Sheet**" in Midas/text editor sono riassunti i parametri per il calcolo dell'azione sismica equivalente.

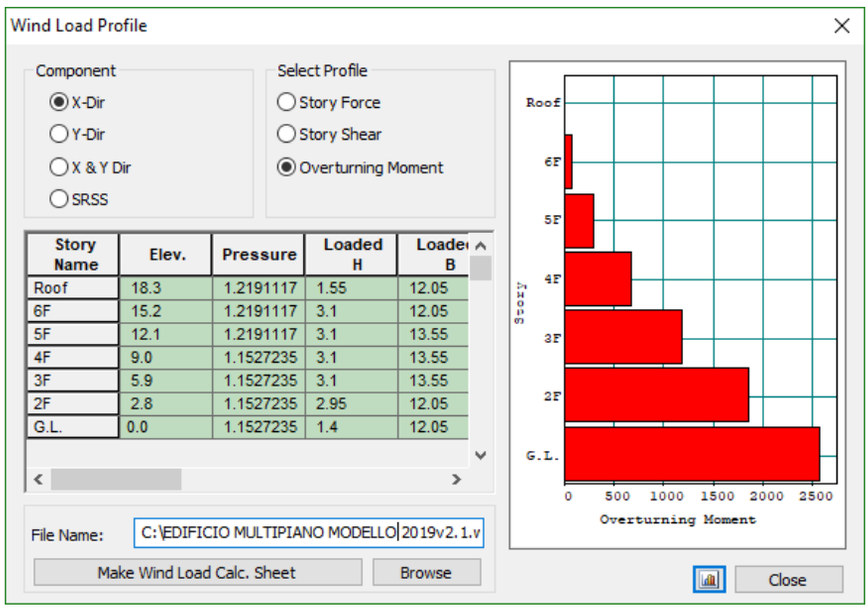


Seismic load in direzione Y

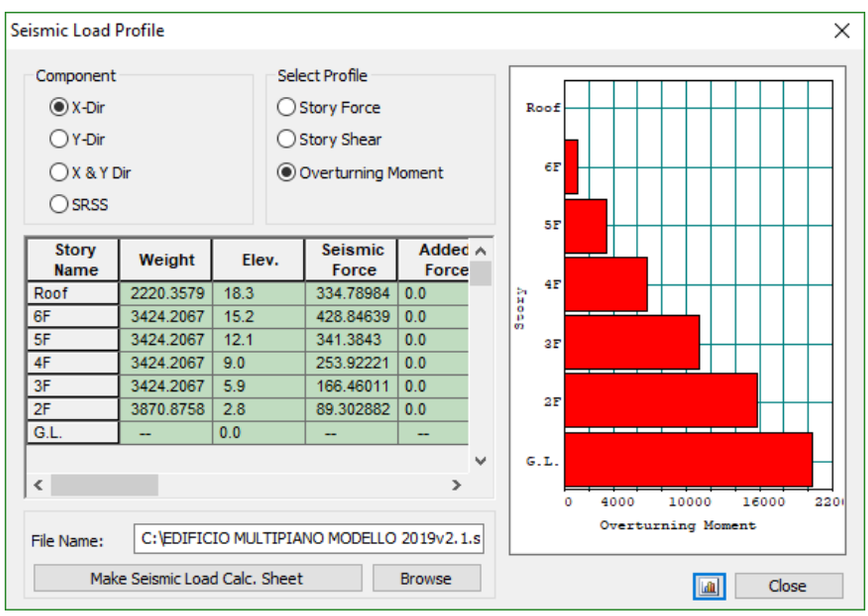


Seismic load in direzione X

2-7 Assegnazione dei carichi: Overturning moment



Wind Load Profile Dir-X



Seismic Load Profile Dir-X

Il contributo statico del vento e del sisma origina un momento ribaltante. Tramite un confronto diretto tra i due, in prima approssimazione, è possibile capire se l'edificio risente di più dell'effetto del vento o del sisma.

3-1 Analisi agli autovalori: Introduzione Analisi dinamica modale

Viene fatta su modelli tridimensionali della struttura indipendentemente dalla regolarità in altezza e dai periodi principali della struttura. A differenza dell'analisi statica equivalente, nel calcolo dei parametri di risposta del sisma si tiene conto delle caratteristiche dinamiche della struttura tramite l'utilizzo dei modi propri di vibrare.
L'analisi modale, prevede di calcolare tramite l'utilizzo dello spettro di risposta di pseudo-accelerazione i valori massimi di sollecitazione e spostamenti associati a ciascun modo di vibrare della struttura supposta elastica lineare, e quindi di combinarli in modo opportuno.

Equazione del moto

$$-c\dot{u} - ku = m\ddot{x}$$

Da questa equazione è possibile ricavare, note le condizioni iniziali del sistema, lo spostamento nel tempo della struttura. Più comunemente l'equazione del moto si trova scritta nella forma:

$$\ddot{u} + 2\xi\omega\dot{u} + \omega^2 u = -\ddot{x}_g$$

ω è la frequenza propria da cui si ricava il periodo naturale *T = 2π/ω*, se la frequenza è di tipo smorzata si può ottenere una soluzione dell'equazione del moto tramite l'integrale di Duhamel:

$$u(t) = \frac{1}{\omega}\int \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin\omega(t-\tau)\, d\tau \qquad *$$

Noto lo spostamento relativo del sistema è immediato ricavare la velocità relativa derivando l'equazione precedente e si ottiene:

$$\dot{u}(t) = \int \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \cos\omega(t-\tau) + \tan^{-1}\frac{\xi}{\sqrt{(1-\xi^2)}}\, d\tau \qquad **$$

Ed infine l'accelerazione assoluta si ricava sostituendo le espressioni (*) e (**) nell' equazione:

$$\ddot{x} = -\omega^2 u - 2\omega\xi\dot{u}$$

Noto quindi il moto della struttura è possibile calcolare le azioni interne necessarie per progettare o verificare una struttura.

Essendo noti in ogni istante di tempo sia gli spostamenti della struttura che le rotazioni nei nodi degli elementi strutturali e la rigidezza del singolo elemento, è possibile ricavare le caratteristiche delle sollecitazioni e gli sforzi.

3-1 Analisi agli autovalori: Introduzione Analisi dinamica modale

Comporta l'estrazione delle frequenze di vibrazione proprie della struttura e delle relative configurazioni modali (autovalori ed autovettori) come la risposta combinata di una serie di sistemi ad 1 g.d.l., anziché un solo sistema a molti g.d.l.

Gli autovalori rappresentano le frequenze proprie dei modi di vibrare.

Gli autovettori rappresentano le relative configurazioni modali.

Se una struttura ha n gradi di libertà essa ha n autovalori (n frequenze di risonanza) ed n autovettori corrispondenti .

In molti casi è sufficiente la conoscenza di pochi dei primi autovalori (p<<n)

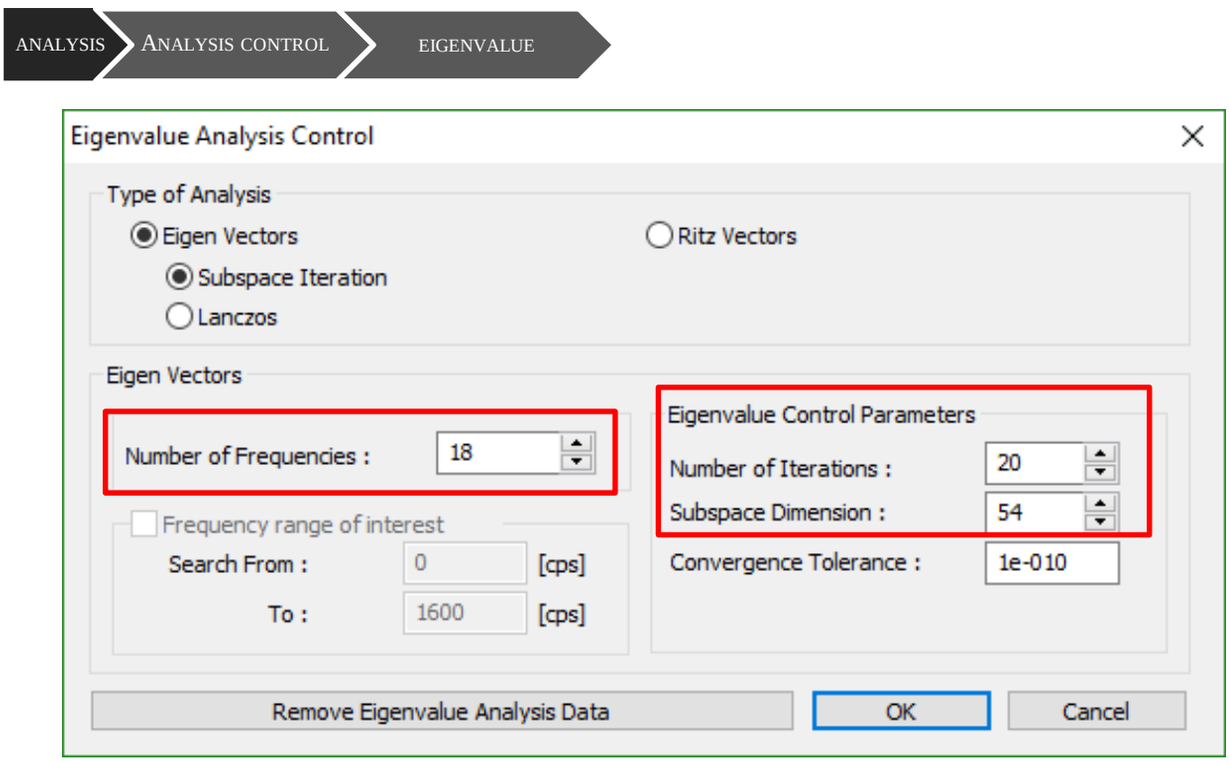
Estrazione degli autovalori in Midas Gen

Il software Midas Gen risolve il problema agli autovalori tramite i seguenti metodi:

1. *SUBSPACE ITERATION*
2. *LANCZOS (Frequency range)*
3. *RITZ VECTORS*
4. *STURM CHECK*

Ciascuno dei quali risulta essere più adatto in base al numero di modi di vibrare della struttura oggetto di studio.

3-2 Analisi agli autovalori: Subspace Iteration



Eigenvalue Analysis Control

Trasforma il problema agli autovalori di studio in un problema che abbia una dimensione minore, tale però da condividere con il problema originario gli autovalori, e cerca gli autovalori in un sottospazio del problema originario. E' consigliato per eseguire analisi agli autovalori di strutture con pochi g.d.l.

L'estrazione dei modi avviene in ordine di frequenza crescente, cioè vengono estratti prima i modi con periodo di vibrazione alto (frequenza bassa).

Quindi se una struttura contiene al suo interno vari sottoinsiemi indipendenti (rigidezze locali) verranno estratti per primi i modi di vibrare di tutti i sottoinsiemi, che hanno periodi più lunghi, poi quelli principali (rigidezza globale).

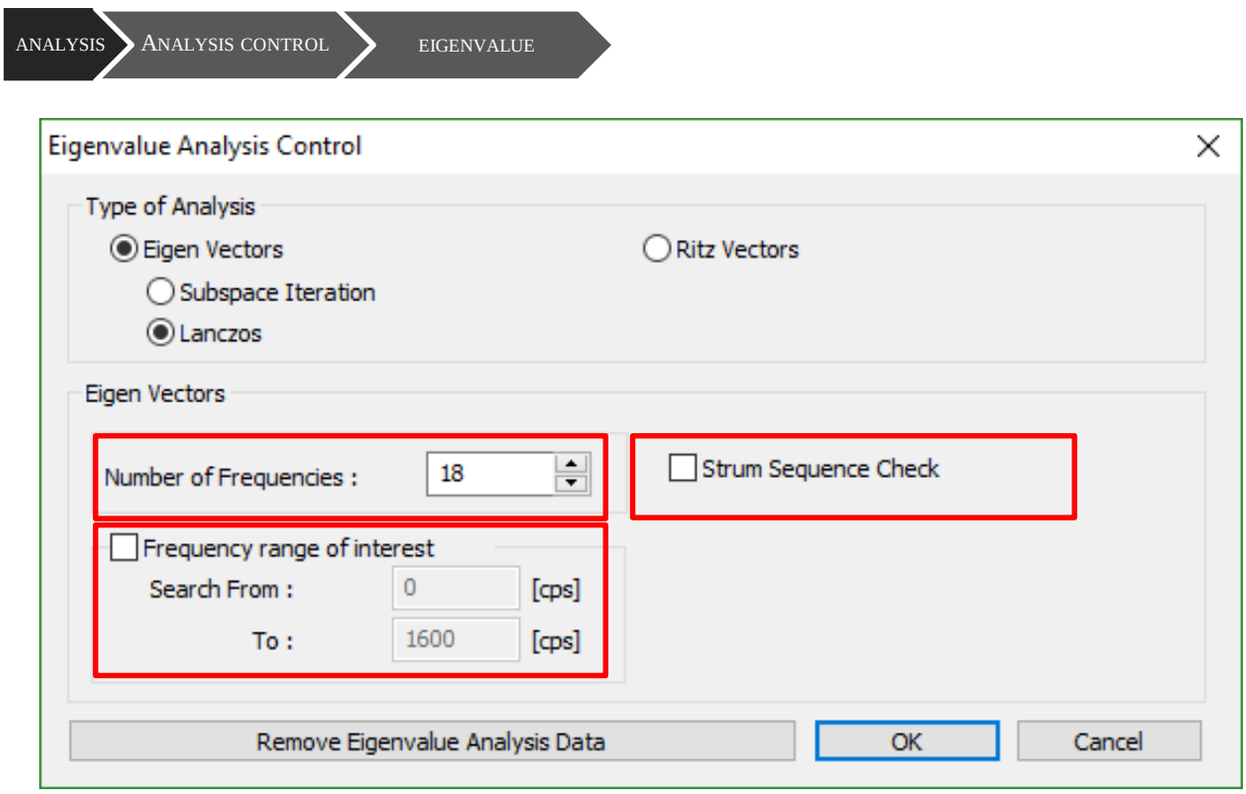
Number of Frequencies: Immettere un numero di modi maggiore o uguale ai g.d.l. della struttura, nel nostro caso struttura a 6 piani x 3g.l. per piano = 18.

Subspace Dimension

n° modi < 30 ⟶ N= 3 x n° modi

30 < n° modi < 100 ⟶ N= 2 x n° modi

3-3 Analisi agli autovalori : Lanczos (Frequency range)



Eigenvalue Analysis Control - Range di frequenza di ricerca degli autovalori

Trasforma il problema agli autovalori di studio in un problema equivalente nel quale la matrice dei coefficienti è di tipo tridiagonale. L'ordine del problema è quindi inferiore a quello del problema originario (strutture con molti plate). Analogamente al subspace iteration, è consigliato per eseguire analisi agli autovalori di strutture con pochi g.d.l.

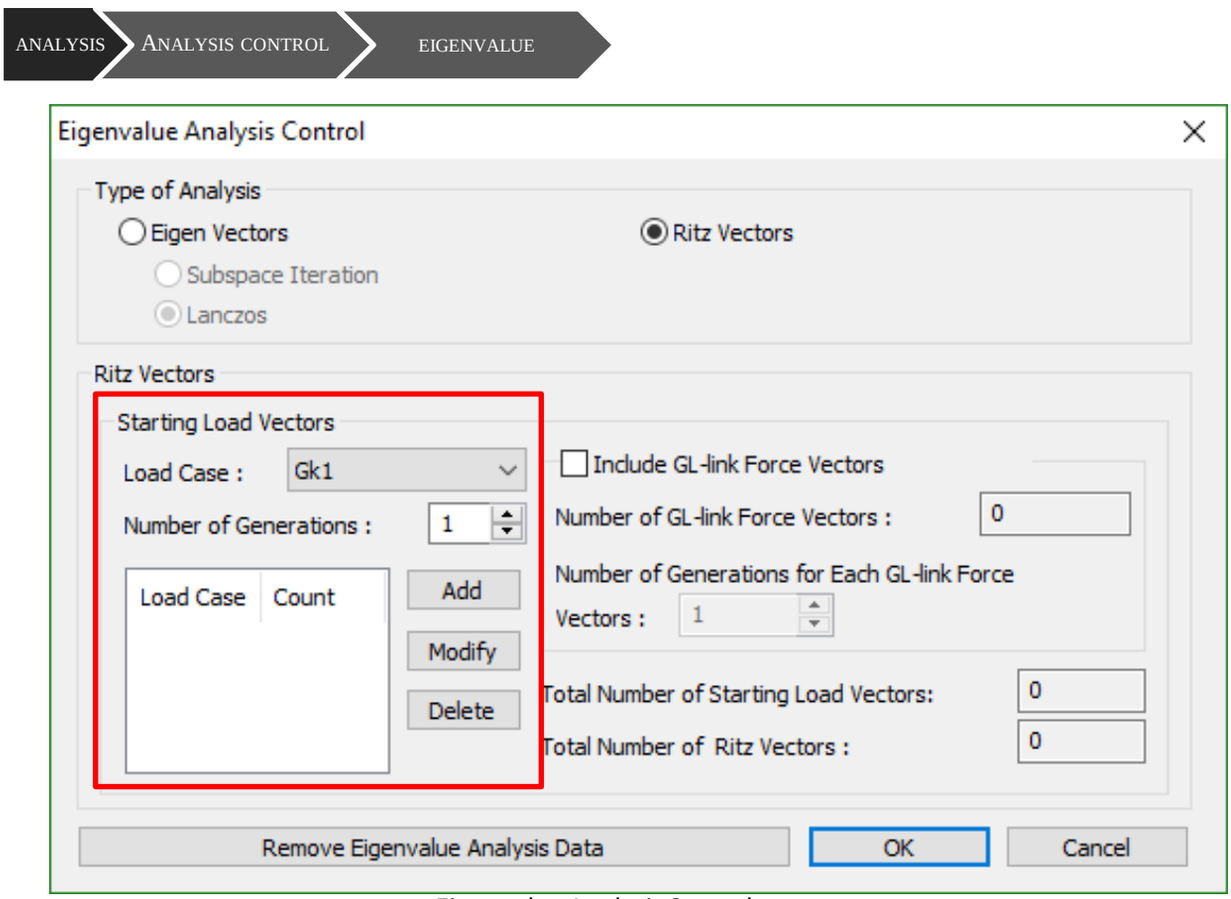
Number of Frequencies: Immettere un numero di modi maggiore o uguale ai g.l. della struttura, nel nostro caso struttura a 6 piani x 3g.l. per piano = 18.

Sturm Sequence Check: Precisione nella ricerca di autovalori nel caso di strutture meshate a nodi molto vicini tra di loro che necessitano la ricerca di modi di vibrare localizzati.

(Si veda: cap. 7.4 Analisi modale ragionata Paolo Rugarli)

Frequency range of interest: E' possibile definire un intervallo di valori tra i quali ricavare i periodi dei modi di vibrare.

3-4 Analisi agli autovalori: Vettori di Ritz



Eigenvalue Analysis Control

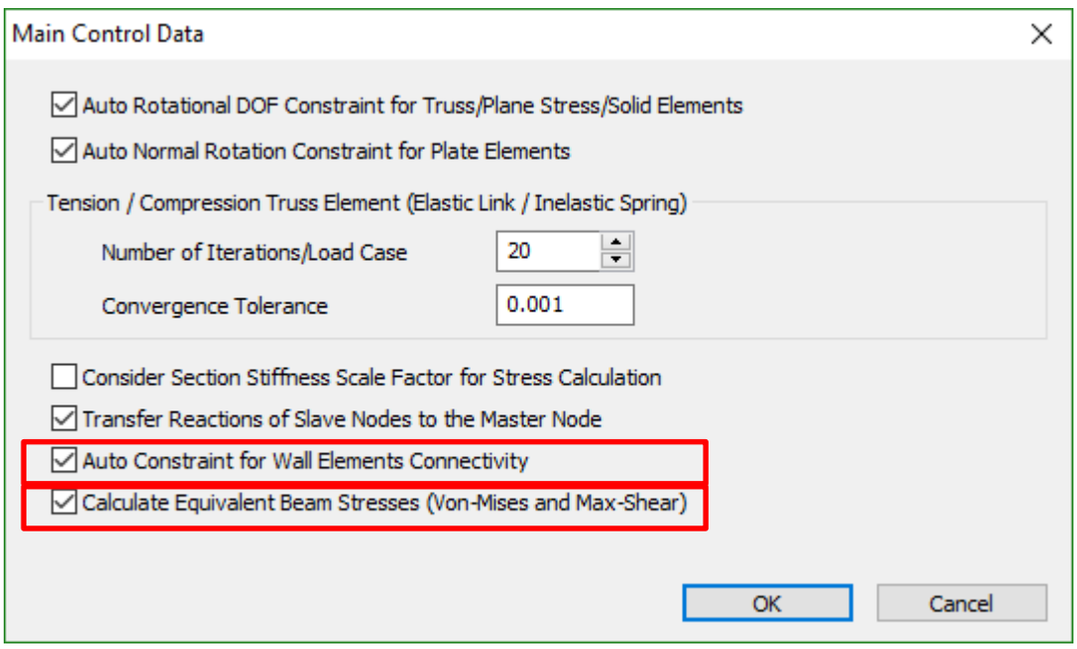
Riproducono risultati più affidabili con un numero di modi più basso rispetto ai precedenti metodi. Bisogna specificare il numero di vettori di carico iniziali da generare per ogni condizione di carico considerata.

Le condizioni di carico possono essere carichi statici o accelerazioni al suolo.

3-5 Analisi agli autovalori: Main Control Data

ANALYSIS → MAIN CONTROL DATA

Tramite questo comando si vanno a definire le opzioni di analisi



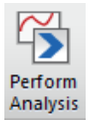
Auto Constraint for Wall Connectivity: Permette di ottenere la congruenza, attraverso una legge cinematica, tra elementi wall non discretizzati definiti tramite 4 nodi ed elementi adiacenti suddivisi.

Calculate Equivalent Beam Stresses: Inserendo questa spunta, il software calcola ulteriori risultati sugli elementi monodimensionali che riguardano le tensioni. In particolare si aggiungono risultati sulle tau, le sigma normali e le combinazioni di queste secondo la procedura di:
-Von Mises
-Tresca
-Sigma principali

Si consiglia di inserire questa opzioni solo nel caso in cui sia effettivamente necessario, in quanto aumenta i tempi di analisi del programma.
Suddetta funzione non riesce a tenere conto delle combinazioni di carico stabilite e fornisce risultati solo in funzione dei casi di carico. Nel caso in cui si volessero visualizzare i risultati di una specifica LCB sarà necessario trasformarla prima in un caso di carico tramite il comando ***Load / Create load case using load combinations.***

3-6 Analisi agli autovalori: Perform Analysis

ANALYSIS → PERFORM → PERFORM ANALYSIS



Lettura dell'output: controllo della finestra di dialogo per individuare la presenza di eventuali warning.

Message Window

```
----------------------------------------S T A R T I N G      S O L U T I O N

MULTI-FRONTAL SOLVER
AVAILABLE MEMORY =    2.8 GBYTES
ENTRY PHASE FOR RENUMBERING
ENTRY NUMBERING_EQN
ENTRY FORM_STIFF_MASS_LOAD
THE INDIVIDUAL ELEMENT STIFFNESS AND LOAD MATRICES WILL NOW BE FORMED
  ELEMENT NO. :    368  OF     368
ENTRY SOLUTION PHASE
ENTRY LOAD_BLOCK
TOTAL NUMBER OF VALID DOFS IN MODEL :     570

ENTRY STATIC ANALYSIS
  MULTI-FRONTAL SOLUTION HAS BEEN COMPLETED.
  DISPLACEMENT/FORCE/STRESS OUTPUT.
  ELEM. :    368 OF     368

ENTRY EIGENVALUE ANALYSIS
* SUBSPACE ITERATION NUMBER =   3
  MODE SHAPE OUTPUT.
  DISPLACEMENT/FORCE/STRESS OUTPUT FOR EACH MODE.

----------------------------------------S O L U T I O N   T E R M I N A T E D
YOUR MIDAS JOB IS SUCCESSFULLY COMPLETED.......E:\EDIFICIO MULTIPIANO\MODELLO\edificio multipiano
TOTAL SOLUTION TIME..:    45.71 [SEC]
-----------------------------------------------------------------------------
```

Matrice rigidezza e masse

Tipo di analisi
Soluzione trovata alla 3° iterazione
Risultati trovati per ogni modo

Command Message | Analysis Message

Analysis message

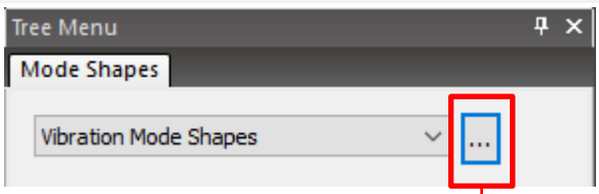
Analisi utlizzata: **Subspace iteration**

N° piani = 6 → 3 GL x 6 = 18 frequenze

54 = Subspace dimension

3-7 Analisi agli autovalori: Modi di vibrare

Per visualizzare le tabelle dei modi di vibrare dove si possono controllare i periodi e le masse partecipanti:



Node	Mode	UX	UY	UZ	RX
EIGENVALUE ANALYSIS					
	Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance
	1	8.7921	1.3993	0.7146	5.5151e-016
	2	12.6786	2.0179	0.4956	1.5913e-015
	3	18.6813	2.9732	0.3363	4.8864e-016
	4	29.9348	4.7643	0.2099	1.1418e-015
	5	55.0477	8.7611	0.1141	0.0000e+000
	6	57.9172	9.2178	0.1085	1.3557e-016
	7	82.0810	13.0636	0.0765	6.7497e-016
	8	88.2166	14.0401	0.0712	1.1687e-016
	9	101.6696	16.1812	0.0618	7.0390e-016
	10	120.8340	19.2313	0.0520	3.7374e-016
	11	182.3671	29.0246	0.0345	6.5632e-016
	12	200.9604	31.9838	0.0313	1.8016e-016
	13	236.2085	37.5938	0.0266	7.8244e-016
	14	312.7085	49.7691	0.0201	0.0000e+000
	15	367.3112	58.4594	0.0171	6.4715e-016
	16	398.9592	63.4963	0.0157	3.6570e-016
	17	448.7331	71.4181	0.0140	2.8907e-016
	18	489.2603	77.8682	0.0128	1.2158e-015

Più è alto il periodo di vibrazione più è bassa la rigidezza della struttura in quel determinato modo di vibrare.

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT													
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z		
	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	
1	22.4399	22.4399	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	42.7446	42.7446	
2	38.5923	61.0323	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	22.6921	65.4366	
3	0.0000	61.0323	61.5121	61.5121	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	65.4366	
4	2.9138	63.9460	0.0000	61.5121	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.9727	72.4093	
5	2.8505	66.7965	0.0000	61.5121	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.1466	77.5559	
6	10.8575	77.6540	0.0000	61.5121	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0208	77.5767	
7	0.0893	77.7433	0.0000	61.5121	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.1519	78.7287	
8	0.0000	77.7433	18.4362	79.9484	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	78.7287	
9	0.0515	77.7948	0.0000	79.9484	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2524	78.9810	
10	3.8484	81.6432	0.0000	79.9484	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3057	79.2868	
11	1.8008	83.4440	0.0000	79.9484	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0584	79.3452	
12	0.0000	83.4440	7.0792	87.0276	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	79.3452	
13	0.7243	84.1683	0.0000	87.0276	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	79.3482	
14	0.0000	84.1683	4.2465	91.2741	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	79.3482	
15	13.8796	98.0479	0.0000	91.2741	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.1420	81.4902	
16	0.0000	98.0479	3.1502	94.4243	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	81.4902	
17	0.0000	98.0479	5.5757	100.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	81.4902	
18	1.9521	100.000	0.0000	100.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	18.5098	100.000	

La % di massa attivata dalla prima frequenza evidenzia un modo di tipo rotazionale.
NOTA: *Si considerano i modi la cui somma della massa partecipante è > 85% DM 18 cap. 7.3.4.2*

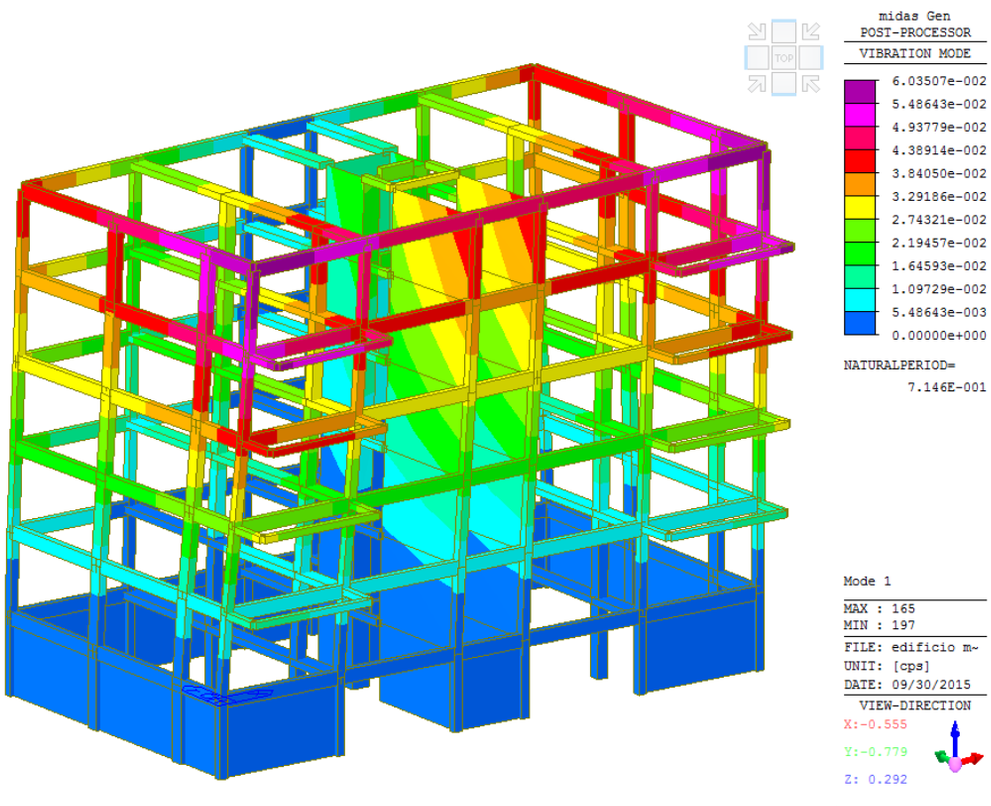
3-7 Analisi agli autovalori: Modi di vibrare

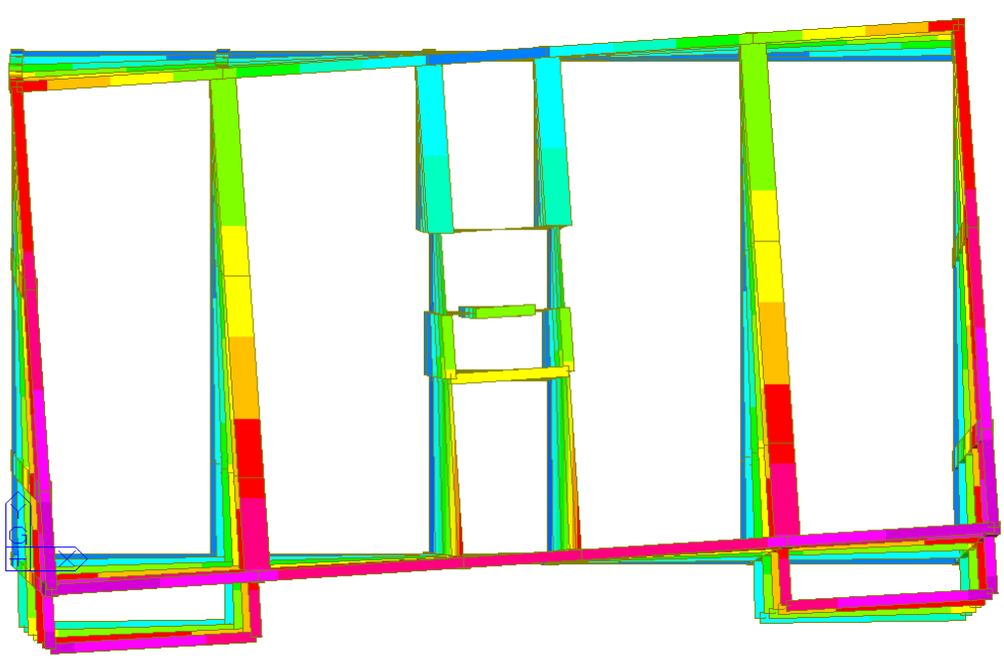
RESULTS > MODE SHAPE > VIBRATION MODE SHAPES

MODO 1: Modo rotazionale in z. **T= 0.7146 sec**

Massa Attivata = 42.7446 % (rotazionale in z)

Massa Attivata = 22.4399 % (traslazionale in x)





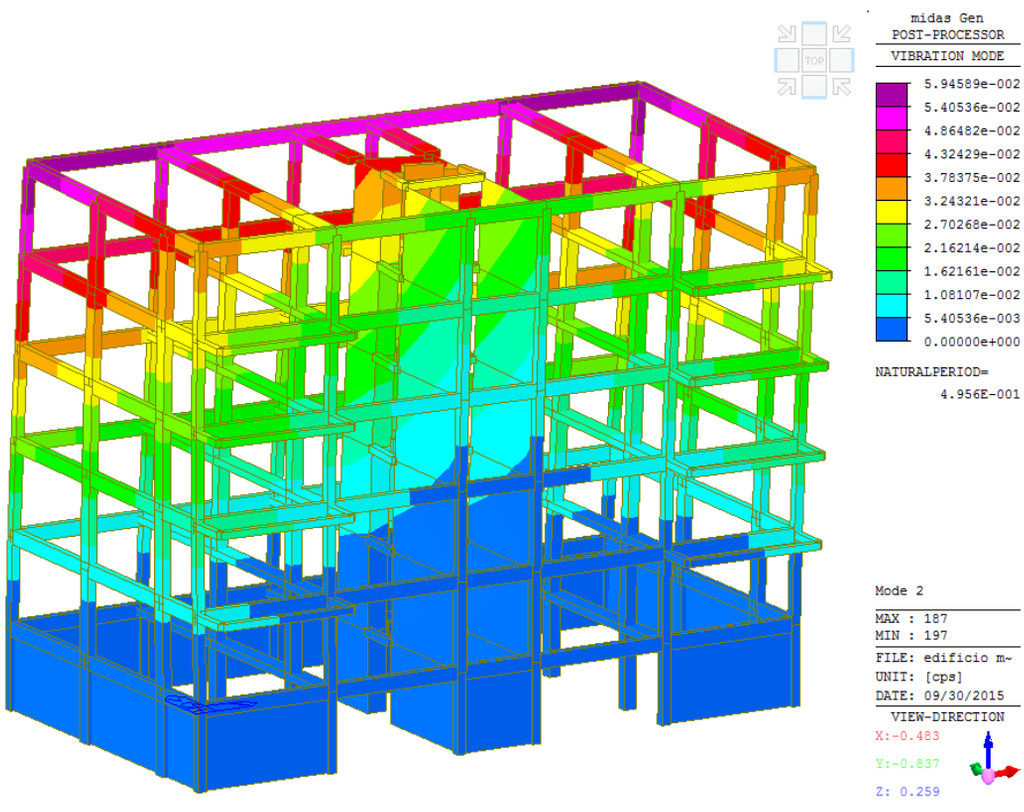
3-7 Analisi agli autovalori: Modi di vibrare

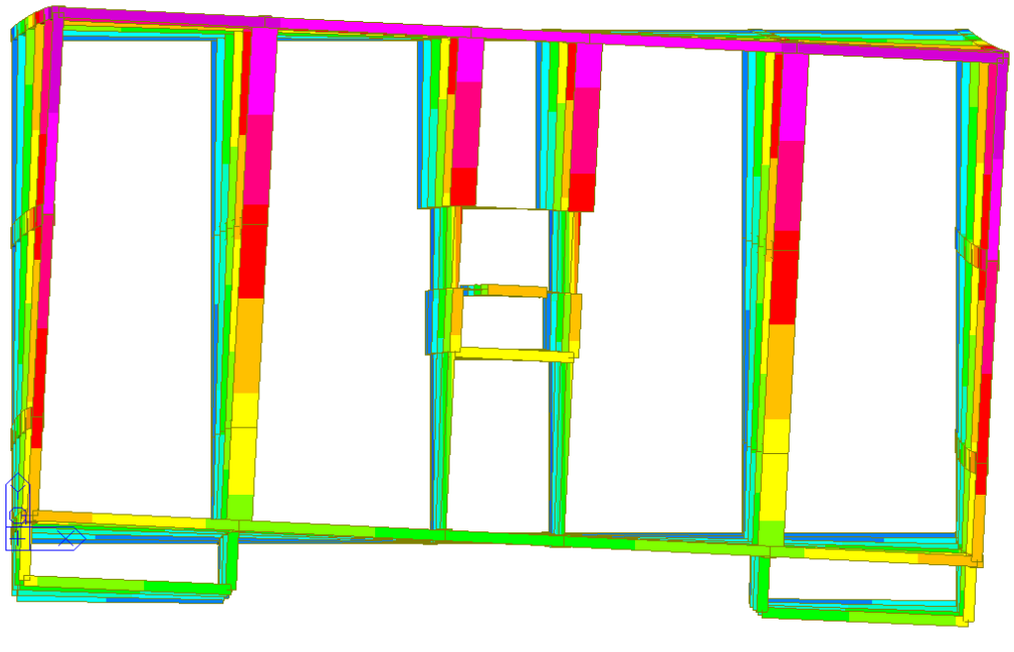
RESULTS > MODE SHAPE > VIBRATION MODE SHAPES

MODO 2: Modo traslazionale in x. **T= 0.4956 sec**

Massa Attivata = 38.5923 % (traslazionale in x)

Massa Attivata = 22.6921 % (rotazionale in z)



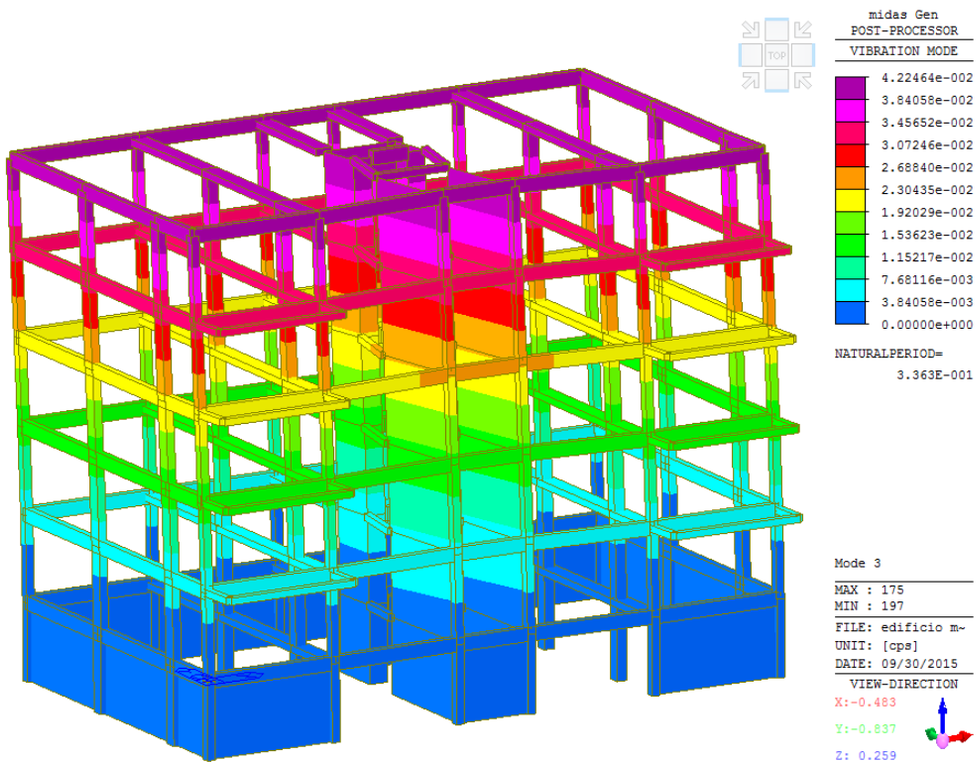


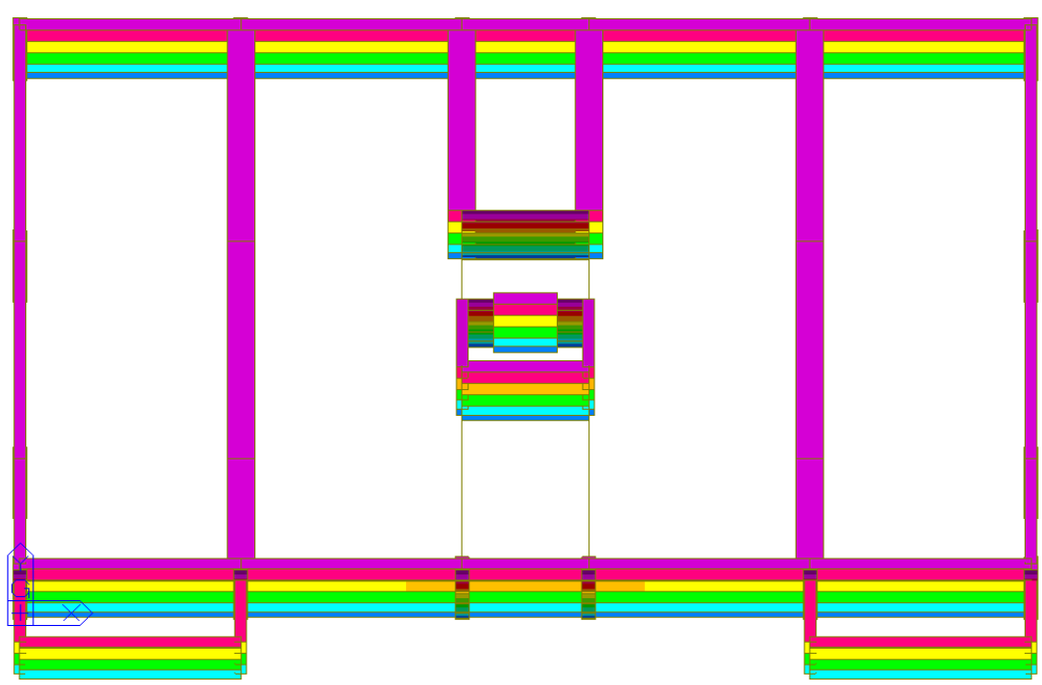
3-7 Analisi agli autovalori: Modi di vibrare

RESULTS > MODE SHAPE > VIBRATION MODE SHAPES

MODO 3: Modo traslazionale in y. **T= 0.3363 sec**

Massa Attivata = 61.5121 % (traslazionale in y)





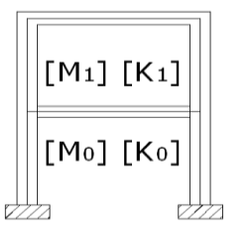
4-1 Valutazione dell'azione sismica: Regolarità in Altezza

RESULTS → RESULT TABLES → STORY → WEIGHT IRREGULARITY CHECK

RESULTS → RESULT TABLES → STORY → STIFFNES IRREGULARITY CECK

Si controlla la variazione di massa e rigidezza della struttura in esame secondo quanto definito da normativa DM. 18 cap.7.2.1.

f) massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base;



1K0 > K1 > 0.7K0
25M0 > M1 > 0.75M0

Load Case	Story	Level (m)	Story Height (m)	Story Weight (kN)	Adjacent Story Weight 1.25M(Lower) (kN)	Adjacent Story Weight 0.75M(Lower) (kN)	Story Weight Ratio	Remark
sisma stat x	Roof	15.50	0.00	2220.358	4374.399	2624.639	-0.366	Irregular
sisma stat x	6F	12.40	3.10	3499.519	4374.399	2624.639	0.000	Regular
sisma stat x	5F	9.30	3.10	3499.519	4374.399	2624.639	0.000	Regular
sisma stat x	4F	6.20	3.10	3499.519	4374.399	2624.639	0.000	Regular
sisma stat x	3F	3.10	3.10	3499.519	4932.735	2959.641	-0.113	Regular
sisma stat x	2F	0.00	3.10	3946.188	0.000	0.000	0.000	Regular
sisma stat x	1F	-2.80	2.80	0.000	0.000	0.000	0.000	Regular
sisma stat y	Roof	15.50	0.00	2220.358	4374.399	2624.639	-0.366	Irregular
sisma stat y	6F	12.40	3.10	3499.519	4374.399	2624.639	0.000	Regular
sisma stat y	5F	9.30	3.10	3499.519	4374.399	2624.639	0.000	Regular
sisma stat y	4F	6.20	3.10	3499.519	4374.399	2624.639	0.000	Regular
sisma stat y	3F	3.10	3.10	3499.519	4932.735	2959.641	-0.113	Regular
sisma stat y	2F	0.00	3.10	3946.188	0.000	0.000	0.000	Regular
sisma stat y	1F	-2.80	2.80	0.000	0.000	0.000	0.000	Regular

Weight irregularity check

Load Case	Story	Level (m)	Story Height (m)	Story Drift (m)	Story Shear Force (kN)	Story Stiffness	Lower Story Stiffness 1.1K (Lower)	Lower Story Stiffness 0.7K (Lower)	Story Stiffness Ratio	Remark
sisma stat x	6F	12.40	3.10	0.0026	353.63	1187.35	1036.04	659.30	0.261	Irregular
sisma stat x	5F	9.30	3.10	0.0033	816.56	941.85	1021.27	649.90	0.014	Regular
sisma stat x	4F	6.20	3.10	0.0033	1185.09	928.43	1121.14	713.45	-0.089	Regular
sisma stat x	3F	3.10	3.10	0.0030	1459.20	1019.22	1686.79	1073.41	-0.335	Irregular
sisma stat x	2F	0.00	3.10	0.0020	1638.89	1533.44	38367.83	24415.89	-0.956	Irregular
sisma stat x	1F	-2.80	2.80	0.0001	1735.05	34879.85	0.00	0.00	0.000	Regular

Load Case	Story	Level (m)	Story Height (m)	Story Drift (m)	Story Shear Force (kN)	Story Stiffness	Lower Story Stiffness 1.1K (Lower)	Lower Story Stiffness 0.7K (Lower)	Story Stiffness Ratio	Remark
sisma stat y	6F	12.40	3.10	0.0011	353.63	2775.02	2935.23	1867.88	0.040	Regular
sisma stat y	5F	9.30	3.10	0.0012	816.56	2668.39	3056.91	1945.31	-0.040	Regular
sisma stat y	4F	6.20	3.10	0.0011	1185.09	2779.01	3598.39	2289.89	-0.150	Regular
sisma stat y	3F	3.10	3.10	0.0009	1459.20	3271.27	5569.11	3543.98	-0.354	Irregular
sisma stat y	2F	0.00	3.10	0.0006	1638.89	5062.82	37875.04	24102.30	-0.853	Irregular
sisma stat y	1F	-2.80	2.80	0.0001	1735.05	34431.85	0.00	0.00	0.000	Regular

Stiffness irregularity check

Dalle tabelle sopra riportate è possibile osservare che la struttura **non risulta regolare in altezza.**

4-2 Valutazione dell'azione sismica: Tipologia strutturale

TABLES > RESULT TABLES

Si controlla la tipologia strutturale della strutture in esame secondo quanto definito da normativa *DM. 18 cap.7.4.3.1*

7.4.3.1 TIPOLOGIE STRUTTURALI

Le strutture sismo-resistenti in calcestruzzo armato previste dalle presenti norme possono essere classificate nelle seguenti tipologie:

- **strutture a telaio**, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a telai spaziali, aventi resistenza a taglio alla base ≥ 65% della resistenza a taglio totale;
- **strutture a pareti**, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a pareti (v. § 7.4.4.5), aventi resistenza a taglio alla base ≥ 65% della resistenza a taglio totale; le pareti, a seconda della forma in pianta, si definiscono semplici o composte (v. § 7.4.4.5), a seconda della assenza o presenza di opportune "travi di accoppiamento" duttili distribuite in modo regolare lungo l'altezza, si definiscono singole o accoppiate;
- **strutture miste telaio-pareti**, nelle quali la resistenza alle azioni verticali è affidata prevalentemente ai telai, la resistenza alle azioni orizzontali è affidata in parte ai telai ed in parte alle pareti, singole o accoppiate; se più del 50% dell'azione orizzontale è assorbita dai telai si parla di **strutture miste equivalenti a telai**, altrimenti si parla di **strutture miste equivalenti a pareti**;
- **strutture a pendolo inverso**, nelle quali almeno il 50% della massa è nel terzo superiore dell'altezza della costruzione e nelle quali la dissipazione d'energia avviene alla base di un singolo elemento strutturale;
- **strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano**, nelle quali almeno il 50% della massa è nel terzo superiore dell'altezza della costruzione, in cui i pilastri sono incastrati in sommità alle travi lungo entrambe le direzioni principali dell'edificio. In ogni caso, per questo tipo di strutture, la forza assiale non può eccedere il 30% della resistenza a compressione della sola sezione di calcestruzzo;
- **strutture deformabili torsionalmente**, composte da telai e/o pareti, la cui rigidezza torsionale non soddisfa ad ogni piano la condizione $r^2/l_s^2 \geq 1$, nella quale:

  r^2 = raggio torsionale al quadrato è, per ciascun piano, il rapporto tra la rigidezza torsionale rispetto al centro di rigidezza laterale e la maggiore tra le rigidezze laterali, tenendo conto dei soli elementi strutturali primari, per strutture a telaio o a pareti (purché snelle e a deformazione prevalentemente flessionale), r^2 può essere valutato, per ogni piano, riferendosi ai momenti d'inerzia flessionali delle sezioni degli elementi verticali primari.

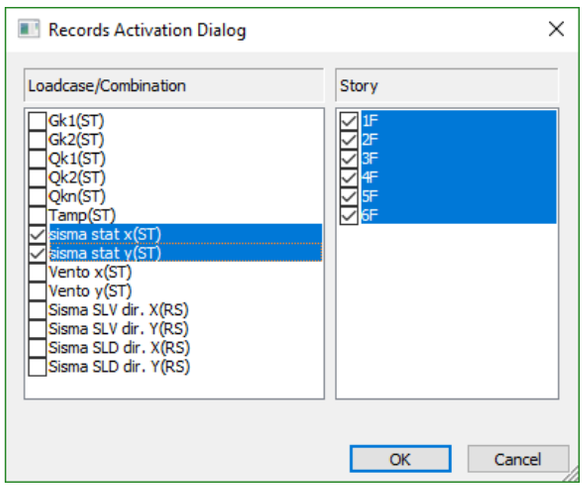
  l_s^2 = per ogni piano, è il rapporto fra il momento d'inerzia polare della massa del piano rispetto ad un asse verticale passante per il centro di massa del piano e la massa stessa del piano; nel caso di piano a pianta rettangolare $l_s^2 = (L^2 + B^2)/12$, essendo L e B le dimensioni in pianta del piano.

Procediamo quindi alla verifica di queste due categorie nelle quali ci aspettiamo che ricada il nostro edificio. Per farlo, si utilizzano le tabelle che il software fornisce tramite il comando ***Result Tables/Story .***

4-3 Valutazione dell'azione sismica: Story Shear Force Ratio

TABLES → RESULT TABLES → STORY SHEAR FORCE RATIO

Controllo tipologia strutturale in base alla ripartizione della forza orizzontale secondo NTC 18 cap 7.4.3.1.



Story	Load	Type	Angle1 ([deg])	Force1 (kN)	Ratio1	Angle2 ([deg])	Force2 (kN)	Ratio2
		LINEAR SUMMATION OF STORY SHEAR FORCE						
6F	sisma stat x	Frame(Bea	0.00	227.759	0.64	90.00	0.0000	0.00
6F	sisma stat x	Wall	0.00	125.867	0.36	90.00	0.0000	0.00
6F	sisma stat x	Sum	0.00	353.626		90.00	0.0000	
5F	sisma stat x	Frame(Bea	0.00	224.280	0.27	90.00	0.0000	0.00
5F	sisma stat x	Wall	0.00	592.284	0.73	90.00	0.0000	0.00
5F	sisma stat x	Sum	0.00	816.564		90.00	0.0000	
4F	sisma stat x	Frame(Bea	0.00	234.102	0.20	90.00	0.0000	0.00
4F	sisma stat x	Wall	0.00	950.985	0.80	90.00	0.0000	0.00
4F	sisma stat x	Sum	0.00	1185.08		90.00	0.0000	
3F	sisma stat x	Frame(Bea	0.00	216.045	0.15	90.00	0.0000	0.00
3F	sisma stat x	Wall	0.00	1243.15	0.85	90.00	0.0000	0.00
3F	sisma stat x	Sum	0.00	1459.19		90.00	0.0000	
2F	sisma stat x	Frame(Bea	0.00	194.888	0.12	90.00	0.0000	0.00
2F	sisma stat x	Wall	0.00	1444.00	0.88	90.00	0.0000	0.00
2F	sisma stat x	Sum	0.00	1638.88		90.00	0.0000	
1F	sisma stat x	Frame(Bea	0.00	-55.9746	-0.03	90.00	0.0000	0.00
1F	sisma stat x	Wall	0.00	1791.02	1.03	90.00	0.0000	0.00
1F	sisma stat x	Sum	0.00	1735.05		90.00	0.0000	
6F	sisma stat y	Frame(Bea	0.00	-0.2014	0.00	90.00	147.6577	0.42
6F	sisma stat y	Wall	0.00	0.2014	0.00	90.00	205.9689	0.58
6F	sisma stat y	Sum	0.00	0.0000		90.00	353.6266	
5F	sisma stat y	Frame(Bea	0.00	-1.0965	0.00	90.00	123.3032	0.15
5F	sisma stat y	Wall	0.00	1.0965	0.00	90.00	693.2614	0.85
5F	sisma stat y	Sum	0.00	0.0000		90.00	816.5646	
4F	sisma stat y	Frame(Bea	0.00	-1.7973	0.00	90.00	126.8334	0.11
4F	sisma stat y	Wall	0.00	1.7973	0.00	90.00	1058.254	0.89
4F	sisma stat y	Sum	0.00	0.0000		90.00	1185.087	
3F	sisma stat y	Frame(Bea	0.00	-2.2014	0.00	90.00	108.9832	0.07
3F	sisma stat y	Wall	0.00	2.2014	0.00	90.00	1350.212	0.93
3F	sisma stat y	Sum	0.00	0.0000		90.00	1459.195	
2F	sisma stat y	Frame(Bea	0.00	-2.3930	0.00	90.00	94.9753	0.06
2F	sisma stat y	Wall	0.00	2.3930	0.00	90.00	1543.913	0.94
2F	sisma stat y	Sum	0.00	0.0000		90.00	1638.888	
1F	sisma stat y	Frame(Bea	0.00	1.0465	0.00	90.00	11.8084	0.01
1F	sisma stat y	Wall	0.00	-1.0465	0.00	90.00	1723.242	0.99
1F	sisma stat y	Sum	0.00	0.0000		90.00	1735.051	

Story shear Force Ratio

Valore di ripartizione della forza di taglio per ogni piano distinguendo elementi wall da frame.

27% telaio
73% pareti

=>struttura mista equivalente a pareti

4-4 Verifiche sismiche globali: Story Eccentricity

TABLES → RESULT TABLES → STORY ECCENTRICITY

$$R_{tors} = {}^{M}/_{\theta} = G \cdot J_p \quad con \quad \theta = 1$$

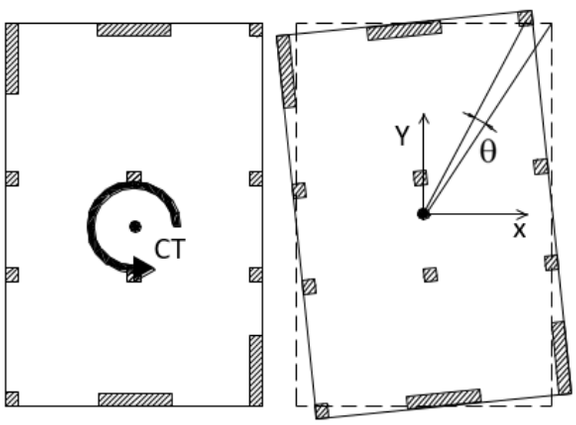
$$G \cdot J_p = \sum_i K_{i,flex,x} \cdot y_i^2 + K_{i,flex,y} \cdot x_i^2$$

$$R_{x,flex} = {}^{F}/_{x} = \sum_i K_{i,flex,x} \quad con \quad x = 1$$

$$R_{y,flex} = {}^{F}/_{y} = \sum_i K_{i,flex,y} \quad con \quad y = 1$$

$$r_y = \sqrt{\frac{R_{tors}}{R_{x,flex}}} \; ; \; r_x = \sqrt{\frac{R_{tors}}{R_{y,flex}}}$$

$$l_s = \sqrt{\frac{J_{p,piano}}{A_{piano}}} \; ; \; per\ pianta\ rettangolare\ l_s = \sqrt{\frac{A^2 + B^2}{12}}$$



La struttura è considerata a nucleo torsionale se: $\frac{r_x^2}{l_s^2} < 1 \quad \frac{r_y^2}{l_s^2} < 1$

E' possibile visualizzare questo rapporto per ogni piano tramite il comando:
Result/Result Tables/Criteria for Regularity in Plan

MIDAS/Gen | Result-[Criteria for Regularity in Plan]

Story	Level (m)	Translational Mass X-DIR (kN/g)	Translational Mass Y-DIR (kN/g)	Rotational Mass (kN/g*m^2)	Rx (El.Radius) X (m)	Rx (El.Radius) Y (m)	r^2/ls^2 X	r^2/ls^2 Y	Check (=1) X	Check (=1) Y
Roof	15.50	226.42850296	226.42850296	13294.9517	10.97	6.73	2.0481	0.7724	Regular	Irregular
6F	12.40	349.19505150	349.19505150	22239.3435	7.09	4.33	0.7887	0.2942	Irregular	Irregular
5F	9.30	349.19505150	349.19505150	22239.3435	6.16	3.70	0.5954	0.2153	Irregular	Irregular
4F	6.20	349.19505150	349.19505150	22239.3435	5.39	3.18	0.4570	0.1588	Irregular	Irregular
3F	3.10	349.19505150	349.19505150	22239.3435	5.03	2.91	0.3977	0.1328	Irregular	Irregular
2F	0.00	394.74565062	394.74565062	27112.5346	8.89	11.07	1.1494	1.7833	Regular	Regular
1F	-2.80	88.87494391	88.87494391	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	Irregular	Irregular

Come è possibile osservare dalla tabella sopra riportata, la rigidezza torsionale non soddisfa ad ogni piano la condizione da normativa NTC18 7.4.3.1

Si assume come tipologia della struttura in esame: **struttura deformabile torsionalmente**

4-5 Valutazione dell'azione sismica: Definizione del fattore di struttura

Rappresenta la duttilità globale, cioè la capacità di una struttura di dissipare energia lavorando in campo plastico. Le caratteristiche che definiscono la duttilità sono:

- I materiali
- La tipologia costruttiva (strutture a telaio, strutture molto iperstatiche)
- I particolari costruttivi (realizzazione dei nodi, presenza di elementi dissipativi)

È possibile valutare il q in maniera approfondita tramite un'analisi non-lineare oppure seguendo la normativa NTC 18 cap 7.4.3.2 che permette di valutarlo in maniera semplificata.

Nel caso in oggetto la struttura risulta essere ***deformabile torsionalmente*** quindi secondo la tabella 7.3.II della NTC 18:

$$q_0 = 2$$

Locazione ESTE , (lat 45.2238 lon 11.6597)

Categoria suolo B

Categoria Topografica T1

Vita nominale 50 anni

Classe d'uso II

Classe duttilità CD B

Struttura deformabili torsionalmente: $q_0 = 2$

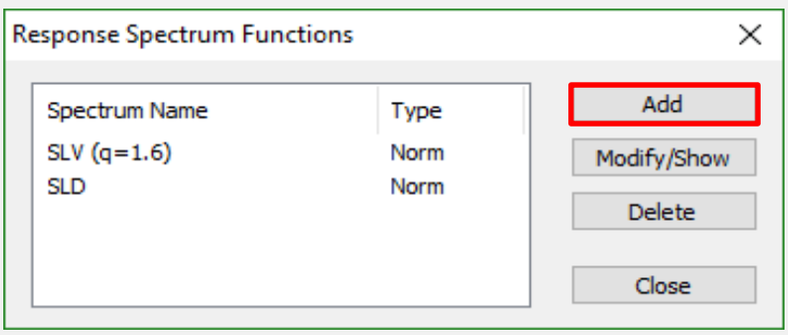
Struttura irregolare in altezza Kr=0.8

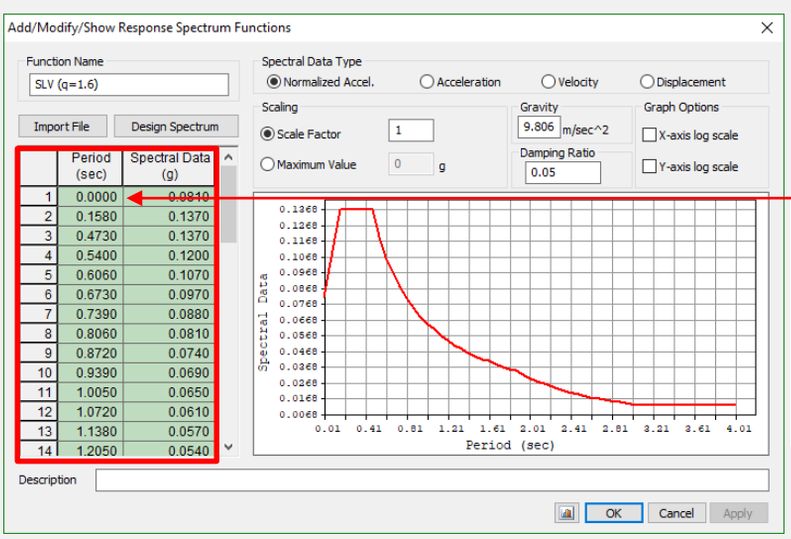
$q = q_0 * Kr = 2 * 0.8 = 1.6$

4-6 Valutazione dell'azione sismica: Spettro di progetto

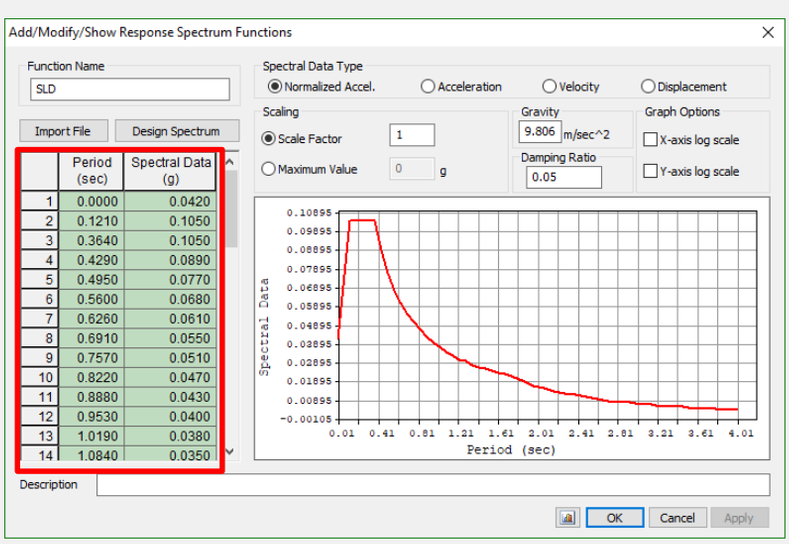
LOAD → DYNAMIC LOAD → RESPONSE SPECTRUM DATA → RS FUNCTION → ADD

Lo spettro di progetto per una costruzione in zona sismica viene trattata dalla normativa D.M. 2018 cap. 3.2.3.
Per la definizione dello spettro si utilizza il file excel: *Spettri-NTCver.1.0.3* del ministero dei lavori pubblici.





Spettro di risposta orizzontale per lo stato limite : SLV



Spettro di risposta orizzontale per lo stato limite : SLD

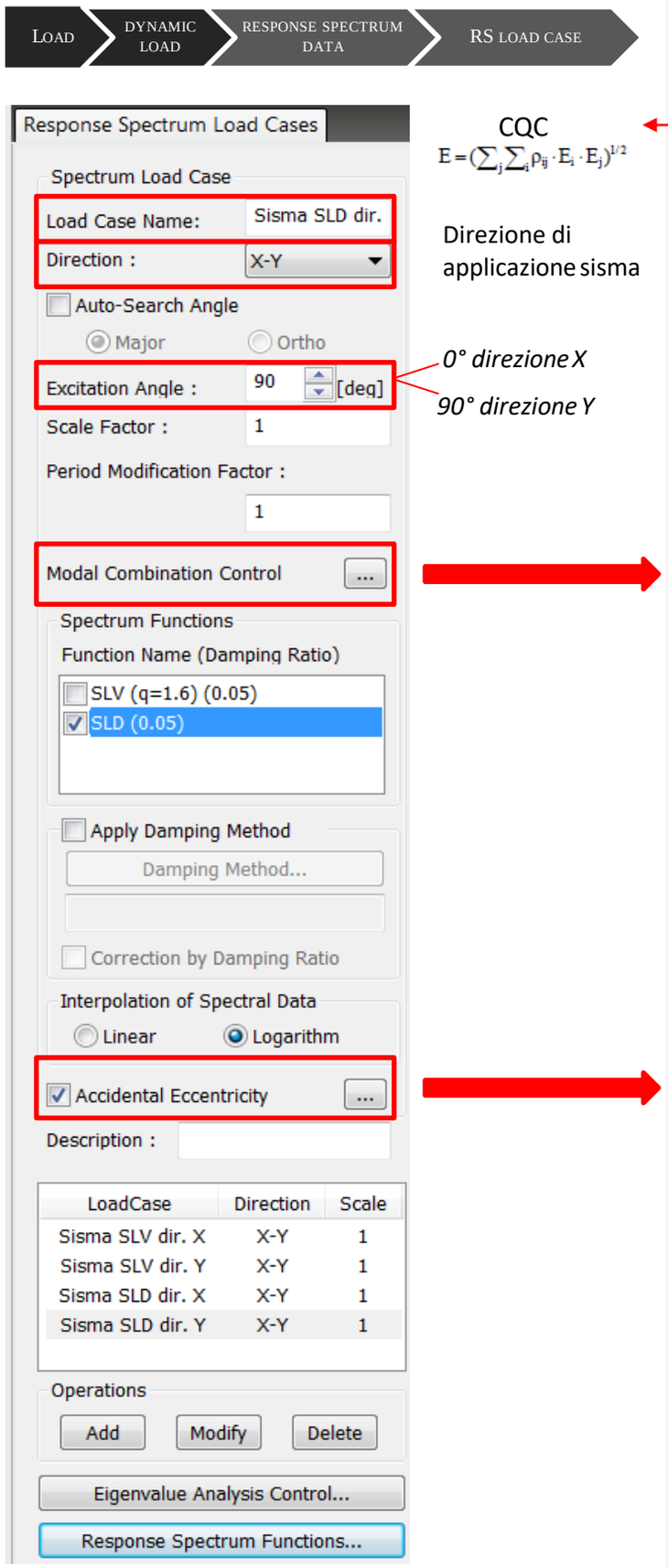
NOTA 1:

Nell'inserimento dello spettro da foglio excel il software midas gen accetta come separatore decimale "." e non ","

NOTA 2:

Per incollare i punti dello spettro di risposta bisogna effettuare UN SOLO click nella prima casella (non deve apparire la barra di scritta altrimenti il programma cercherà di inserire tutti i punti in quel solo slot).

4-7 Valutazione dell'azione sismica: Gestione dello Spettro



CQC

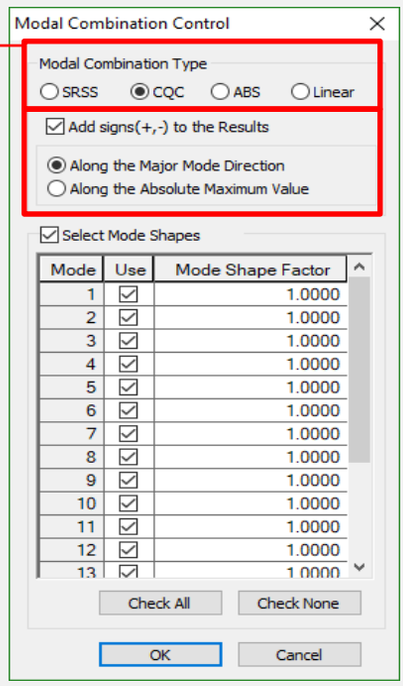
$$E = \left(\sum_j \sum_i \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j\right)^{1/2}$$

Direzione di applicazione sisma

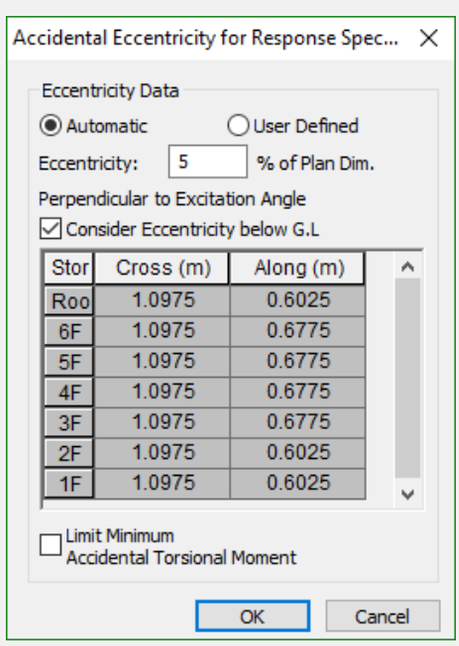
0° direzione X

90° direzione Y

I modi vengono combinati con combinazione quadratica completa CQC come richiesto nel D.M. 18 cap. 7.3.3.1



NOTA 1: Add signs (+,-) to the results: *assegna una convenzione dei segni sui risultati basata sulla direzione del primo modo o del max valore assoluto.*



NOTA 2: *Definizione eccentricità accidentale secondo NTC 18 §7.2.6*

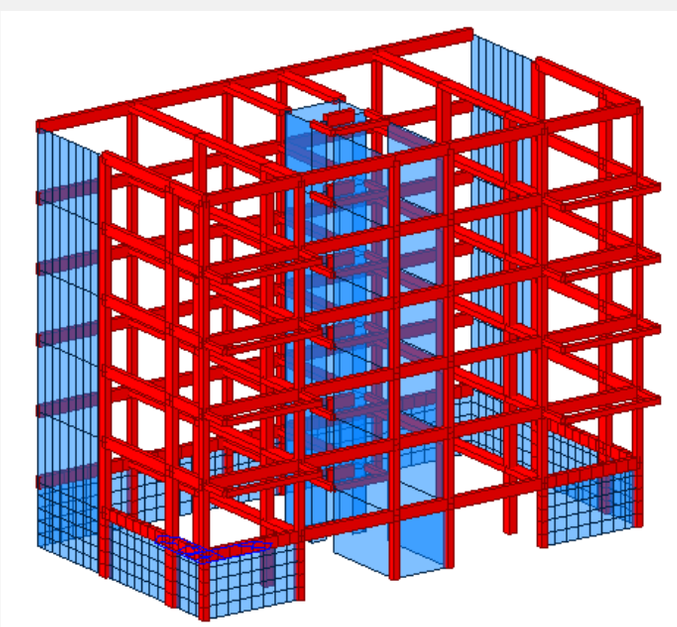
Per ulteriori approfondimenti teorici si rimanda all' Help Online.

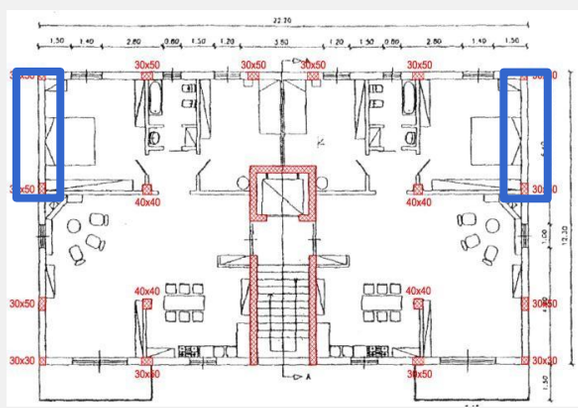
4-8 Valutazione dell'azione sismica: Considerazioni e Interventi

In seguito allo studio dinamico della struttura mediante analisi modale si è evidenziata una predisposizione alla torsione a causa della presenza del nucleo in c.a. Infatti il vano ascensore è l'elemento di maggiore rigidezza e si trova in prossimità del baricentro di piano; questo si comporta come un perno attorno al quale ruota la struttura, mettendo in crisi i pilastri presenti nel perimetro. Il comportamento torsionale viene inoltre dimostrato da normativa seguendo il calcolo manuale *DM. 18 cap.7.4.3.1*

INTERVENTI

Per impedire questo fenomeno, ritenuto pericoloso al comportamento sismico della struttura, si interviene inserendo dei setti perimetrali la cui rigidezza dissuade la struttura da movimenti torcenti.





Con l'aggiunta dei setti cambia la tipologia strutturale: **struttura mista telaio e pareti.**

MIDAS/Gen | Result-[Criteria for Regularity in Plan]

	Story	Level (m)	Translational Mass X-DIR (kN/g)	Translational Mass Y-DIR (kN/g)	Rotational Mass (kN/g*m^2)	Rx (El.Radius) X (m)	Rx (El.Radius) Y (m)	r^2/ls^2 X	r^2/ls^2 Y	Check (=1) X	Check (=1) Y
▶	Roof	15.50	226.79335177	226.79335177	14161.8470	18.61	8.05	5.5488	1.0378	Regular	Regular
	6F	12.40	346.83352947	346.83352947	23634.1925	19.67	8.37	5.6752	1.0280	Regular	Regular
	5F	9.30	346.83352947	346.83352947	23634.1925	20.16	8.46	5.9632	1.0508	Regular	Regular
	4F	6.20	346.83352947	346.83352947	23634.1925	20.30	8.36	6.0454	1.0260	Regular	Regular
	3F	3.10	346.83352947	346.83352947	23634.1925	20.16	8.27	5.9645	1.0044	Regular	Regular
	2F	0.00	380.58347619	380.58347619	20956.8489	33.04	10.79	19.8223	2.1146	Regular	Regular
	1F	-2.80	80.53035998	80.53035998	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	Irregular	Irregular

L'irregolarità segnalata allo story F1 è dovuta alla presenza dei vincoli esterni.

4-9 Valutazione dell'azione sismica: Spettro di progetto (Intervento)

LOAD → DYNAMIC LOAD → RESPONSE SPECTRUM DATA → RS FUNCTION → ADD

Lo spettro di progetto per una costruzione in zona sismica viene trattata dalla normativa vigente NTC 2018 cap. 3.2.3

Locazione ESTE , (lat 45.2238, lon 11.6597)
Categoria suolo B
Categoria Topografica T1
Vita nominale 50 anni
Classe d'uso II
Classe duttilità CD B (edificio esistente)

Strutture miste telaio-parete:

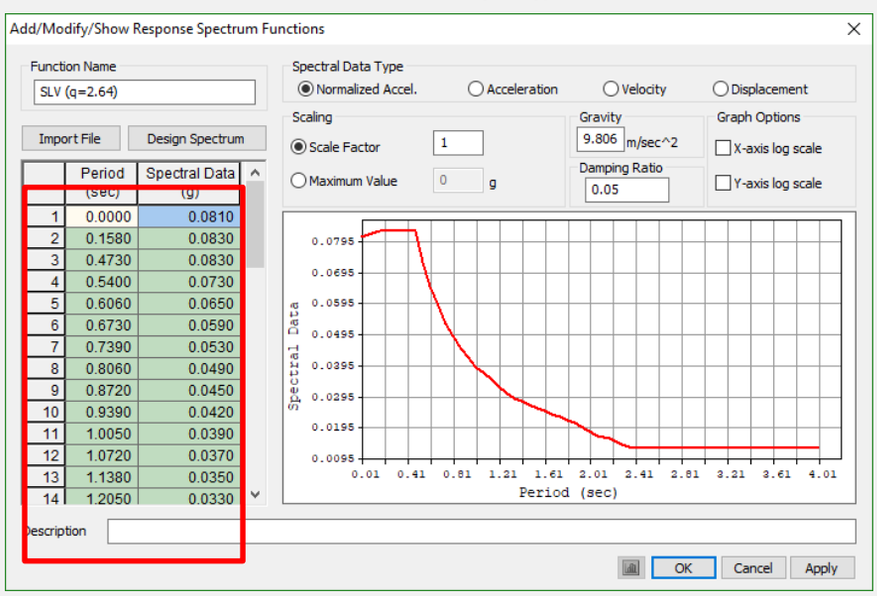
$q_0 = 3 * \alpha_0/\alpha_1$

α_0/α_1 = 1.1 (altre strutture a pareti non accoppiate)

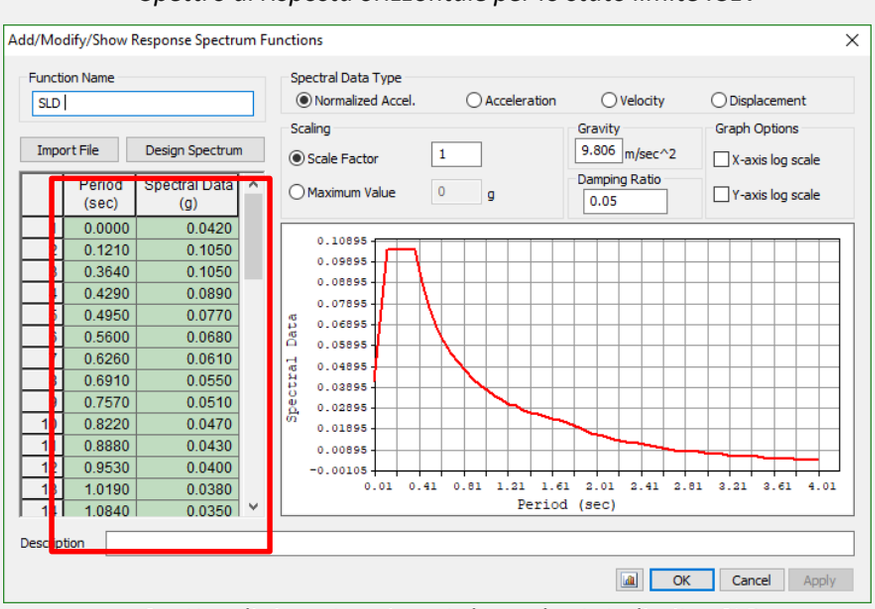
Struttura irregolare in altezza **Kr=0.8**

q_0 = 3 * 1.1 = 3.3

q = q_0 * Kr = 3.3 * 0.8 = 2.64



Spettro di risposta orizzontale per lo stato limite : SLV



Spettro di risposta orizzontale per lo stato limite : SLD

4-10 Valutazione dell'azione sismica: Modi di vibrare (Intervento)

ANALYSIS → PERFORM → PERFORM ANALYSIS

Node	Mode	UX	UY	UZ	RX
EIGENVALUE ANALYSIS					
	Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance
	1	11.0419	1.7574	0.5690	1.0490e-015
	2	24.1162	3.8382	0.2605	5.8643e-016
	3	24.4460	3.8907	0.2570	1.7121e-015
	4	51.5313	8.2015	0.1219	3.4250e-016
	5	111.5830	17.7590	0.0563	7.3047e-016
	6	113.7407	18.1024	0.0552	1.4060e-016
	7	115.5709	18.3937	0.0544	6.8093e-016
	8	171.2506	27.2554	0.0367	9.9240e-016
	9	224.3666	35.7091	0.0280	0.0000e+000
	10	251.8942	40.0902	0.0249	2.2934e-016
	11	253.9113	40.4112	0.0247	2.2571e-016
	12	369.2782	58.7725	0.0170	6.4027e-016
	13	385.0955	61.2899	0.0163	3.9250e-016
	14	391.0403	62.2360	0.0161	0.0000e+000
	15	482.0906	76.7271	0.0130	3.7568e-016
	16	490.5832	78.0787	0.0128	3.6278e-016
	17	553.8756	88.1520	0.0113	5.6922e-016
	18	555.8652	88.4687	0.0113	1.3187e-015

Dall'analisi risulta che il primo modo di vibrare è ora traslazionale in X, pertanto la struttura non è più deformabile torsionalmente. Si ha la conferma dal programma di ciò che si era già dedotto tramite NTC18.

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT													
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z		
	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	
1	61.2022	61.2022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3443	0.3443	
2	0.0000	61.2022	61.4389	61.4389	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3443	
3	0.3204	61.5226	0.0000	61.4389	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	58.1162	58.4605	
4	15.9775	77.5001	0.0000	61.4389	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1604	58.6210	
5	4.2239	81.7240	0.0000	61.4389	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2128	58.8338	
6	0.0000	81.7240	21.4395	82.8783	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	58.8338	
7	0.1324	81.8564	0.0000	82.8783	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	18.9705	77.8043	
8	1.8924	83.7488	0.0000	82.8783	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0239	77.8282	
9	0.7023	84.4510	0.0000	82.8783	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0156	77.8437	
10	0.0000	84.4510	9.0086	91.8870	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	77.8437	
11	0.0032	84.4543	0.0000	91.8870	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7.3890	85.2327	
12	9.9081	94.3624	0.0000	91.8870	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.7999	87.0326	
13	0.0000	94.3624	4.9209	96.8079	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	87.0326	
14	4.9612	99.3236	0.0000	96.8079	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.1223	89.1549	
15	0.1953	99.5189	0.0000	96.8079	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.0604	91.2153	
16	0.0000	99.5189	2.4650	99.2728	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	91.2153	
17	0.4811	100.000	0.0000	99.2728	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	8.7847	100.000	
18	0.0000	100.000	0.7272	100.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	100.000	

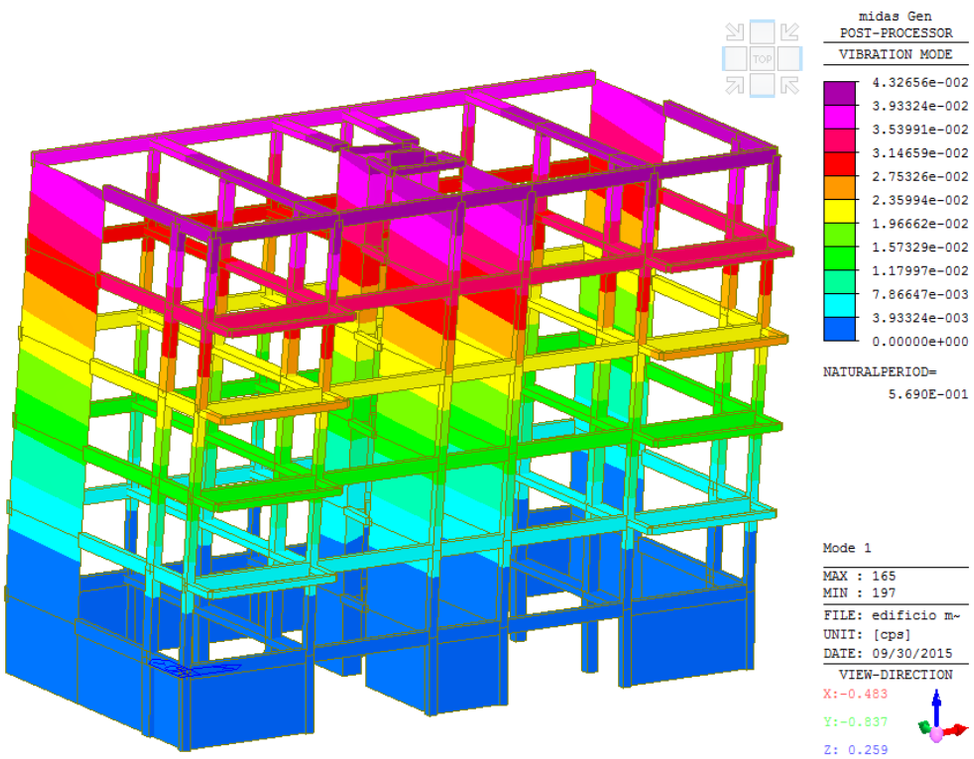
La % di massa attivata dalla prima frequenza evidenzia un modo proprio di vibrare di tipo traslazionale.

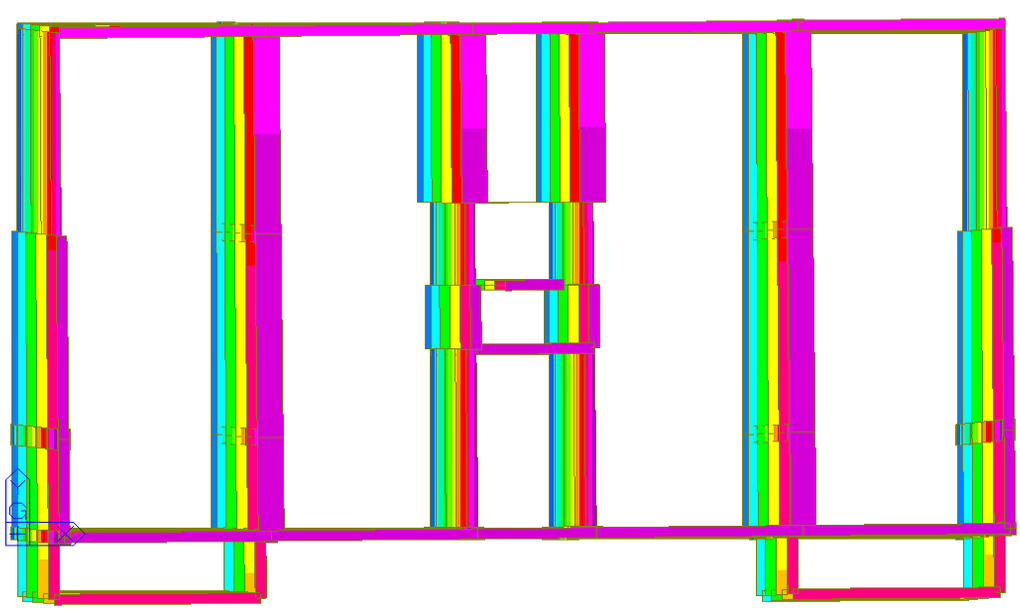
NOTA: *Si considerano i modi la cui somma della massa partecipante è > 85% DM 08 cap. 7.3.3.1*

RESULTS > MODE SHAPE > VIBRATION MODE SHAPES

MODO 1: Modo traslazionale in x. **T= 0.5690 sec**

Massa Attivata = 61.2022 % (traslazionale in x)

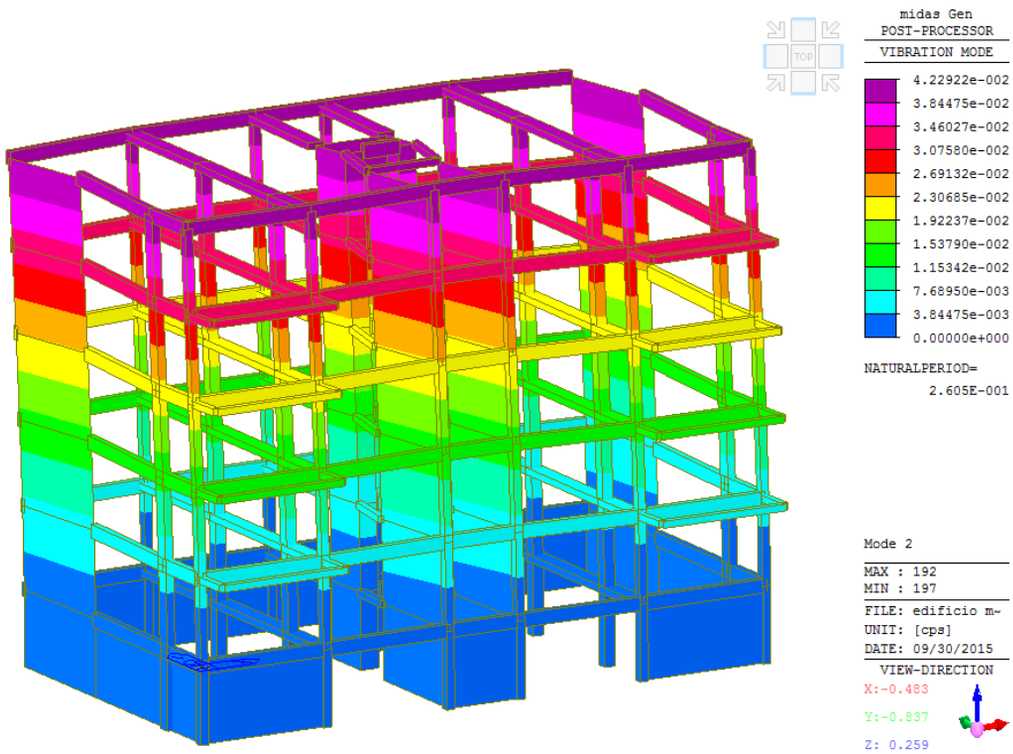


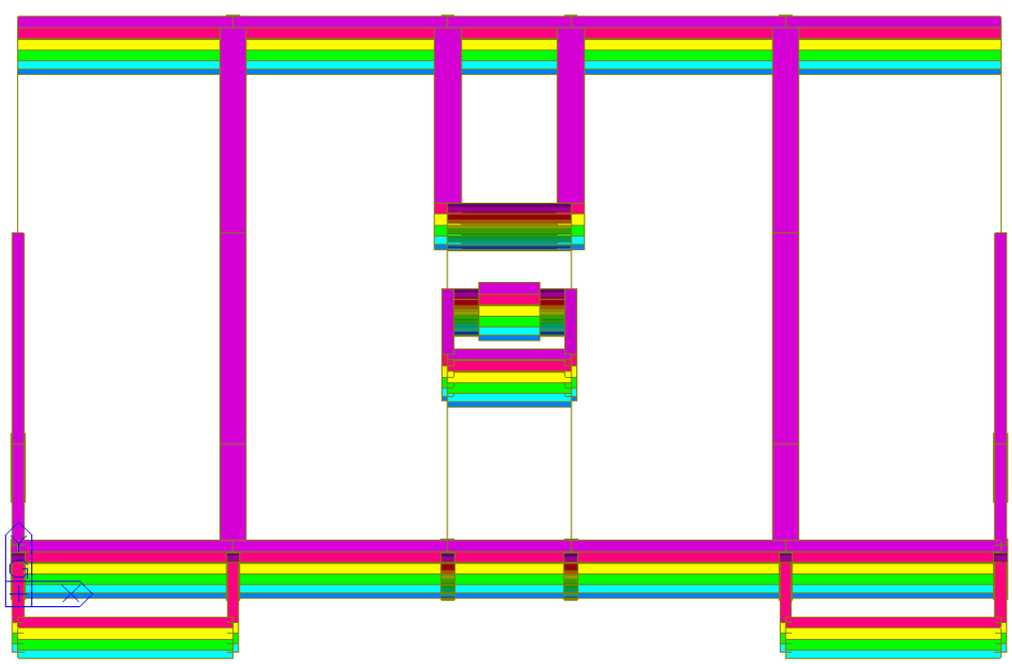


RESULTS > MODE SHAPE > VIBRATION MODE SHAPES

MODO 2: Modo traslazionale in y. **T= 0.2605 sec**

Massa Attivata = 61.4389 % (traslazionale in y)

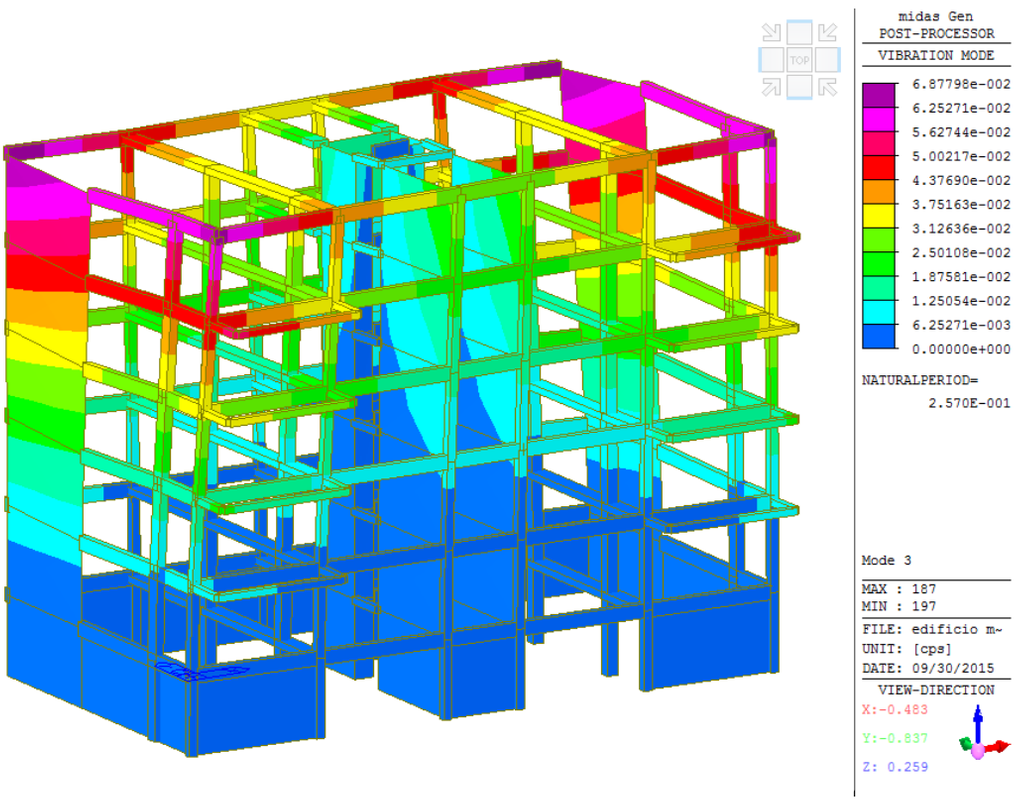


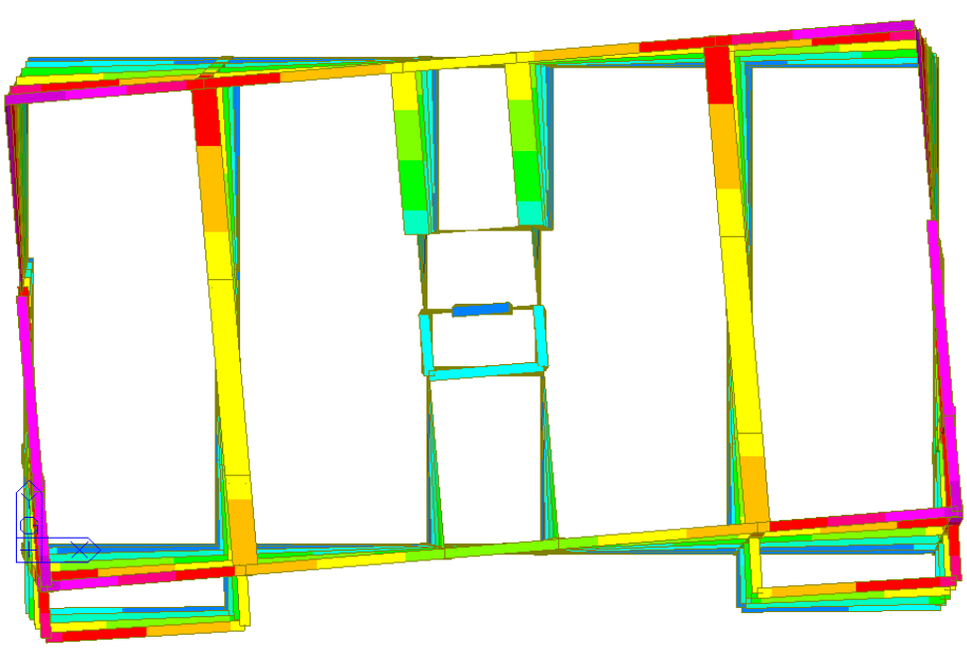


RESULTS > MODE SHAPE > VIBRATION MODE SHAPES

MODO 3: Modo rotazionale in z. **T= 0.2570 sec**

Massa Attivata = 58.1162 % (rotazionale in z)

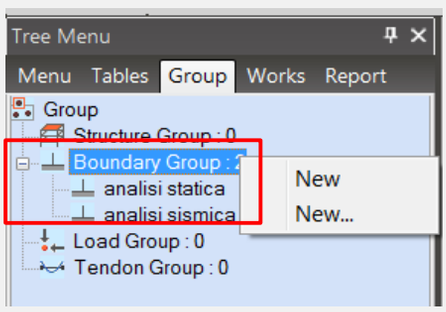




4-11 Valutazione dell'azione sismica: Riduzione delle rigidezze

ANALYSIS > ANALYSIS CONTROL > BOUNDARY CHANGE ASSIGNMENT

Si vuole ora effettuare l'analisi della struttura considerando la diminuzione della rigidezza flessionale di travi e pilastri per effetto della fessurazione. Per fare ciò si risolverà la struttura con due diverse condizioni al contorno (Boundary):
Analisi statica: Considerando l'intera rigidezza degli elementi (per carichi statici verticali)
Analisi sismica: Considerando una rigidezza ridotta degli elementi (per forze orizzontali)



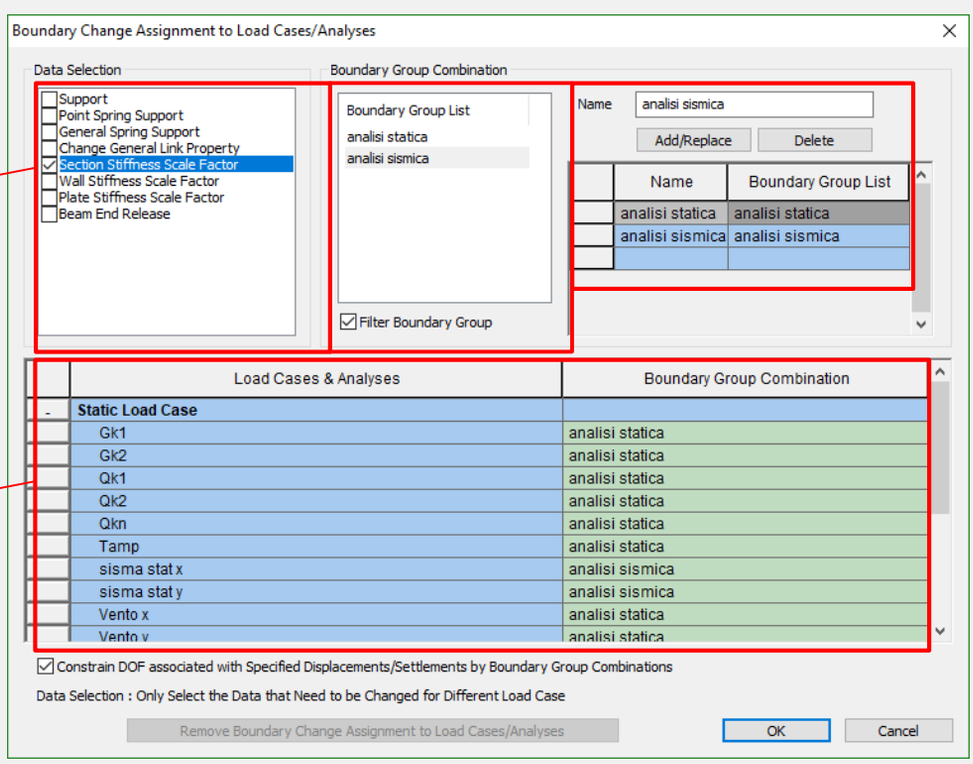
*Dal **tree menu/Group** si definiscono 2 **Boundary Group** (vedi figura a fianco)*

*Si procede all'assegnazione delle rigidezze ridotte per travi e pilastri: **Properties/scale factor/section stiffness scale factor** (vedi pagina successiva).*

*Definiti i "**Boundary Group**" e assegnate le relative rigidezze "**section stiffness scale factor**" ai vari casi di carico viene assegnato il rispettivo **"Boundary Group combination".***

Definizione delle proprietà per effettuare l'analisi.

Assegnazione dei boundary group ai vari casi di carico.



Boundary change assignment to load cases/analyses

4-11 Valutazione dell'azione sismica: Riduzione delle rigidezze

PROPERTIES → SCALE FACTOR → SECTION STIFFNESS SCALE FACTOR

In seguito allo studio dinamico della struttura mediante analisi modale si decide di effettuare l'analisi del modello con setti secondo quanto indicato al §7.2.6 NTC 18 ossia *tenendo conto della fessurazione* dei materiali fragili e riducendo la rigidezza flessionale e a taglio degli elementi (frame).

Nel caso di strutture in c.a. è possibile utilizzare 3 metodi:

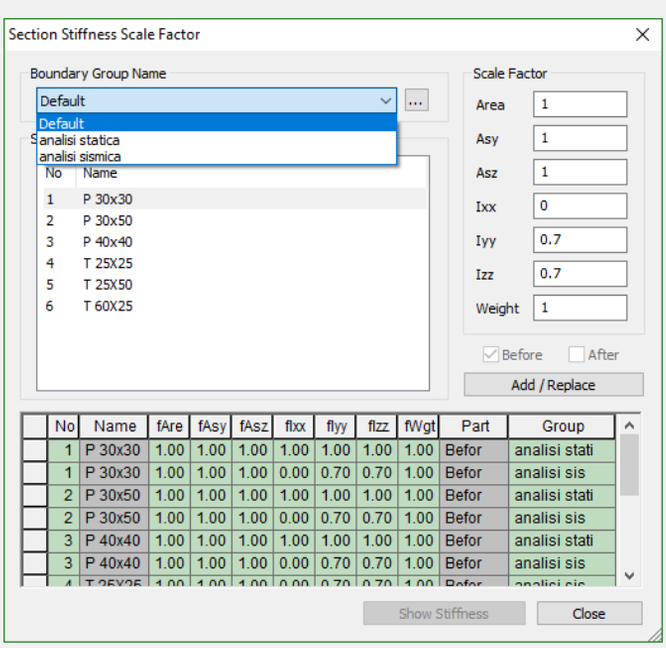
Metodo 1 : riduzione del 50% rigidezza generale della struttura

Metodo 2 : riduzione momento d'inerzia delle sezioni (utilizzato nell'esempio)

Metodo 3 : relazione tra resistenza e rigidezza flessionale degli elementi al variare del carico assiale e della percentuale di armatura.

Tabella 4.1 Momenti di inerzia ridotti per elementi fessurati [Paula e Priestley, 1992]

Membri strutturali	Intervallo di jt / ji	jt / ji raccomandato
Travi rettangolari	0.3 - 0.5	0.40
Travi a T e L	0.25 - 0.45	0.35
Colonne, N > 0.5 fc x A	0.7 - 0.9	0.80
Colonne, N = 0.2 fc x A	0.5 - 0.7	0.60
Colonne, N = -0.05 fc x A	0.3 - 0.5	0.40



Section stiffness scale factor

Riduzione delle rigidezze degli elementi strutturali disaccoppiandoli nell'analisi statica e sismica.

Analisi Statica *:*

Travi Rigidezza Torsionale = 0
Rigidezza flessionale = 1

Pilastri Rigidezza Torsionale = 1
Rigidezza flessionale = 1

Analisi Sismica *:*

Travi Rigidezza Torsionale = 0
Rigidezza flessionale = 0.5

Pilastri Rigidezza Torsionale = 0
Rigidezze flessionali = 0.7

4-11 Valutazione dell'azione sismica: Riduzione delle rigidezze

ANALYSIS → PERFORM → PERFORM ANALYSIS

EIGENVALUE ANALYSIS				
Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance
1	10.4970	1.6706	0.5986	1.2897e-016
2	22.9623	3.6546	0.2736	0.0000e+000
3	23.4033	3.7247	0.2685	0.0000e+000
4	50.3055	8.0064	0.1249	3.5939e-016
5	109.2746	17.3916	0.0575	3.0466e-016
6	112.4119	17.8909	0.0559	0.0000e+000
7	114.3600	18.2010	0.0549	1.3909e-016
8	167.8595	26.7157	0.0374	1.2911e-016
9	221.2545	35.2137	0.0284	0.0000e+000
10	250.8819	39.9291	0.0250	2.3120e-016
11	252.9639	40.2604	0.0248	4.5481e-016
12	368.2577	58.6100	0.0171	4.2922e-016
13	384.2318	61.1524	0.0164	1.9713e-016
14	390.1149	62.0887	0.0161	0.0000e+000
15	481.1818	76.5825	0.0131	8.7989e-016
16	489.7960	77.9534	0.0128	4.8527e-016
17	553.2178	88.0473	0.0114	7.6076e-016
18	555.1064	88.3479	0.0113	1.8890e-016

Eigenvalue Analysis

Dall'analisi risulta che il primo modo di vibrare è ancora traslazionale in X. Tuttavia avendo considerato una rigidezza ridotta per travi e pilastri si ha una struttura più deformabile e di conseguenza il periodo della struttura aumenta.

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT												
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)	MASS(%	SUM(%)
1	60.7938	60.7938	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4130	0.4130
2	0.0000	60.7938	60.9553	60.9553	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4130
3	0.4107	61.2045	0.0000	60.9553	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	57.6217	58.0347
4	16.2001	77.4046	0.0000	60.9553	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1957	58.2304
5	4.2582	81.6627	0.0000	60.9553	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0811	58.3116
6	0.0000	81.6627	21.8293	82.7845	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	58.3116
7	0.0843	81.7470	0.0000	82.7845	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	19.4221	77.7337
8	1.8977	83.6447	0.0000	82.7845	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0220	77.7557
9	0.7435	84.3882	0.0000	82.7845	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0165	77.7722
10	0.0000	84.3882	9.0659	91.8504	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	77.7722
11	0.0035	84.3917	0.0000	91.8504	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7.4227	85.1949
12	9.9844	94.3761	0.0000	91.8504	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.7982	86.9932
13	0.0000	94.3761	4.9443	96.7948	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	86.9932
14	4.9435	99.3196	0.0000	96.7948	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.1302	89.1234
15	0.1948	99.5144	0.0000	96.7948	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.0540	91.1774
16	0.0000	99.5144	2.4745	99.2692	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	91.1774
17	0.4856	100.000	0.0000	99.2692	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	8.8226	100.000
18	0.0000	100.000	0.7308	100.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	100.000

Modal Participation Masses Printout

Si conclude che nel caso in esame i modi di vibrare restano sostanzialmente invariati anche considerando per l'analisi dinamica una rigidezza ridotta degli elementi.

4-12 Valutazione dell'azione sismica: Confronto dei risultati

Si riportano qui di seguito i risultati ottenuti per i 3 modelli sopra descritti:

Modello	Periodo primo modo	Tipo di struttura	Fattore struttura	Taglio base FX	Taglio base Fy
	[s]	[DM. 08. Tabella 7.4.I]	[q]	[KN]	[KN]
Iniziale	0.7146	deformabile torsionalmente	1.6	1221.33	1762.12
Con setti laterali	0.5690	struttura mista telaio - parete	2.64	933.94	1109.71
Con setti laterali e rigidezza ridotta	0.5986	struttura mista telaio - parete	2.64	891.37	1104.44
		Confronto taglio alla base (Modello 1-2)		23.5%	37.0%
		Confronto taglio alla base (Modello 2-3)		4.6%	0.47%

Conclusioni:

Dalla tabella sopra riportata è possibile osservare come l'aggiunta di setti vada a modificare la tipologia strutturale, il fattore di struttura e di conseguenza lo spettro di risposta; è normale quindi aspettarsi una differenza non trascurabile del taglio alla base.

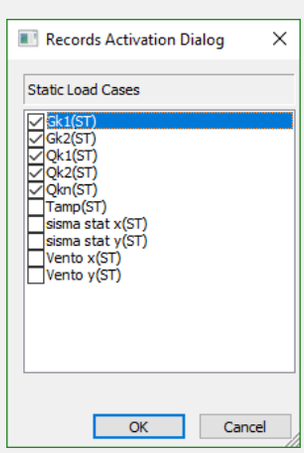
Il *modello con setti e telaio a rigidezza ridotta* presenta una differenza trascurabile del taglio alla base rispetto al *modello con setti laterali inferiore* del 5%. Esso ha un periodo principale superiore rispetto al *modello con setti laterali* , ciò è prevedibile in quanto la struttura è più flessibile.

CONTROLLI:

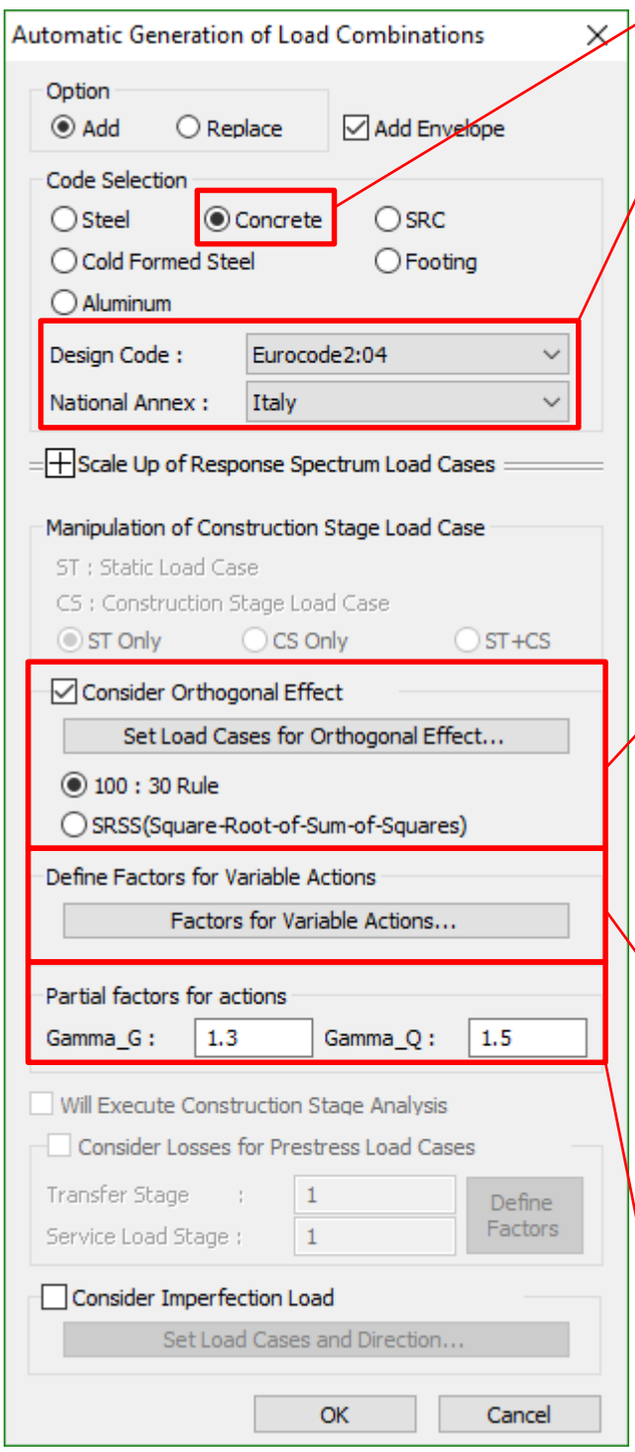
Dalla finestra Query è possibile controllare tramite tabelle varie caratteristiche della struttura come Pesi, Carichi e Masse.

Per esempio, è possibile controllare la somma dei carichi per tipo di carico e tipo di elemento tramite il comando **Query/Load Summary Table**

	Load	Concent (kN)	Beam (kN)	Floor (kN)	Pressure (kN)	Self Weight (kN)	Sum (kN)
▶	Gk1	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	-7.511e+00	-7.511e+00
	Gk2	0.000e+00	0.000e+00	-1.066e+00	0.000e+00	0.000e+000	-1.066e+00
	Qk1	0.000e+00	0.000e+00	-2.470e+00	0.000e+00	0.000e+000	-2.470e+00
	Qk2	0.000e+00	0.000e+00	-5.808e+00	0.000e+00	0.000e+000	-5.808e+00
	Qkn	0.000e+00	0.000e+00	-3.438e+00	0.000e+00	0.000e+000	-3.438e+00
	Tamp	0.000e+00	-2.047e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+000	-2.047e+00
	SUMMATION OF TOTAL LOAD PRINTOUT						
		Concent (kN)	Beam (kN)	Floor (kN)	Pressure (kN)	Self Weight (kN)	Sum (kN)
		0.000e+00	-2.047e+00	-1.405e+00	0.000e+00	-7.511e+00	-2.361e+00

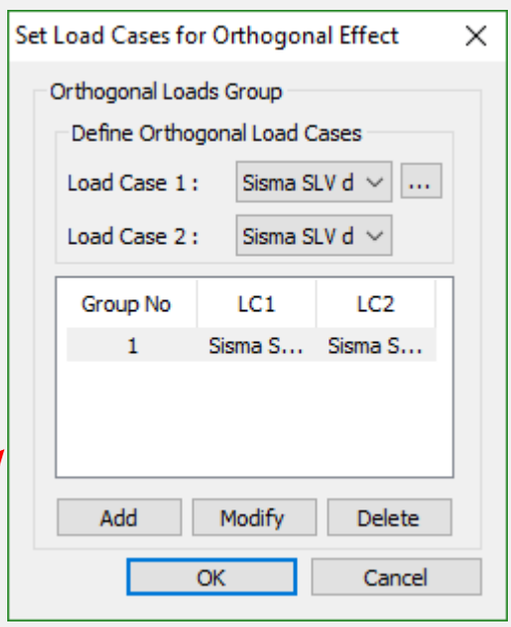


Definizione delle combinazioni delle azioni secondo NTC 18 cap. 2.5.3

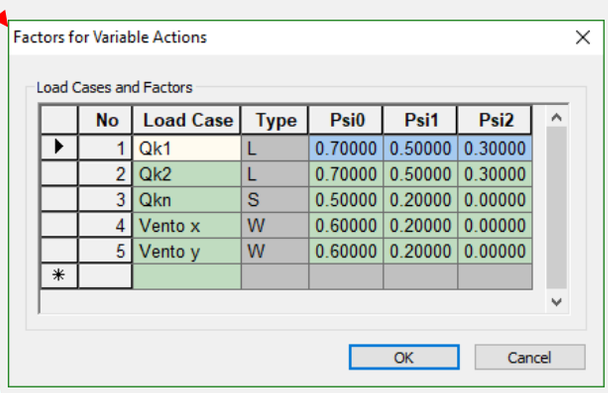


Definizione del materiale

Definizione della normativa per la generazione delle combinazioni



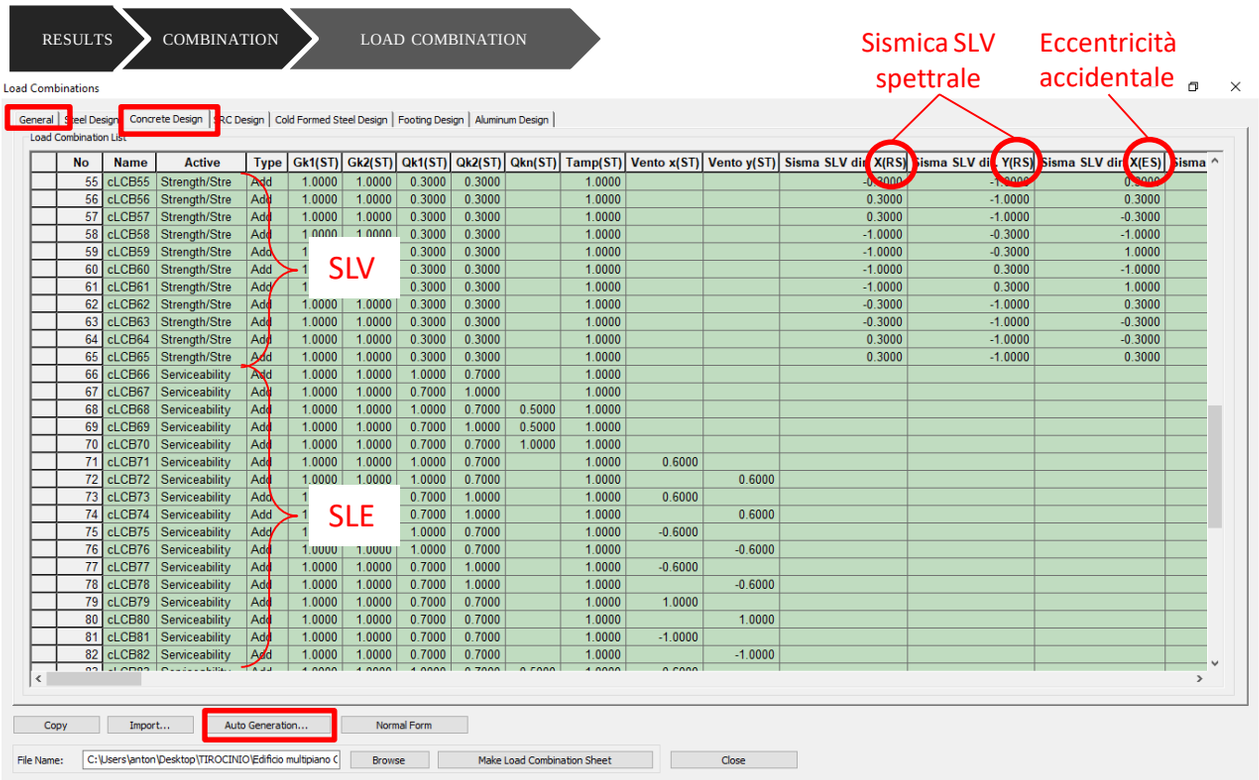
Regola del 100:30 per la combinazione delle due componenti sismiche NTC 18 cap 7.3.5



Valori dei coefficienti di combinazione NTC 18 cap. 2.5.2

Definizione dei coefficienti parziali di sicurezza

5-1 Analisi dei risultati: Combinazioni di carico



No	Name	Active	Type	Gk1(ST)	Gk2(ST)	Qk1(ST)	Qk2(ST)	Qkn(ST)	Tamp(ST)	Vento x(ST)	Vento y(ST)	Sisma SLV dir X(RS)	Sisma SLV dir Y(RS)	Sisma SLV dir X(ES)	Sisma
55	cLCB55	Strength/Stre	Add	1.0000	1.0000	0.3000	0.3000		1.0000			-0.3000	-1.0000	0.3000	
56	cLCB56	Strength/Stre	Add	1.0000	1.0000	0.3000	0.3000		1.0000			0.3000	-1.0000	0.3000	
57	cLCB57	Strength/Stre	Add	1.0000	1.0000	0.3000	0.3000		1.0000			0.3000	-1.0000	-0.3000	
58	cLCB58	Strength/Stre	Add	1.0000	1.0000	0.3000	0.3000		1.0000			-1.0000	-0.3000	-1.0000	
59	cLCB59	Strength/Stre	Add	1		0.3000	0.3000		1.0000			-1.0000	-0.3000	1.0000	
60	cLCB60	Strength/Stre	Add	1		0.3000	0.3000		1.0000			-1.0000	0.3000	-1.0000	
61	cLCB61	Strength/Stre	Add	1		0.3000	0.3000		1.0000			-1.0000	0.3000	1.0000	
62	cLCB62	Strength/Stre	Add	1.0000	1.0000	0.3000	0.3000		1.0000			-0.3000	-1.0000	0.3000	
63	cLCB63	Strength/Stre	Add	1.0000	1.0000	0.3000	0.3000		1.0000			-0.3000	-1.0000	-0.3000	
64	cLCB64	Strength/Stre	Add	1.0000	1.0000	0.3000	0.3000		1.0000			0.3000	-1.0000	-0.3000	
65	cLCB65	Strength/Stre	Add	1.0000	1.0000	0.3000	0.3000		1.0000			0.3000	-1.0000	0.3000	
66	cLCB66	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	1.0000	0.7000		1.0000						
67	cLCB67	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	0.7000	1.0000		1.0000						
68	cLCB68	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	1.0000	0.7000	0.5000	1.0000						
69	cLCB69	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	0.7000	1.0000	0.5000	1.0000						
70	cLCB70	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	0.7000	0.7000	1.0000	1.0000						
71	cLCB71	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	1.0000	0.7000		1.0000	0.6000					
72	cLCB72	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	1.0000	0.7000		1.0000		0.6000				
73	cLCB73	Serviceability	Add	1		0.7000	1.0000		1.0000	0.6000					
74	cLCB74	Serviceability	Add	1		0.7000	1.0000		1.0000		0.6000				
75	cLCB75	Serviceability	Add	1		1.0000	0.7000		1.0000	-0.6000					
76	cLCB76	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	1.0000	0.7000		1.0000		-0.6000				
77	cLCB77	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	0.7000	1.0000		1.0000	-0.6000					
78	cLCB78	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	0.7000	1.0000		1.0000		-0.6000				
79	cLCB79	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	0.7000	0.7000		1.0000	1.0000					
80	cLCB80	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	0.7000	0.7000		1.0000		1.0000				
81	cLCB81	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	0.7000	0.7000		1.0000	-1.0000					
82	cLCB82	Serviceability	Add	1.0000	1.0000	0.7000	0.7000		1.0000		-1.0000				

Load combinations

NOTA1:

In "General" si definiscono le combinazioni di carico relative allo spettro SLD settando in ***Auto generation of load combinations/set load case of orthogonal effect*** *lo spettro SLD. In "Concrete" si definiscono le combinazioni di carico relative allo spettro SLV.*

TIPOLOGA DI COMBINAZIONI:

Add: Linear combination of analysis results

L1 + L2 + ... + M1 + M2 + ... + S1 + S2 + ...+ (R1 + R2 + ...) + T + LCB1 + LCB2 + ... + ENV1 + ENV2 + …

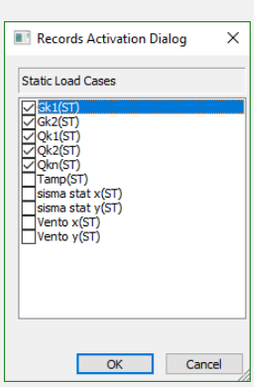
Envelope: Maximum, minimum and maximum of absolute values for individual analysis results

CBmax: Max (L1, L2, ..., M1, M2, ..., S1, S2, ...,R1, R2, ..., T, LCB1, LCB2, ..., ENV1, ENV2, ...)

CBmin: Min (L1, L2, ..., M1, M2, ..., S1, S2, ...,R1, R2, ..., T, LCB1, LCB2, ..., ENV1, ENV2, ...)

CBall: Max (|L1|, |L2|, ..., |M1|, |M2|, ..., |S1|, |S2|, ..., |R1|, |R2|, ..., |T|, |LCB1|, |LCB2|, ..., |ENV1|, |ENV2|, ...)

Load	Concent (kN)	Beam (kN)	Floor (kN)	Pressure (kN)	Self Weight (kN)	Sum (kN)
Gk1	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	-7.511e+00	-7.511e+00
Gk2	0.000e+00	0.000e+00	-1.066e+00	0.000e+00	0.000e+000	-1.066e+00
Qk1	0.000e+00	0.000e+00	-2.470e+00	0.000e+00	0.000e+000	-2.470e+00
Qk2	0.000e+00	0.000e+00	-5.808e+00	0.000e+00	0.000e+000	-5.808e+00
Qkn	0.000e+00	0.000e+00	-3.438e+00	0.000e+00	0.000e+000	-3.438e+00
Tamp	0.000e+00	-2.047e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+000	-2.047e+00
SUMMATION OF TOTAL LOAD PRINTOUT						
	Concent (kN)	Beam (kN)	Floor (kN)	Pressure (kN)	Self Weight (kN)	Sum (kN)
	0.000e+00	-2.047e+00	-1.405e+00	0.000e+00	-7.511e+00	-2.361e+00

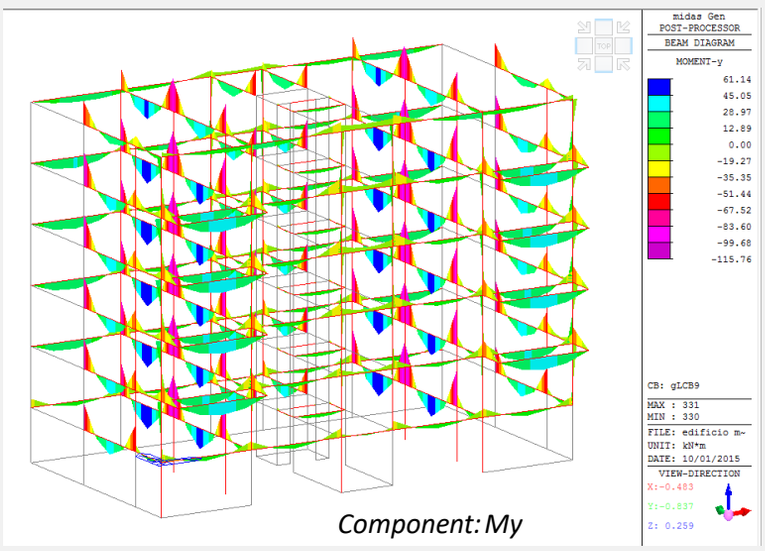


Controllo dei carichi: ***Query => Load Summary***

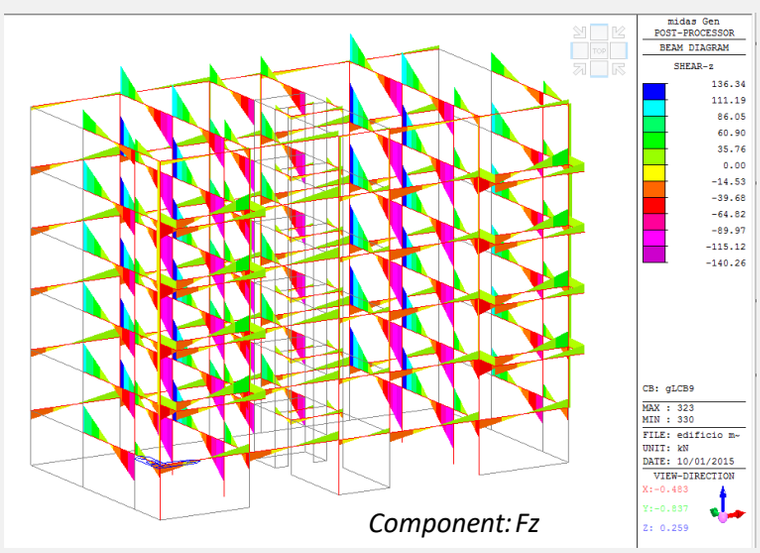
5-2 Analisi dei risultati: Beam diagrams

RESULTS → FORCES → BEAM DIAGRAM

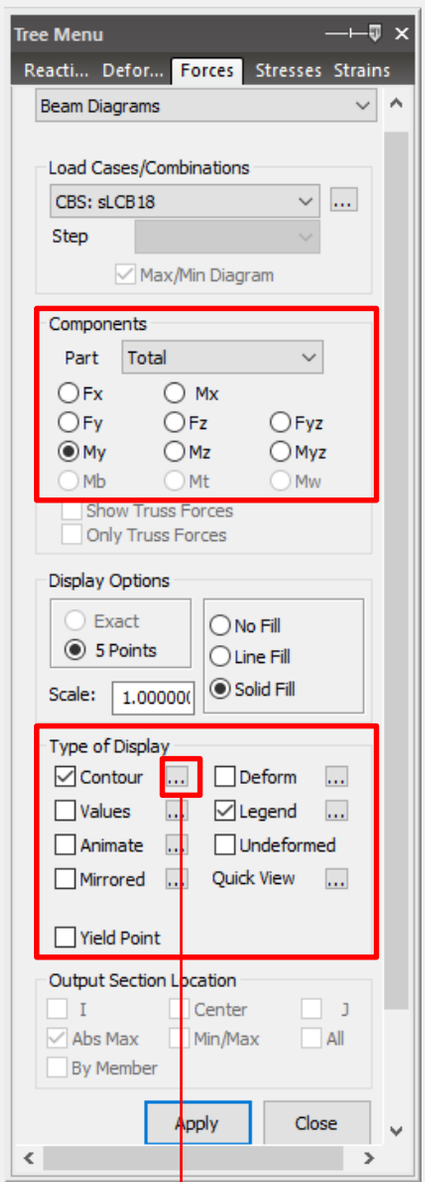
Visualizzazione delle sollecitazioni rispetto agli assi locali degli elementi.



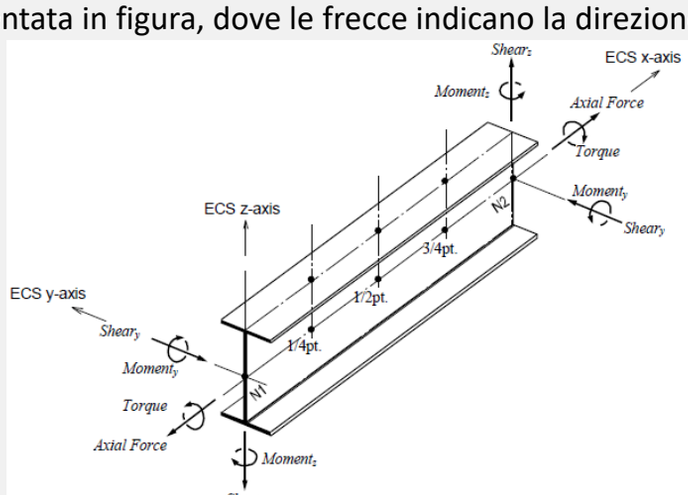
Component: My

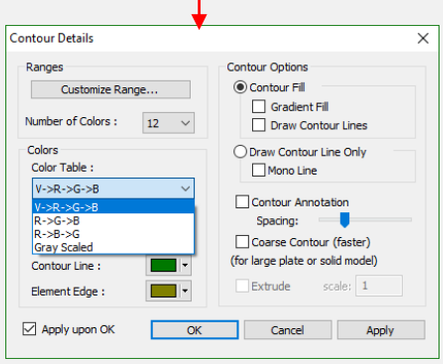


Component: Fz



La convenzione dei segni per gli elementi Beam è quella rappresentata in figura, dove le frecce indicano la direzione positiva.



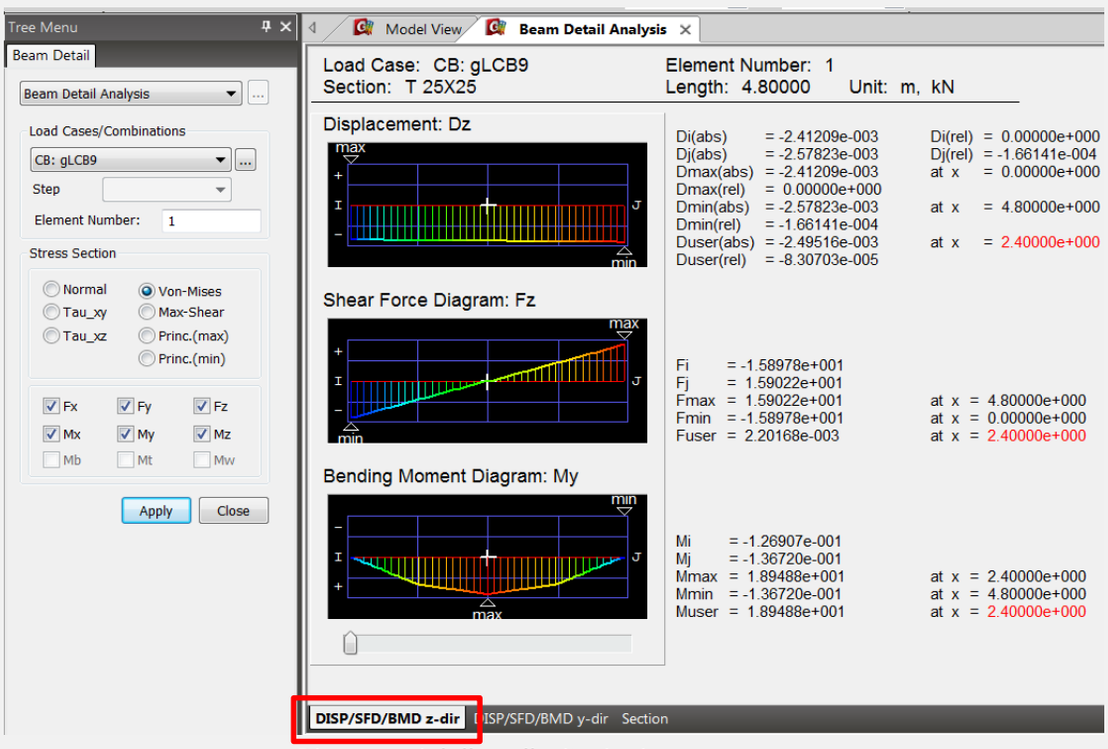


Per modificare i settaggi del contour.

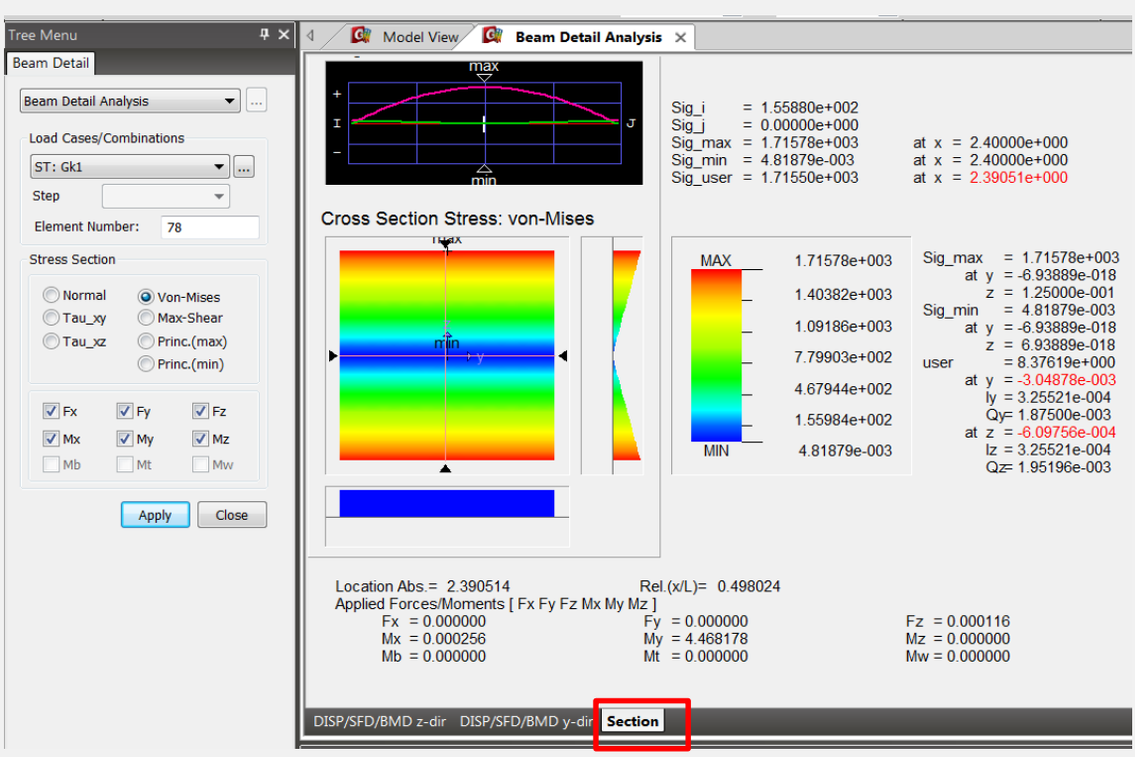
5-3 Analisi dei risultati: Controllo di dettaglio di un elemento

RESULTS → DETAIL → BEAM DETAIL ANALYSIS

E' necessario scegliere elemento e combinazione.



Diagrammi delle sollecitazioni y-y ; z-z

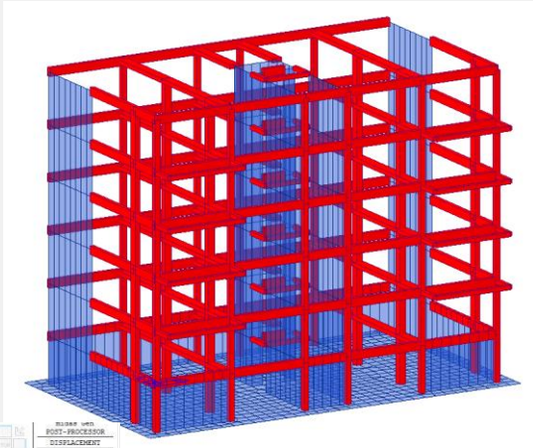


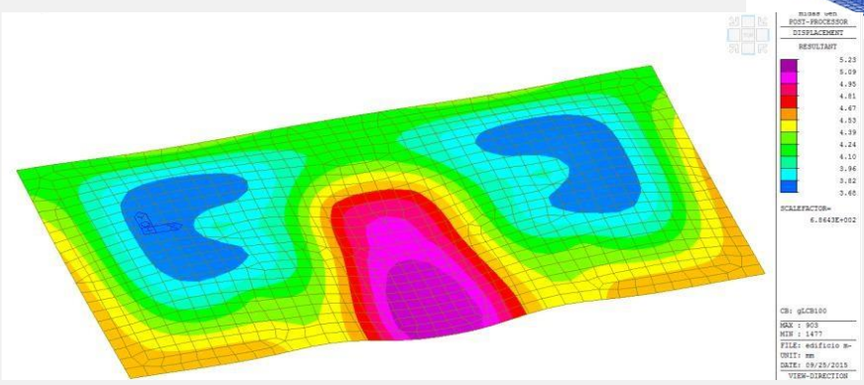
Mappa delle tensioni nella sezione

5-4 Analisi dei risultati: Modello con platea di fondazione

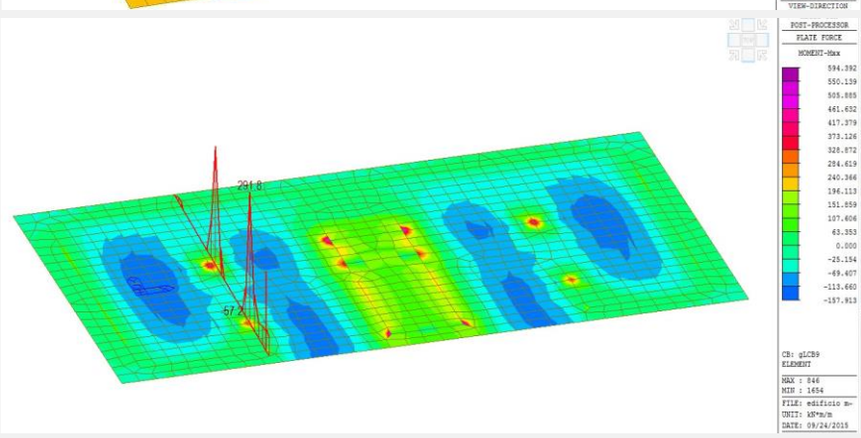
Modellazione platea di fondazione tramite meshatore automatico:
Winkler = 1 Kgf/cm ^{3}

Per approfondimenti su progetto e verifica di platee si rimanda al documento: *Slab wall design.*

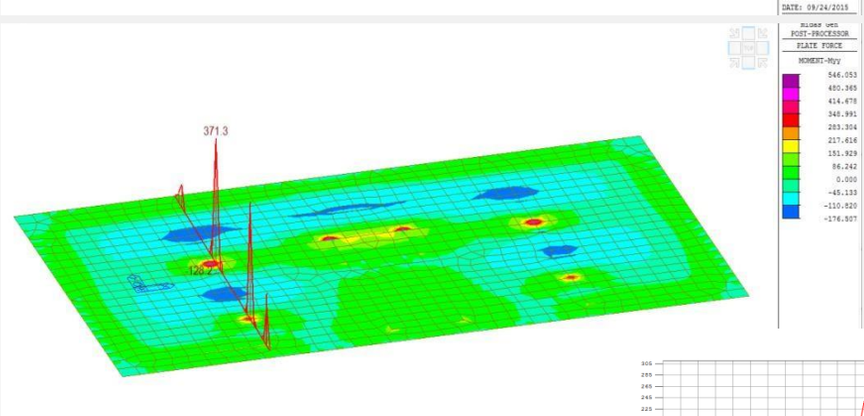




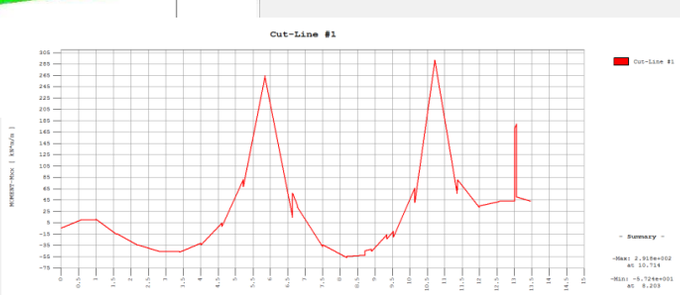
Deformata



Contour: Mxx



Contour: Myy



6-1 Verifiche SLD: Controllo spostamenti interpiano

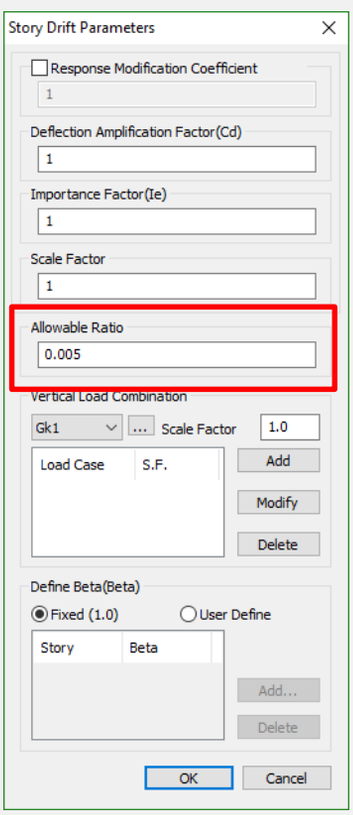
RESULTS → RESULTS TABLES → STORY → STORY DRIFT

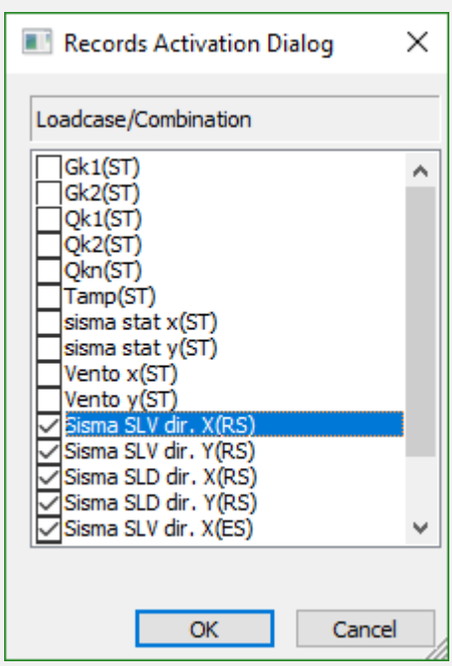
Si esegue la verifica di rigidezza degli elementi strutturali secondo NTC18 - 7.3.6.1 – che si ritiene soddisfatta qualora la deformazione degli elementi strutturali non produca sugli elementi non strutturali danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

a) per tamponature collegate rigidamente alla struttura, che interferiscono con la deformabilità della stessa:

$$qd_r \leq 0{,}0050 \cdot h \quad \text{per tamponature fragili} \qquad [7.3.11a]$$

$$qd_r \leq 0{,}0075 \cdot h \quad \text{per tamponature duttili} \qquad [7.3.11b]$$





Selezione delle combinazioni

Load Case	Story	Story Height (mm)	P-Delta Incremental Factor (ad)	Allowable Story Drift Ratio	Maximum Drift of All Vertical Elements					Drift at the Center of Mass				
					Node	Story Drift (mm)	Modified Drift (mm)	Story Drift Ratio	Remark	Story Drift (mm)	Modified Drift (mm)	Drift Factor (Maximum/ Current)	Story Drift Ratio	Remark
RMC,Not Used, Cd=1, Ie=1.5, Scale Factor=1, Allowable Ratio=0.005 Press right mouse button and click 'Set Story Drift Parameters...' menu to change RMC or Cd/Ie/Scale Factor/Allowable Ratio/Beta!														
Sisma	6F	3100.00	1.00	0.0050	133	2.3712	1.580	0.0005	OK	2.0517	1.3678	1.1557	0.0004	OK
Sisma	5F	3100.00	1.00	0.0050	101	2.4104	1.607	0.0005	OK	2.2063	1.4708	1.0925	0.0005	OK
Sisma	4F	3100.00	1.00	0.0050	69	2.3293	1.552	0.0005	OK	2.1329	1.4219	1.0921	0.0005	OK
Sisma	3F	3100.00	1.00	0.0050	37	2.1056	1.403	0.0005	OK	1.9289	1.2859	1.0917	0.0004	OK
Sisma	2F	3100.00	1.00	0.0050	5	1.5502	1.033	0.0003	OK	1.4211	0.9474	1.0909	0.0003	OK
Sisma	1F	2800.00	1.00	0.0050	196	0.3604	0.240	0.0001	OK	0.3042	0.2028	1.1847	0.0001	OK
Sisma	6F	3100.00	1.00	0.0050	155	0.0001	0.000	0.0000	OK	0.0001	0.0001	1.1212	0.0000	OK
Sisma	5F	3100.00	1.00	0.0050	123	0.0001	0.000	0.0000	OK	0.0001	0.0001	1.2824	0.0000	OK
Sisma	4F	3100.00	1.00	0.0050	91	0.0001	0.000	0.0000	OK	0.0001	0.0001	1.2858	0.0000	OK
Sisma	3F	3100.00	1.00	0.0050	59	0.0001	0.000	0.0000	OK	0.0001	0.0000	1.2974	0.0000	OK
Sisma	2F	3100.00	1.00	0.0050	27	0.0000	0.000	0.0000	OK	0.0000	0.0000	1.2545	0.0000	OK
Sisma	1F	2800.00	1.00	0.0050	269	0.0716	0.047	0.0000	OK	0.0000	0.0000	3175.9213	0.0000	OK
Sisma	6F	3100.00	1.00	0.0050	133	2.3160	1.544	0.0005	OK	2.0049	1.3366	1.1552	0.0004	OK
Sisma	5F	3100.00	1.00	0.0050	101	2.3517	1.567	0.0005	OK	2.1524	1.4349	1.0926	0.0005	OK
Sisma	4F	3100.00	1.00	0.0050	69	2.2679	1.512	0.0005	OK	2.0767	1.3844	1.0921	0.0004	OK
Sisma	3F	3100.00	1.00	0.0050	37	2.0496	1.366	0.0004	OK	1.8777	1.2518	1.0916	0.0004	OK
Sisma	2F	3100.00	1.00	0.0050	5	1.5128	1.008	0.0003	OK	1.3871	0.9247	1.0907	0.0003	OK
Sisma	1F	2800.00	1.00	0.0050	196	0.3527	0.235	0.0001	OK	0.2977	0.1985	1.1848	0.0001	OK
Sisma	6F	3100.00	1.00	0.0050	155	0.0001	0.000	0.0000	OK	0.0001	0.0001	1.1358	0.0000	OK

Story drift

6-2 Verifiche SLD: Controllo della non linearità geometrica

RESULTS → RESULTS TABLES → STORY → STABILITY COEFFICIENT

Effetti delle non linearità geometriche

Le non linearità geometriche sono prese in conto attraverso il fattore θ che, in assenza di più accurate determinazioni, può essere definito come:

$$\theta = \frac{P \cdot d_{ER}}{V \cdot h} \qquad [7.3.3]$$

dove:

P è il carico verticale totale dovuto all'orizzontamento in esame e alla struttura ad esso sovrastante;

d_{ER} è lo spostamento orizzontale medio d'interpiano allo *SLV*, ottenuto come differenza tra lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento considerato e lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento immediatamente sottostante, entrambi valutati come indicato al § 7.3.3.3;

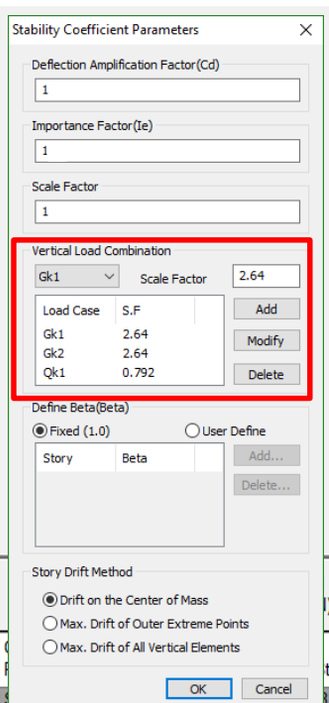
V è la forza orizzontale totale in corrispondenza dell'orizzontamento in esame, derivante dall'analisi lineare con fattore di comportamento q;

h è la distanza tra l'orizzontamento in esame e quello immediatamente sottostante.

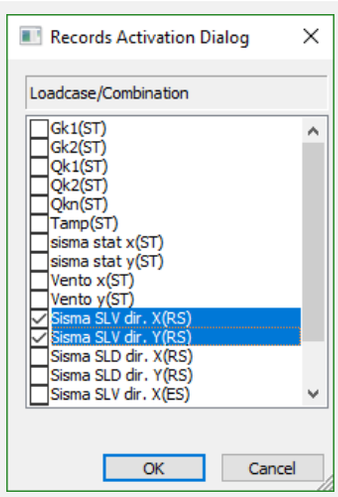
Gli effetti delle non linearità geometriche:

- possono essere trascurati, quando θ è minore di 0,1;
- possono essere presi in conto incrementando gli effetti dell'azione sismica orizzontale di un fattore pari a 1/(1−θ), quando θ è compreso tra 0,1 e 0,2;
- devono essere valutati attraverso un'analisi non lineare, quando θ è compreso tra 0,2 e 0,3.

Il fattore θ non può comunque superare il valore 0,3.



La forza totale V è intesa quella elastica, è quindi necessario moltiplicare i casi di carico per i relativi coeff. di comb. e per il fattore di struttura q.



Selezione delle combinazioni

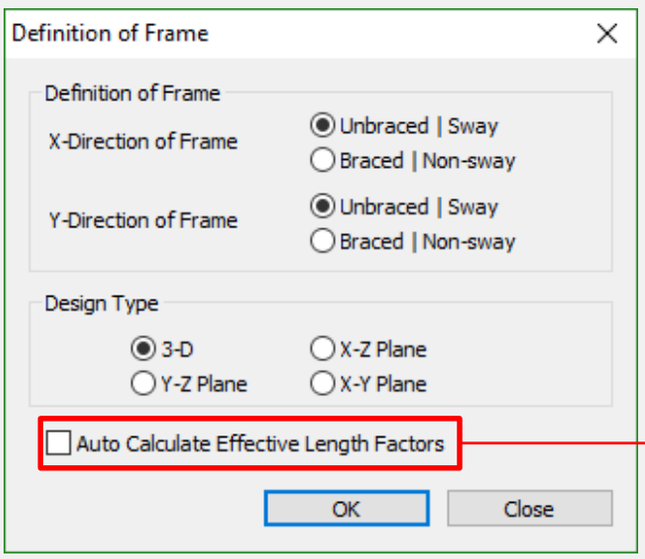
					Load	Story Shear Force (kN)	Modified Story Drift (m)	Beta (Beta)	Stability Coefficient (Theta)	Allowable Limit	Remark	P-Delta Incremental Factor
					tability Coefficient Parameters...' menu to change Cd/Ie/Scale Factor/Beta!							
▶				8944		241.0716	0.0014	1.0000	0.0129	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	5F	3.10	16330.9030		437.4773	0.0015	1.0000	0.0177	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	4F	3.10	25627.9116		570.4643	0.0014	1.0000	0.0206	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	3F	3.10	34924.9202		679.7204	0.0013	1.0000	0.0213	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	2F	3.10	44221.9288		763.4545	0.0009	1.0000	0.0177	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	1F	2.80	55658.0459		813.6091	0.0002	1.0000	0.0050	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	6F	3.10	7033.8944		0.0138	0.0000	1.0000	0.0100	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	5F	3.10	16330.9030		0.0231	0.0000	1.0000	0.0125	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	4F	3.10	25627.9116		0.0311	0.0000	1.0000	0.0136	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	3F	3.10	34924.9202		0.0353	0.0000	1.0000	0.0152	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	2F	3.10	44221.9288		0.0338	0.0000	1.0000	0.0105	0.2500	OK	1.0000
	Sisma S	1F	2.80	55658.0459		0.0336	0.0000	1.0000	0.0089	0.2500	OK	1.0000

Stability coefficient

7-1 General Design: Definition of frame – Effective Lenght Factor

DESIGN → GENERAL DESIGN PARAMETER → DEFINITION OF FRAME

Essendo la struttura 3D, ogni elemento può essere sottoposto a instabilità nelle due direzioni x-y.



Definition of frame

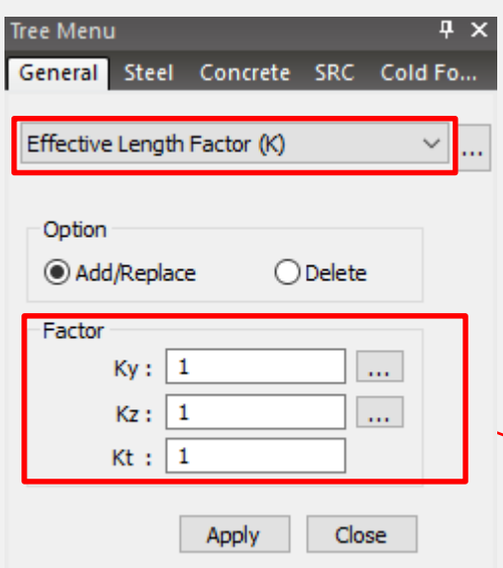
Unbraced / Sway: (nodi liberi di ruotare e traslare) la struttura si comporta come non controventata nei confronti dell'instabilità

Braced / Non-Sway: (nodi liberi di ruotare) la struttura si comporta come controventata nei confronti dell'instabilità

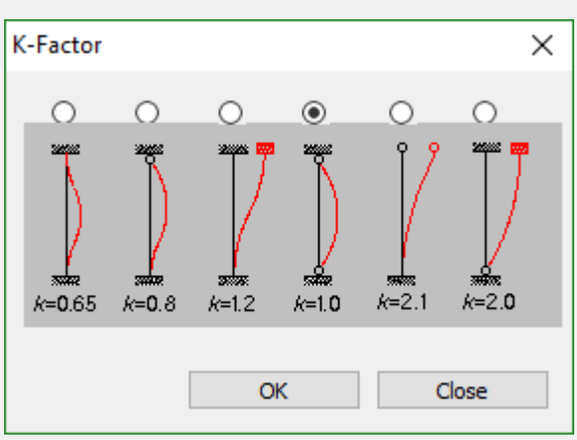
Spuntando calcola automaticamente la lunghezza libera di inflessione dei singoli elementi in base alla rigidezza degli elementi a cui è collegato. Altrimenti è possibile definirla manualmente tramite il comando:

design/ general design parameters/ unbraced lenght

DESIGN → GENERAL DESIGN PARAMETER → EFFECTIVE LENGTH FACTOR



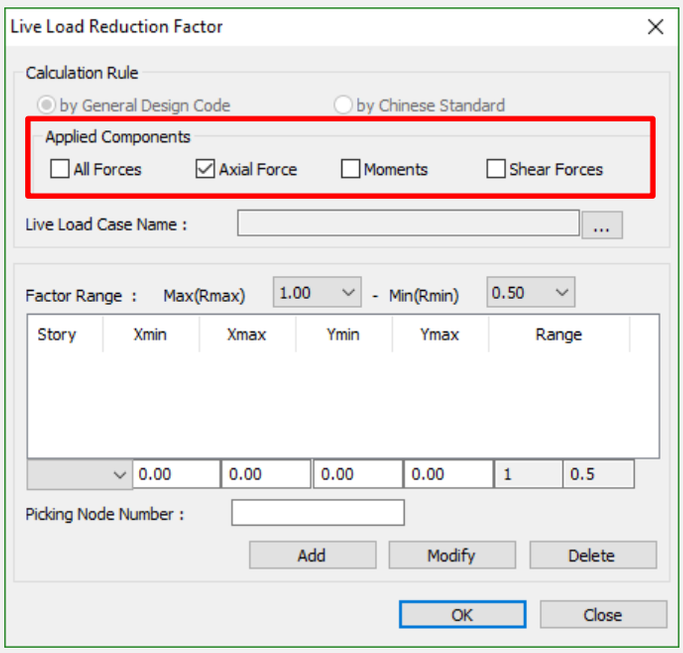
Il software definisce in automatico lo schema statico per il calcolo del coefficiente k. E' possibile inserire manualmente un coefficiente k per il calcolo della lunghezza libera d'inflessione *Lo*.



Altri casi più comuni

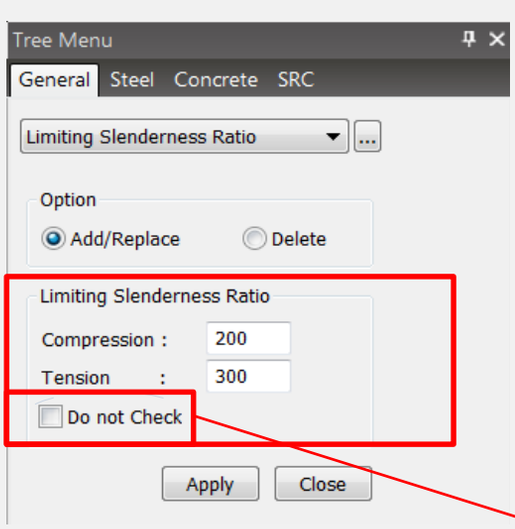
7-2 General Design: Live Load Reduction Factor – Limiting Slenderness Ratio

DESIGN → GENERAL DESIGN PARAMETER → LIVE LOAD REDUCTION FACTOR



Possibilità di ridurre le sollecitazioni sulla quale fare il Design, distinguendo i tre tipi di sollecitazione (N,M,T), o casi di carico.

DESIGN → GENERAL DESIGN PARAMETER → LIMITING SLENDERNESS RATIO



Limiting SlendernessRatio

E' il parametro limite di snellezza *lambda* per la verifica come definito da NTC 18 cap. 4.1.2.3.9

In via approssimata gli effetti del secondo ordine in pilastri singoli possono essere trascurati se la snellezza λ non supera il valore limite

$$\lambda_{lim} = \frac{25}{\sqrt{\nu}} \qquad [4.1.41]$$

dove

$\nu = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd})$ è l'azione assiale adimensionalizzata.

La snellezza è calcolata come rapporto tra la lunghezza libera di inflessione, l_0, ed il raggio d'inerzia, i, della sezione di calcestruzzo non fessurato:

$$\lambda = l_0 / i \qquad [4.1.42]$$

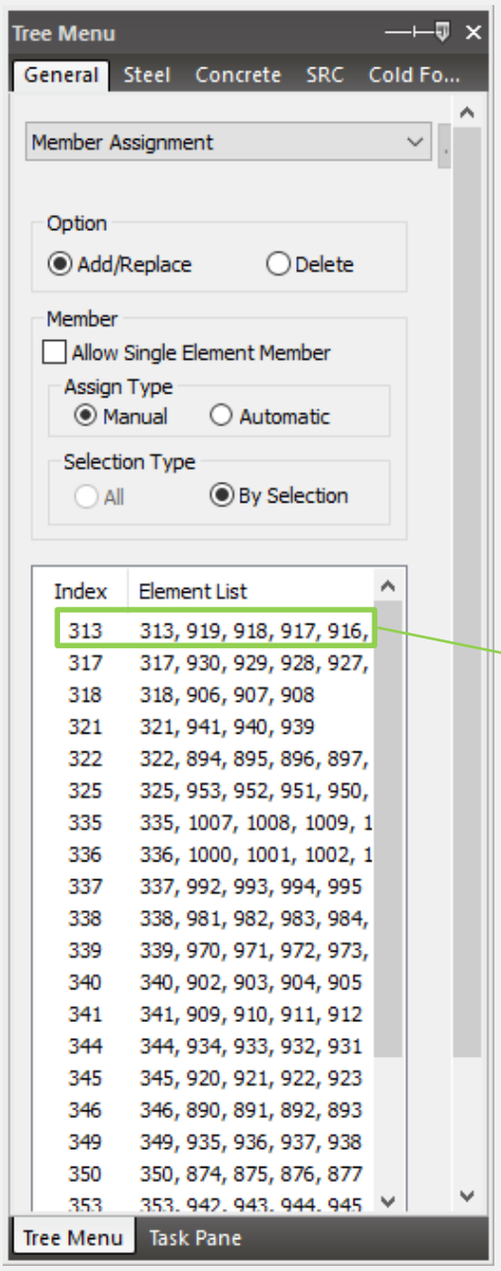
dove in particolare l_0 va definita in base ai vincoli d'estremità ed all'interazione con eventuali elementi contigui.

Per le pareti il calcolo di l_0 deve tenere conto delle condizioni di vincolo sui quattro lati e del rapporto tra le dimensioni principali nel piano.

Se non spuntato il software esegue la verifica a snellezza dell'elemento considerato.

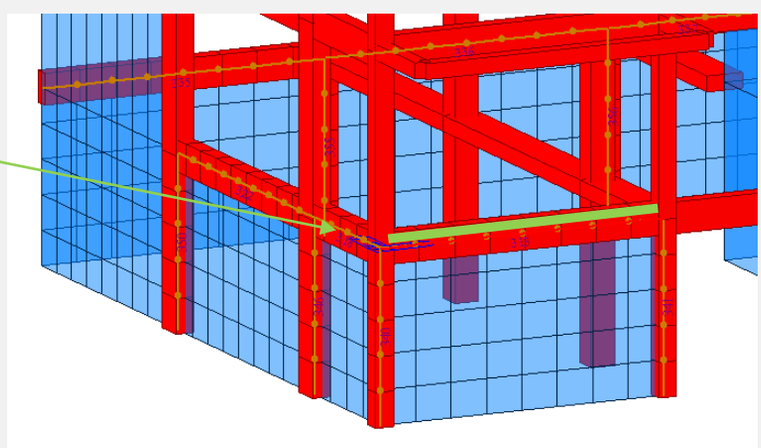
7-3 General Design: Member assignment

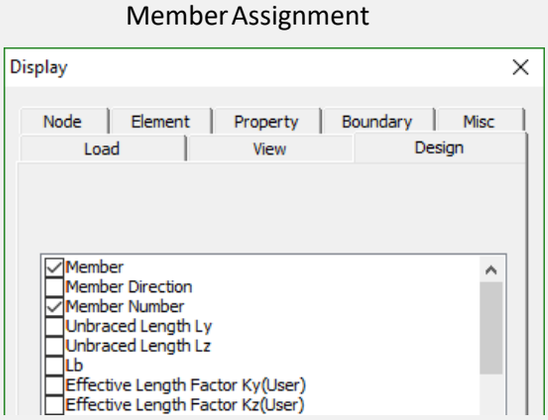
DESIGN → GENERAL DESIGN PARAMETER → MEMBER ASSIGNMENT



Member Assignment

Il programma distingue gli elementi per il design sulla base della loro geometria. Considera di default tutti gli elementi finiti che vanno da nodo a nodo. E' possibile raggruppare elementi beam assegnando loro un unico *'Member'* al fine di considerarli come un'unica entità per il progetto e la verifica. Il nuovo member sarà rinominato con l'ID dell'elemento più basso del gruppo.



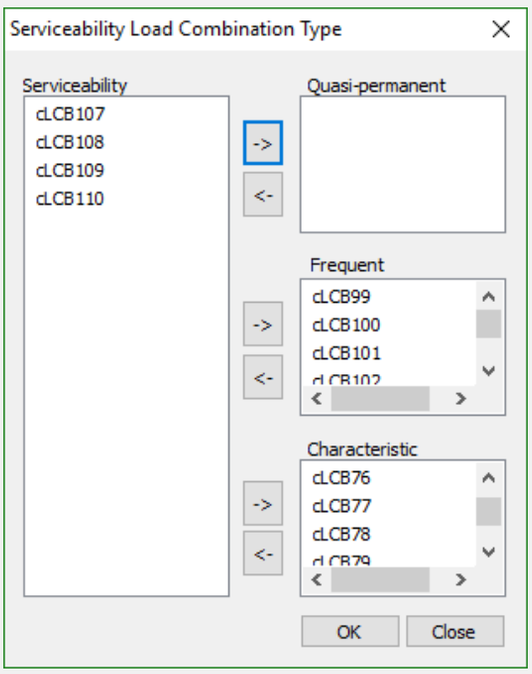


Il comando si rende necessario quando viene meshato un elemento wall/plate adiacente ad un elemento beam, in quanto anche l'elemento beam verrà suddiviso in più elementi per congruenza, ma al fine della verifica dovrà essere considerato come un unico elemento continuo.

7-4 General Design: Serviceability Load Combination Type

DESIGN → GENERAL DESIGN PARAMETER → SERVICEABILITY LOAD COMBINATION TYPE

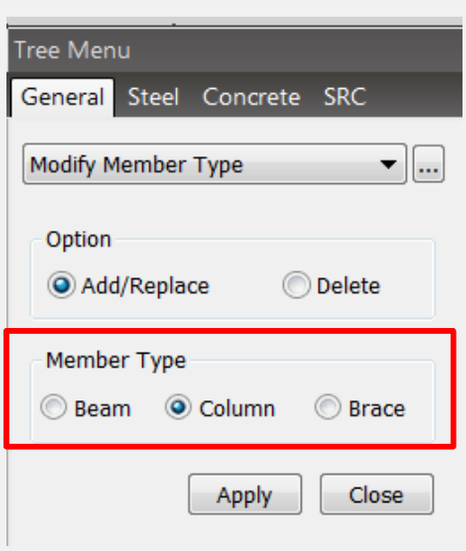
Assegnazione delle relative combinazioni per le verifiche di esercizio.



Serviceability Load combination type

Nel caso in cui vengano inserite combinazioni manualmente e non tramite generazione automatica, queste dovranno essere inserite nella apposita categoria.

DESIGN → GENERAL DESIGN PARAMETER → MODIFY MEMBER TYPE



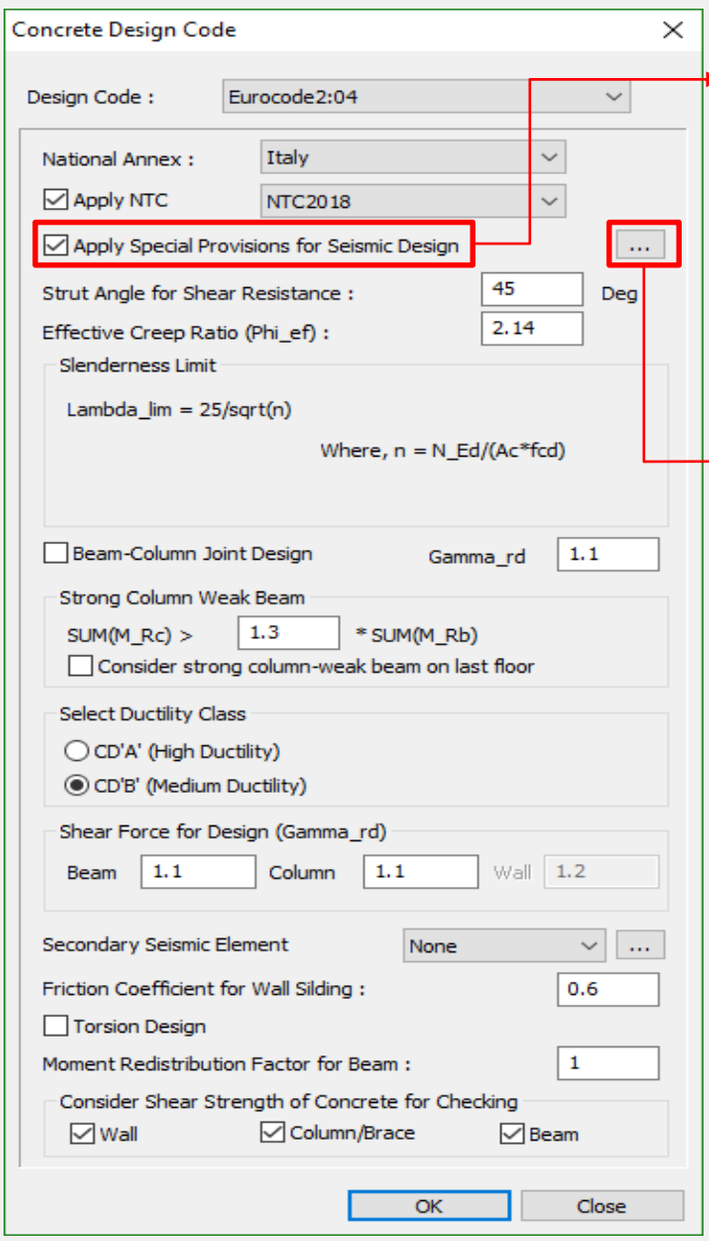
Modify Member Type

Di default il programma considera elementi **"column"** tutti quelli con orientamento verticale ed elementi **"beam"** quelli orizzontali. Il comando si rende necessario qualora vi fosse la presenza di elementi obliqui per i quali il programma non sa dare una tipologia automatica.

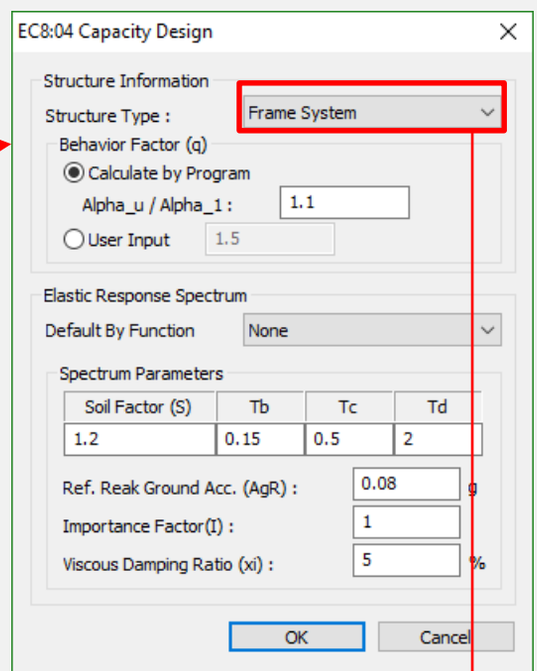
8-1 RC Design: Design Code

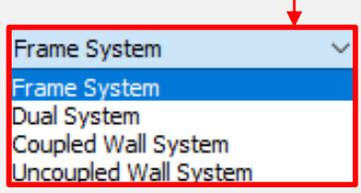
DESIGN > RC DESIGN > DESIGN CODE

Scelta della normativa di riferimento



Attivando questa spunta il software esegue il predimensionamento seguendo la Gerarchia delle resistenze e applica i minimi di armatura secondo il cap 7 delle NTC 2018.



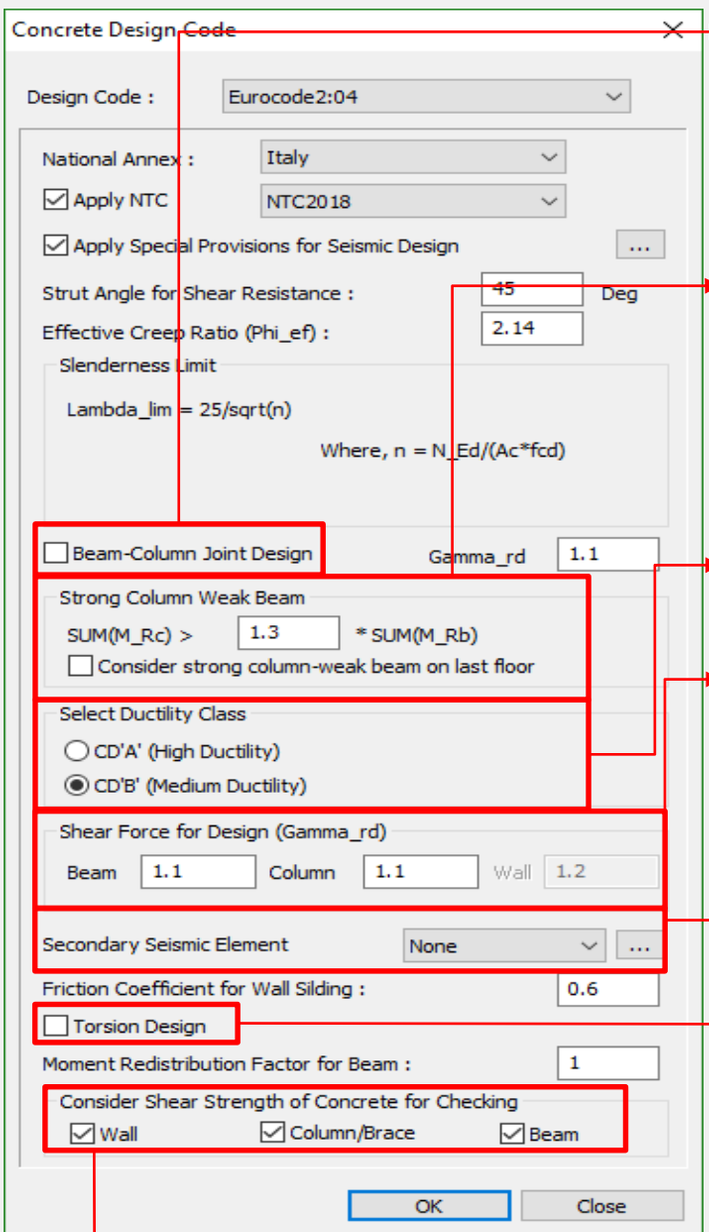


Tramite questa finestra è possibile definire la tipologia strutturale e di conseguenza il fattore di struttura q0.

E' necessario compilare correttamente tutti questi parametri in quanto necessari per determinare i dettagli costruttivi per la duttilità, il cui utilizzo permette di evitare le verifiche di duttilità descritte al capitolo 7.4 delle NTC2018.

DESIGN > RC DESIGN > DESIGN CODE

Scelta della normativa di riferimento



Attivando questa spunta il software esegue il dimensionamento della staffatura del nodo in modo che quest'ultimo venga verificato secondo il paragrafo 7.4.4.3.1 NTC18.

Possibilità di modificare il fattore di sovraresistenza per la gerarchia Colonna – Trave debole, e tramite la spunta considerarla anche in copertura dove non è strettamente necessaria.

Classe di duttilità della struttura.

Fattore di sovraresistenza per la verifica a taglio.

Si può definire un gruppo di elementi come secondari per i quali non viene applicata la regola di gerarchia delle resistenze.

Attivando questa spunta il software inserisce delle barre longitudinali laterali aggiuntive che si prenderanno tutto il contributo della torsione al fine del calcolo del momento torcente resistente.

Calcola il taglio resistente della sezione senza armatura a taglio secondo la formula NTC18 [4.1.23]
Togliendo le spunte il taglio viene calcolato con il contributo dell'armatura a taglio come descritto al paragrafo 4.1.2.3.5.2

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \qquad [4.1.22]$$

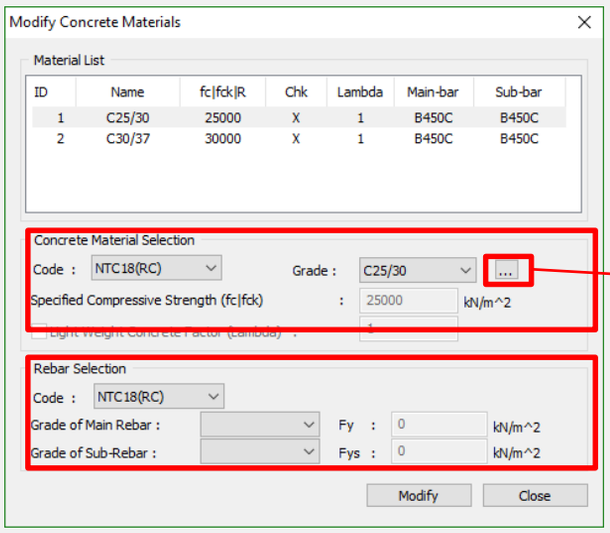
dove V_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con

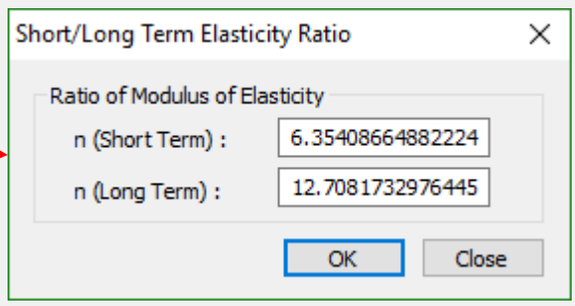
$$V_{Rd} = \max\left\{\left[0{,}18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}\right] b_w \cdot d;\ (v_{min} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d\right\} \qquad [4.1.23]$$

8-2 RC Design: Modify Concrete Materials – Limiting Rebar Ratio

DESIGN > RC DESIGN > MODIFY CONCRETE MATERIALS

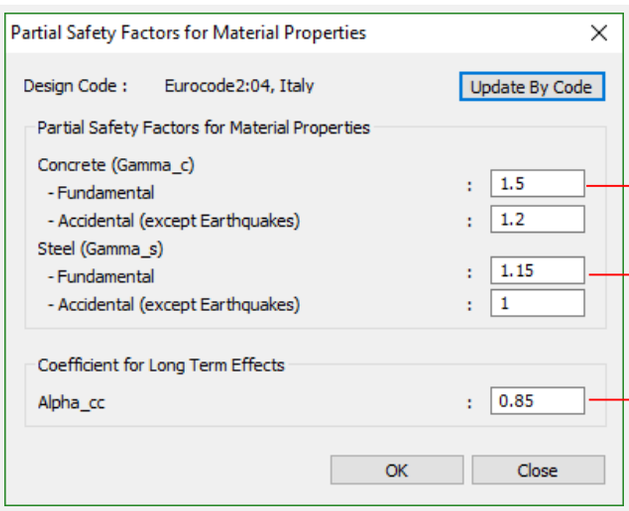


Abbinamento acciaio al Cls utilizzato



Fluage, Coeff di omogeneizzazione n a lungo e breve termine

DESIGN > RC DESIGN > PARTIAL SAFETY FACTORS FOR MATERIAL PROPERTIES



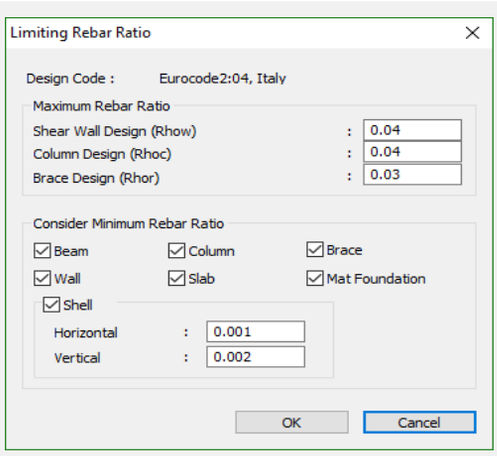
Definizione dei coefficienti parziali di sicurezza secondo NTC 18.

NTC 18 (4.1.2.1.1.1)

NTC 18 (4.1.2.1.1.3)

NTC 18 (4.1.2.1.1.1)

DESIGN > RC DESIGN > LIMITING REBAR RATIO



Limiting Rebar Ratio

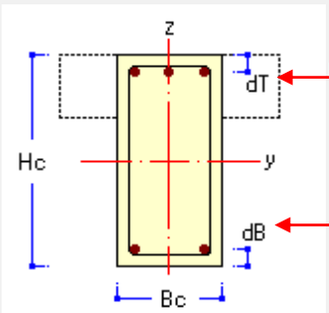
Definizione percentuali di armatura:
I massimi sono definibili manualmente mentre i minimi vengono calcolati automaticamente secondo la normativa precedentemente scelta.

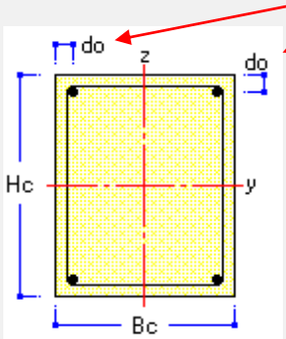
8-3 RC Design: Design Criteria For Rebars

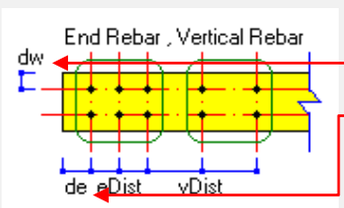
DESIGN → RC DESIGN → DESIGN CRITERIA FOR REBARS

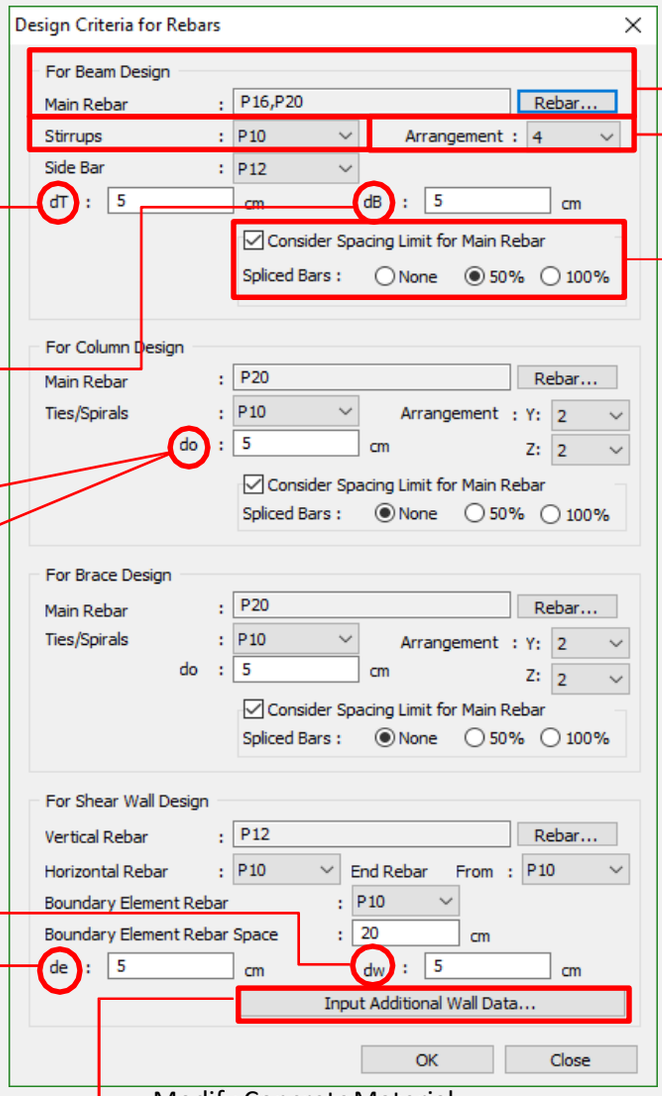
Criteri di design per le barre longitudinali e staffe

Scelta diametri staffe







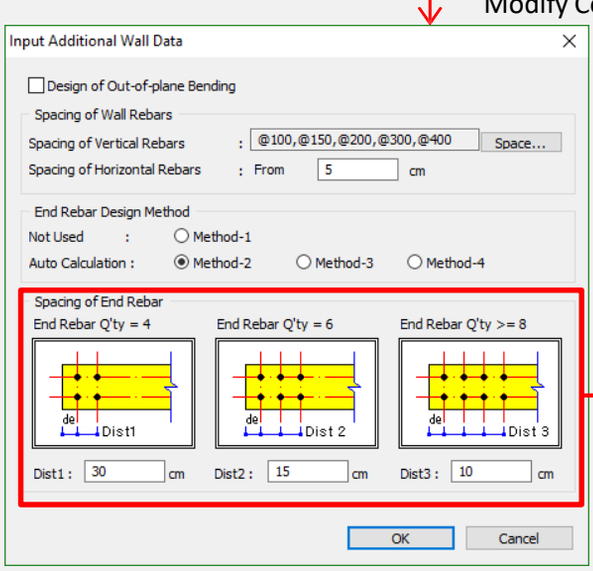


Scelta diametri barre longitudinali

N° Bracci

Senza spunta non verrà considerata la spaziatura tra le barre di armatura. Altrimenti la spaziatura sarà pari allo 0%, 50% o 100% del diametro delle barre, a seconda dell'opzione selezionata.

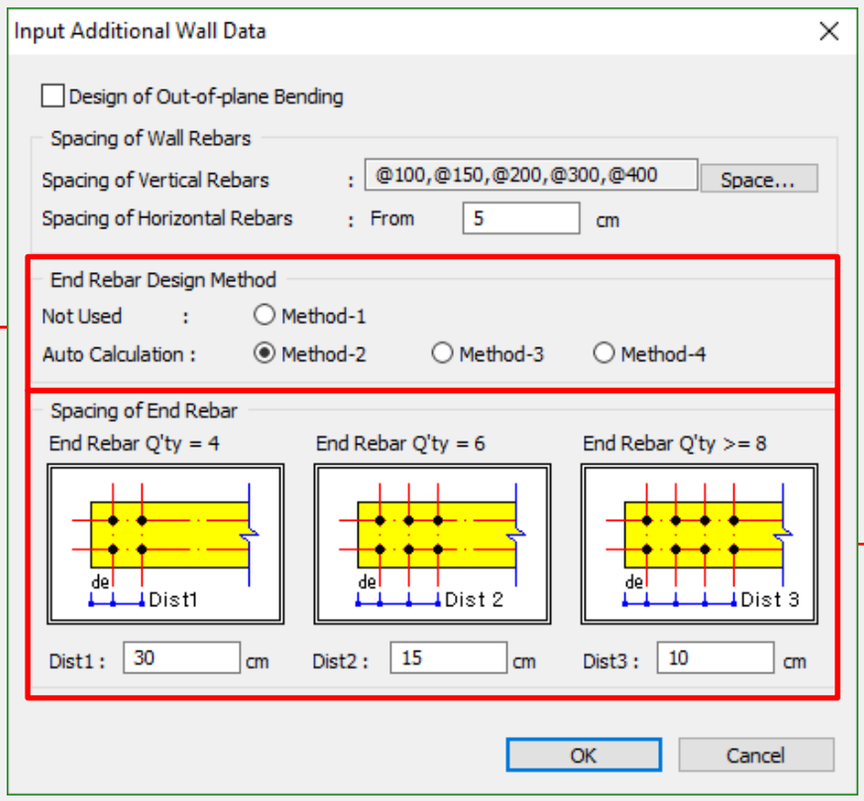
Modify Concrete Material



Tipi di raffittimento

8-4 RC Design: Input Additional Wall Data

Criteri di design per le barre longitudinali e staffe



Spaziatura:

Se le barre sono 4 assumi Dist 1

Se le barre sono 6 assumi Dist 2

Se le barre sono >= 8 assumi Dist 3

Calcolo dell'armatura:

Metodo 1 : Dispone le barre a intervalli regolari lungo tutta la lunghezza del Wall senza alcun raffittimento.

Metodo 2 : Si assume che il Wall sia armato uniformemente lungo tutta la sua lunghezza rendendo necessaria l'aggiunta di barre addizionali che verranno disposte alle estremità e nella parte centrale.

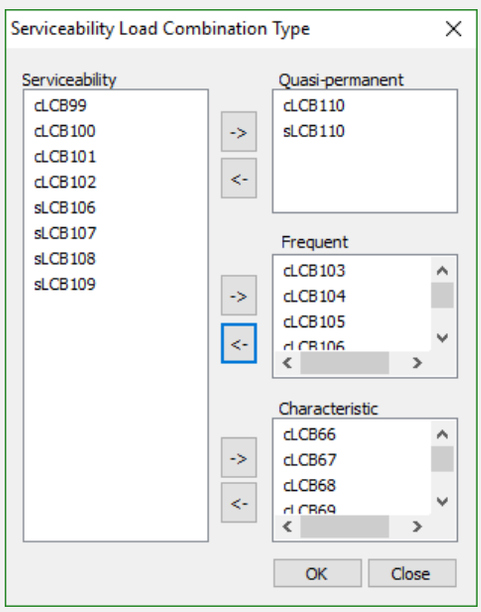
Metodo 3 : Si assume che le barre verticali ad entrambe le estremità del Wall resistano alla totalità dello sforzo assiale e del momento flettente, e che le barre nella parte centrale resistano allo sforzo di taglio.

In fase di verifica tutte le barre presenti verrano considerate reagenti sia a taglio che a momento, indipendentemente dal metodo utilizzato in fase di design.

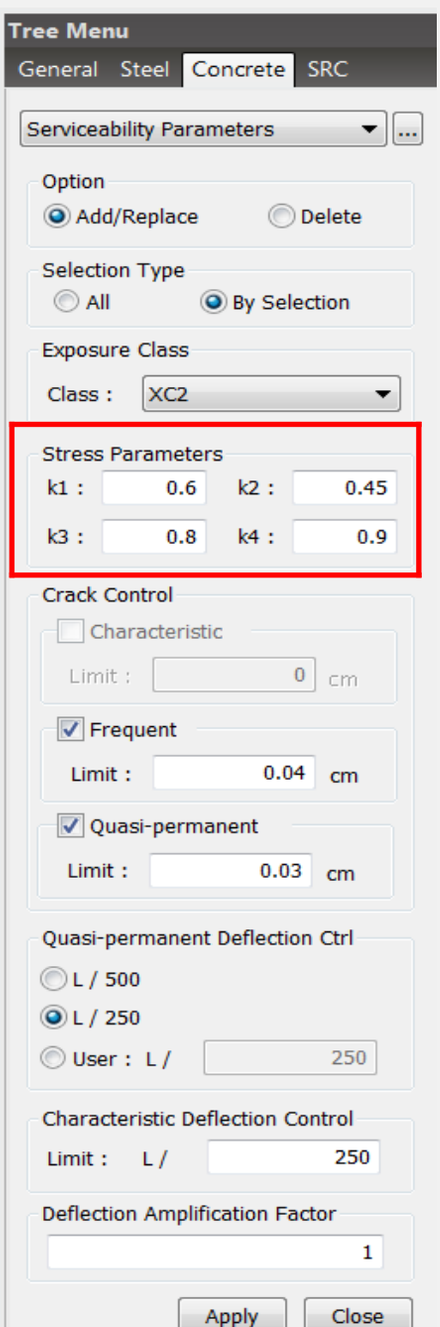
8-5 RC Design: Parametri per la verifica agli stati limiti di esercizio

DESIGN → RC DESIGN → SERVICEABILITY PARAMETER

E' necessario aver settato le opportune combinazioni (**design/general design parameter/Serviceability Load Combination Type**)



1) Verifica a deformabilità NTC 18 cap 4.1.2.2.2
2) Verifica a fessurazione NTC 18 cap 4.1.2.2.4.5
3) Verifica a tensioni in esercizio NTC 18 cap 4.1.2.2.5



Serviceability Parameters

Classe di esposizione (Tab. 4.1.III NTC18)

Verifica tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione (Tab.A.1.IV)

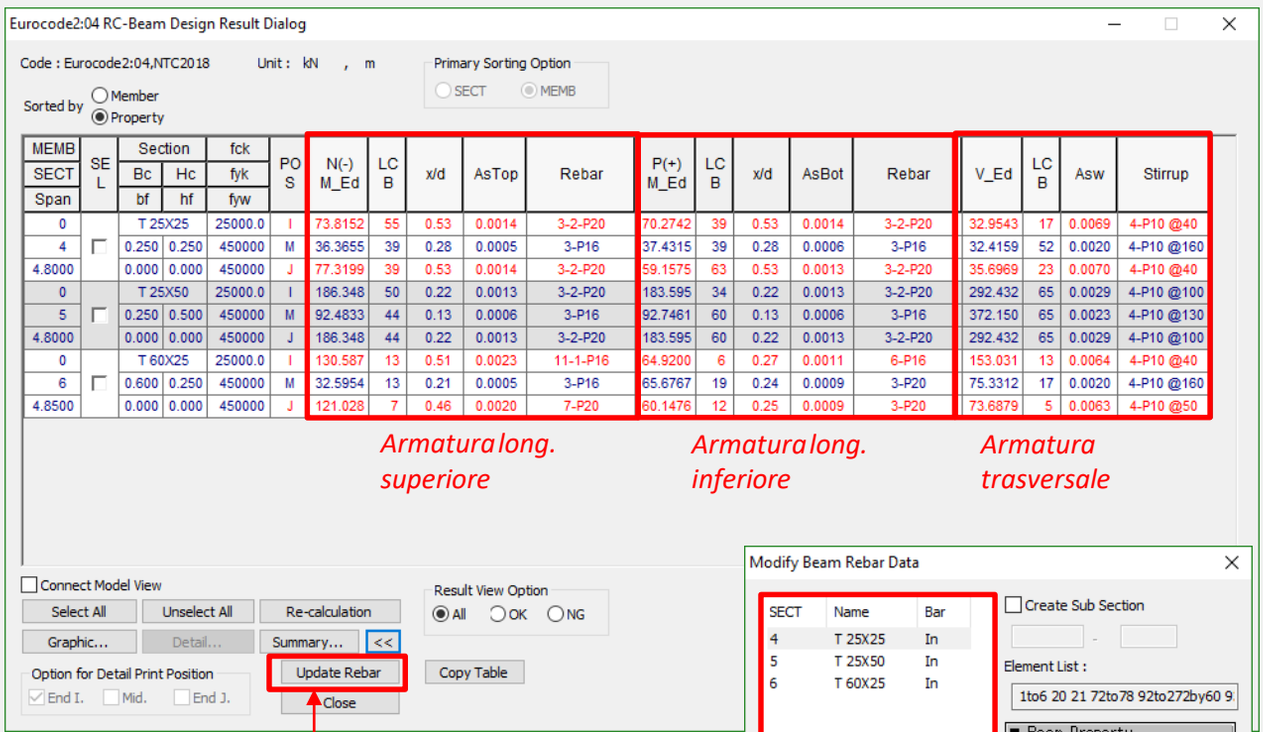
Verifica deformazione

Stress Parameters:

K_1 = 0.6 Combinazione caratteristica (rara)
K_2 = 0.45 Combinazione quasi permanente
K_3 = 0.8 Combinazione caratteristica (rara)

DESIGN → RC DESIGN → CONCRETE CODE DESIGN → BEAM DESIGN

Progetto delle armature secondo NTC 18.



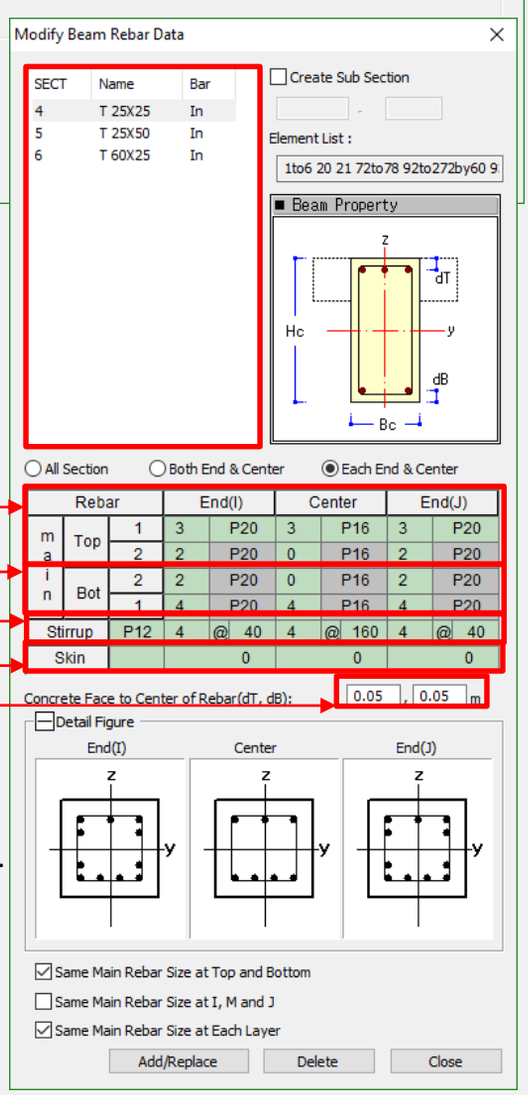
MEMB / SECT / Span	SEL	Section Bc / bf	Hc / hf	fck / fyk / fyw	POS	N(-) M_Ed	LCB	x/d	AsTop	Rebar	P(+) M_Ed	LCB	x/d	AsBot	Rebar	V_Ed	LCB	Asw	Stirrup
0		T 25X25		25000.0	I	73.8152	55	0.53	0.0014	3-2-P20	70.2742	39	0.53	0.0014	3-2-P20	32.9543	17	0.0069	4-P10 @40
4		0.250	0.250	450000	M	36.3655	39	0.28	0.0005	3-P16	37.4315	39	0.28	0.0006	3-P16	32.4159	52	0.0020	4-P10 @160
4.8000		0.000	0.000	450000	J	77.3199	39	0.53	0.0014	3-2-P20	59.1575	63	0.53	0.0013	3-2-P20	35.6969	23	0.0070	4-P10 @40
0		T 25X50		25000.0	I	186.348	50	0.22	0.0013	3-2-P20	183.595	34	0.22	0.0013	3-2-P20	292.432	65	0.0029	4-P10 @100
5		0.250	0.500	450000	M	92.4833	44	0.13	0.0006	3-P16	92.7461	60	0.13	0.0006	3-P16	372.150	65	0.0023	4-P10 @130
4.8000		0.000	0.000	450000	J	186.348	44	0.22	0.0013	3-2-P20	183.595	60	0.22	0.0013	3-2-P20	292.432	65	0.0029	4-P10 @100
0		T 60X25		25000.0	I	130.587	13	0.51	0.0023	11-1-P16	64.9200	6	0.27	0.0011	6-P16	153.031	13	0.0064	4-P10 @40
6		0.600	0.250	450000	M	32.5954	13	0.21	0.0005	3-P16	65.6767	19	0.24	0.0009	3-P20	75.3312	17	0.0020	4-P10 @160
4.8500		0.000	0.000	450000	J	121.028	7	0.46	0.0020	7-P20	60.1476	12	0.25	0.0009	3-P20	73.6879	5	0.0063	4-P10 @50

Armatura long. superiore

Armatura long. inferiore

Armatura trasversale

Memorizza l'armatura proposta dal software



Armatura superiore

Armatura inferiore

Staffe

Armatura laterale

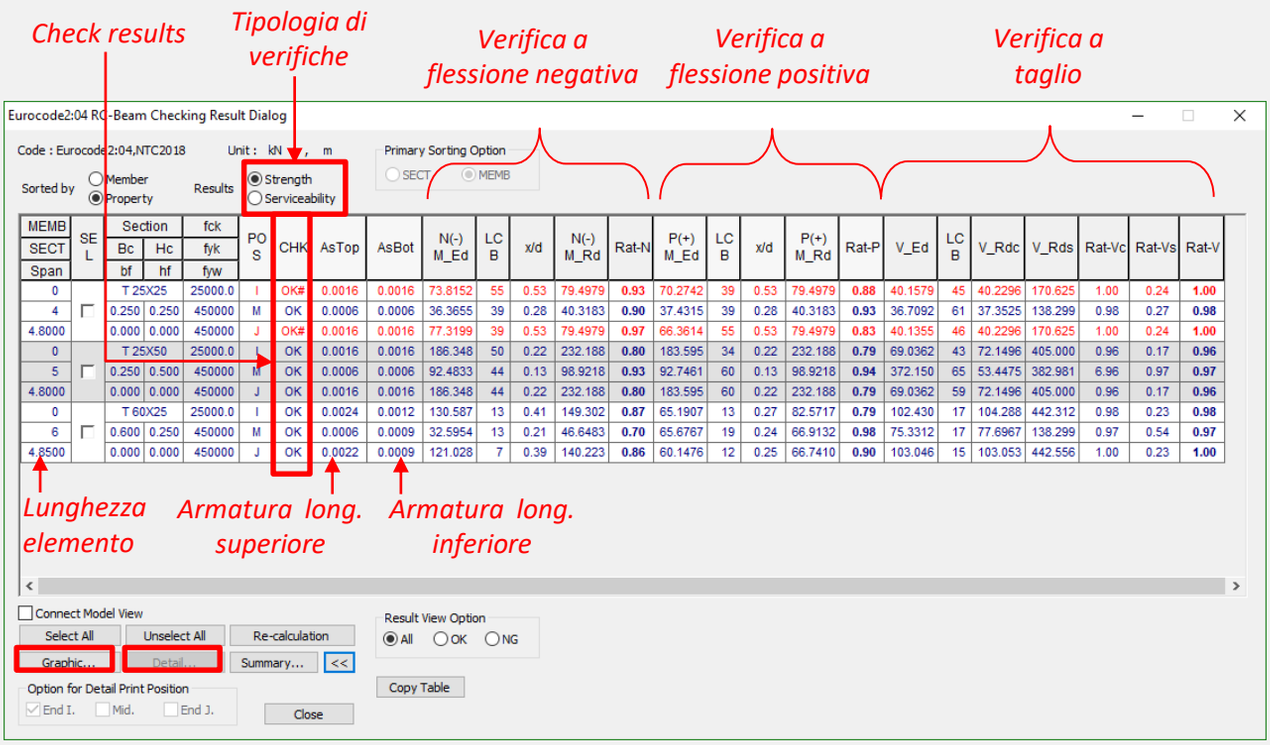
Copriferro

Possibilità di modificare l'armatura per tipologia di sezione.
La stessa procedura vale per il design dei column e wall.

8-7 RC Design: Concrete Code Check (strength)

DESIGN → RC DESIGN → CONCRETE CODE CHECK → BEAM CHECKING

Verifiche di resistenza sezionali (SLU) secondo NTC 18.



Beam Checking Result Dialog

Check Legend:

*"**OK**": Strength verification results satisfy the design strength for the factored negative moment, positive moment and shear force.*

*"**OK#**": Strength verification results satisfy the design strength for the factored negative moment, positive moment and shear force, but does not satisfy the x/d demand as specified in NTC 18 cap 4.1.1.1.*

*"**N****": Strength verification results do not satisfy the design strength for the factored negative moment.*

*"***P**": Strength verification results do not satisfy the design strength for the factored positive moment.*

*"***V": Strength verification results do not satisfy the design strength for the factored shear Force.*

*"**NP***": Strength verification results do not satisfy the design strength for the factored negative and positive moments.*

*"***PV**": Strength verification results do not satisfy the design strength for the factored positive moment and shear force.*

*"**N*V**": Strength verification results do not satisfy the design strength for the factored negative moment and shear force.*

*"**NPV**": Strength verification results do not satisfy the design strength for the factored negative moment, positive moment and shear force.*

8-8 RC Design: Concrete Code Check (Graphic - Detail)

DESIGN → RC DESIGN → CONCRETE CODE CHECK → GRAPHIC/DETAIL

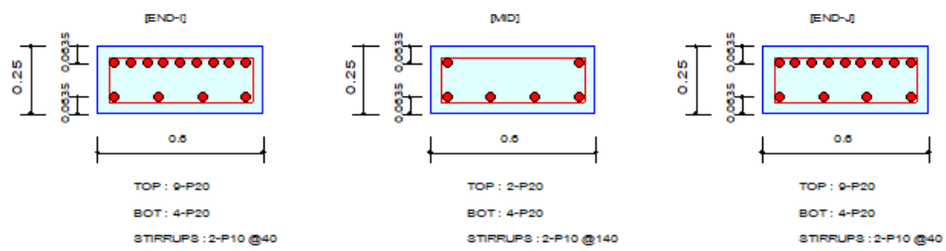
Si riporta qui di seguito la schermata esplicativa delle verifiche svolte per ogni elemento:

1. Design Information

Caratteristiche sezione

Design Code	: Eurocode2:04 & NTC2018	Unit System	: kN, m
Material Data	: fck = 25000, fyk = 400000, fyw = 400000 KPa		
Section Property	: T60X25 (No : 6)	Beam Span	: 4.85 m

2. Section Diagram



3. Bending Moment Capacity

Verifica flessione

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	13	13	7
Moment (M_Ed)	125.87	31.47	119.55
Factored Strength (M_Rd)	139.51	44.49	138.86
Check Ratio (M_Ed/M_Rd)	0.9022	0.7073	0.8610
Neutral Axis (x/d)	0.4883	0.2781	0.5508
(+) Load Combination No.	13	19	7
Moment (M_Ed)	62.84	65.16	58.88
Factored Strength (M_Rd)	72.52	72.02	72.52
Check Ratio (M_Ed/M_Rd)	0.8666	0.9048	0.8120
Neutral Axis (x/d)	0.3306	0.3145	0.3306
Required Rebar Top (As_top)	0.0028	0.0005	0.0026
Required Rebar Bot (As_bot)	0.0012	0.0011	0.0012

```
==============================================================================
   [[[*]]]   ANALYZE POSITIVE BENDING MOMENT CAPACITY.
==============================================================================

     ( ). Compute design parameters.
          -. lambda = 0.8000   ( fck <= 50 MPa.)
          -. eta    = 1.0000   ( fck <= 50 MPa.)
          -. Gamma_c = 1.50   (for Fundamental or Earthquakes).
          -. Alpha_cc= 0.85   (Default or User Defined).
          -. fcd     = Alpha_cc * fck / Gamma_c =   14166.667 KPa.
          -. Gamma_s = 1.15   (for Fundamental or Earthquakes).
          -. fyd     = fyk / Gamma_s =  391304.348 KPa.

     ( ). Check area of tensile reinforcement (Rectangular-beam).
          -. fyk     = 450000.0000 KPa.
          -. fctm    = 0.30 * fck^(2/3)         =   2564.9639 KPa.
          -. As.min  = MAX[ 0.26*(fctm/fyk)*bt*d, 0.0013*bt*d ]    =     0.0002 m^2.
          -. As.max  = 0.04 * (Bc*Hc)                    =     0.0060 m^2.
          -. As.prov =     0.0004 m^2.
          -. As.min < As.prov < As.max  --->  O.K !
```

Procedura di calcolo:

1° Assume armatura sulla base dei valori minimi da norma

2° Calcola posizione asse neutro

Fs = Fc con x incognito

3° Calcolo Mrd lato cls

NTC 18 cap 4.1.2.3

```
     ( ). Compute design parameters.
          -. lambda = 0.8000   ( fck <= 50 MPa.)
          -. eta    = 1.0000   ( fck <= 50 MPa.)
          -. Gamma_c = 1.50   (for Fundamental or Earthquakes).
          -. Alpha_cc= 1.00   (Default or User Defined).
          -. fcd     = Alpha_cc * fck / Gamma_c =   16666.667 KPa.
          -. Gamma_s = 1.15   (for Fundamental or Earthquakes).
          -. fyd     = fyk / Gamma_s =  347826.087 KPa.

     ( ). Check area of tensile reinforcement (Rectangular-beam).
          -. As.max1 =     0.0025 m^2.
          -. As.max2 = 3.5/fyk * (Bc*Hc) =     0.0013 m^2.
          -. As.max  = As.max1 + As.max2 =     0.0038 m^2.
          -. As.min  = 1.4/fyk * (Bc*Hc) =     0.0005 m^2.
          -. As.prov =     0.0013 m^2.
          -. As.min < As.prov < As.max  --->  O.K !
```

```
     ( ). Compute ultimate moment of resistance.
          -. a      = lambda * X              =    0.0492 m.
          -. Cc     = eta*fcd*Bc*a            =     492.477 kN.
          -. Cs     = fsc * Asc               =    -55.455 kN.
          -. M_Rd   = Cc*(d-a/2) + Cs*(d-dc)  =      72.899 kN-m.

     ( ). Check ratio of positive moment resistance.
          -. Rat_P = M_Ed/M_Rd =    0.781  <  1.000  --->  O.K.

     ( ). Check ratio of neutral axis depth to effective depth.
          -. x/d         =    0.330
          -. Limit(x/d)  =    0.450  ( fck <= 50 MPa.)
          -. x/d    <    0.450  --->  O.K
```

8-8 RC Design: Concrete Code Check (Graphic - Detail)

DESIGN > RC DESIGN > RC CODE CHECK > GRAPHIC/DETAIL

Si riporta qui di seguito la schermata esplicativa delle verifiche svolte per ogni elemento:

4. Shear Capacity

Verifica a taglio

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	23	13	28
Factored Shear Force (V_Ed)	64.58	78.69	64.76
Shear Strength by Conc.(V_Rdc)	64.78	81.62	64.78
Shear Strength by Rebar.(V_Rds)	229.27	65.51	229.27
Shear Strength by Rebar.(V_Rdmax)	419.62	419.62	419.62
Required Shear Reinf. (Asw)	0.0034	0.0011	0.0034
Required Stirrups Spacing	2-P10 @40	2-P10 @140	2-P10 @40
Shear Ratio by Conc	0.9968	0.9640	0.9996
Shear Ratio by (V_Rds ; V_Rdmax)	0.2817	1.2012	0.2825
Check Ratio	0.9968	0.9640	0.9996

```
================================================================================
   [[[*]]]   ANALYZE SHEAR CAPACITY.
================================================================================

     ( ). Compute design parameters.
          -. Gamma_c = 1.50  (for Fundamental or Earthquakes).
          -. Alpha_cc= 0.85  (Default or User Defined).
          -. fcd     = Alpha_cc * fck / Gamma_c =   14166.667 KPa.
          -. Gamma_s = 1.15  (for Fundamental or Earthquakes).
          -. fywd    = fyw / Gamma_s =  391304.348 KPa.

     ( ). Calculate shear strength of concrete.
          -. V_Ed    =     145.487 kN.
          -. bw      =    0.600 m.
          -. k       = MIN[ 1.0+sqrt(200/d), 2.0 ]  =      2.0000  (by d unit is mm).
          -. Asl     =     0.00251 m^2.  (Area of tensile reinforcement).
          -. Rhol    = Asl/(bw*d)   =     0.02000
          -. C_Rdc   = 0.18/Gamma_c =      0.1200
          -. V_Rdc1  = [ C_Rdc*k*(100*Rhol*fck)^(1/3) ]*bw*d =     106.100 kN.
          -. V_Rdc2  = [ 0.035*k^(3/2)*sqrt(fck) ]*bw*d      =      59.397 kN.
          -. V_Rdc   = MAX[ V_Rdc1, V_Rdc2 ] =     106.100 kN.
          -. Vwd     = V_Ed (V_Rdc < V_Ed)  --->  Shear reinforcement is required.

    ( ). Check crushing of concrete.
         -. Nu     =      0.5000  (fck <= 70MPa)
         -. Nul    = Nu =       0.5000
         -. Theta  =     45.0000 (deg)
         -. V_RdMax= 1.0*Nul*fcd/{cot(Theta)+tan(Theta)}*bw*0.9*d =     419.625 kN.
         -. V_Ed / V_RdMax =      0.3438 <= 1.0 ---> Acceptable !!!

    ( ). Calculate required shear reinforcement. ( Aswl =  0.00008 m^2. )
         -. Asw/sl = Vwd / (0.9*fywd*d) =     0.00247 m^2/m.
         -. Calculate spacing sl        =     0.06357 m.
         -. Rhow   =     0.00100  (by concrete and steel classes).
         -. Smax1  = Asw / (bw*Rhow)    =     0.26180 m.
         -. Smax2  = MIN[ d/4, 24*Sbar, 8*Dbar, 225 mm ]  =     0.04663 m.
         -. Applied spacing s   = MIN[ sl, Smax1, Smax2 ] =     0.04663 m.
         -. N_leg  =  2
         -. Asw/s  = N_leg*Aswl / s            =     0.00337 m^2/m.
         -. Nu     =      0.5000  (fck <= 70MPa)
         -. Nul    = Nu =       0.5000
         -. Aswmax/s = 0.5*1.0*Nul*fcd*bw/fywd =     0.00719 m^2/m.

    ( ). Check ratio of shear capacity.
         -. V_Ed / V_Rdc   =    1.458
         -. V_Ed / V_Rds   =    0.629
         -. V_Ed / V_RdMax =    0.344
         -. Rat_V          =    0.629
```

NTC 18 4.1.2.3.5.1 Check resistenza sezione non armata a taglio

Controllo rottura lato cls

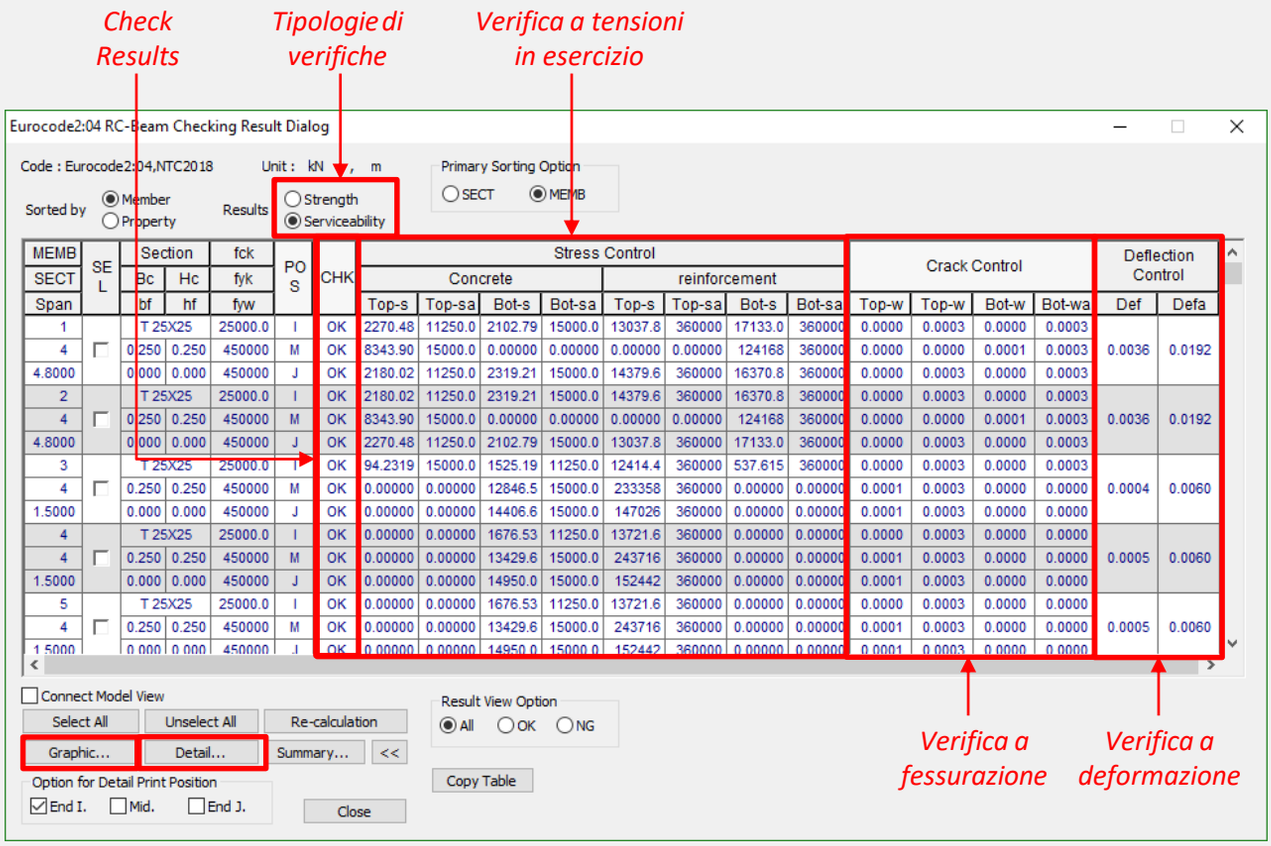
NTC 18 4.1.6.1.1 Calcolo del passo delle staffe

MIDAS/TextEditor

8-9 RC Design: Concrete Code Check (serviceability)

DESIGN → RC DESIGN → CONCRETE CODE CHECK → BEAM CHECKING

Verifiche agli stati limite di esercizio secondo NTC 18.



Legend:

Top-s: Tensione superiore nel cls/acciaio (ricavata dal momento negativo)

Top-sa: Tensione superiore ammissibile nel cls/acciaio

Bot-s: Tensione inferiore nel cls /acciaio (ricavata dal momento positivo)

Bot-sa: Tensione inferiore ammissibile nel cls/acciaio

Top-w: apertura fessurazione superiore nel cls

Top-wa: apertura fessurazione ammissibile superiore nel cls

Bot-w: apertura fessurazione inferiore nel cls

Bot-wa: apertura fessurazione ammissibile inferiore nel cls

Def: deformazione

Defa: deformazione ammissibile

8-9 RC Design: Concrete Code Check (serviceability)

DESIGN → RC DESIGN → CONCRETE CODE CHECK → BEAM CHECKING

Verifiche agli stati limite di esercizio secondo NTC 18.

```
 ( ). Compute ultimate moment of resistance.
      -. a      = lambda * X              =   59.0914 mm.
      -. Cc     = eta*fcd*Bc*a            =      209.282 kN.
      -. Cs     = fsc * Asc               =      103.732 kN.
      -. M_Rd   = Cc*(d-a/2) + Cs*(d-dc)  =   125214.784 kN-mm.

 ( ). Check ratio of negative moment resistance.
      -. Rat_N = M_Ed/M_Rd =    0.191  <  1.000  --->  O.K.

 ( ). Check ratio of neutral axis depth to effective depth.
      -. x/d          =    0.168

( ). Calculate stress of top.
     -. LCB    =  113  (Characteristic)
     -. k1     =     0.60000
     -. k3     =     0.80000

     ( Assumed Uncracked Section )

     -. Mu     =    11321.24 kN-mm.
     -. n      =    12.70817( Long Term ).
     -. fctm   = 0.30 * fck^(2/3)         =     0.00256 kN/mm^2.
     -. fr1    = (1.6 - H/1000) * fctm    =     0.00282 kN/mm^2.
     -. fr     = MAX[ fctm, fr1 ]         =     0.00282 kN/mm^2.
     -. z_bar  =    250.00000 mm.
     -. Iyy    = 3.28202e+009 mm^4.

     -. Ss_con (Tens.) = Mu*(H-z_bar)/Iyy   =     0.00086 kN/mm^2.
     -. Ss_con (Tens.) < fr    ---> UnCracked Section !

     -. Ss_con (Comp.) = Mu*(z_bar)/Iyy =     0.00086 kN/mm^2.
     -. Ss_con (Comp.) < k1*fck =     0.01500 kN/mm^2.   ---> O.K !

     -. Ss_stl = Mu*(d-z_bar)*n/Iyy =     0.00832 kN/mm^2.
     -. Ss_stl < k3*fyk =       0.36000 kN/mm^2.   ---> O.K !
```

Risultante lato cls
Risultante lato acciaio
Calcolo momento resistente

Combinazione di verifica secondo NTC 18 (4.1.2.2.5)

Nell'ipotesi di sezione non fessurata, la tensione nel cls dovuta dal M non supera quella resistente

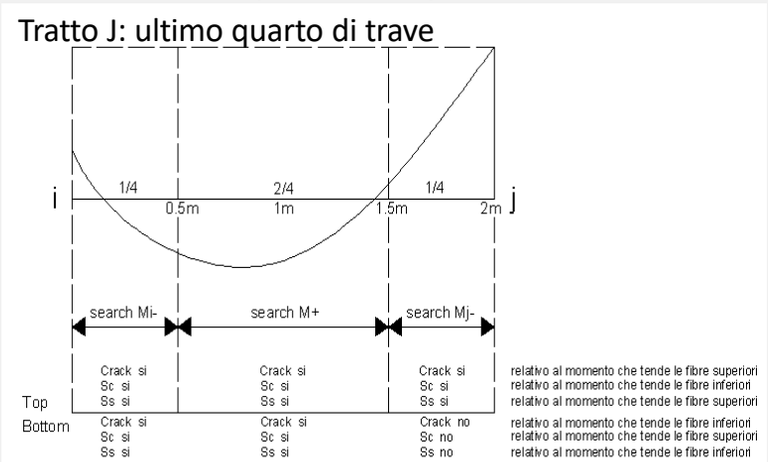
Convenzione di verifica

Le tre sezioni di controllo i-m-j vengono scelte dal programma secondo la seguente convenzione:

Tratto I : primo quarto di trave

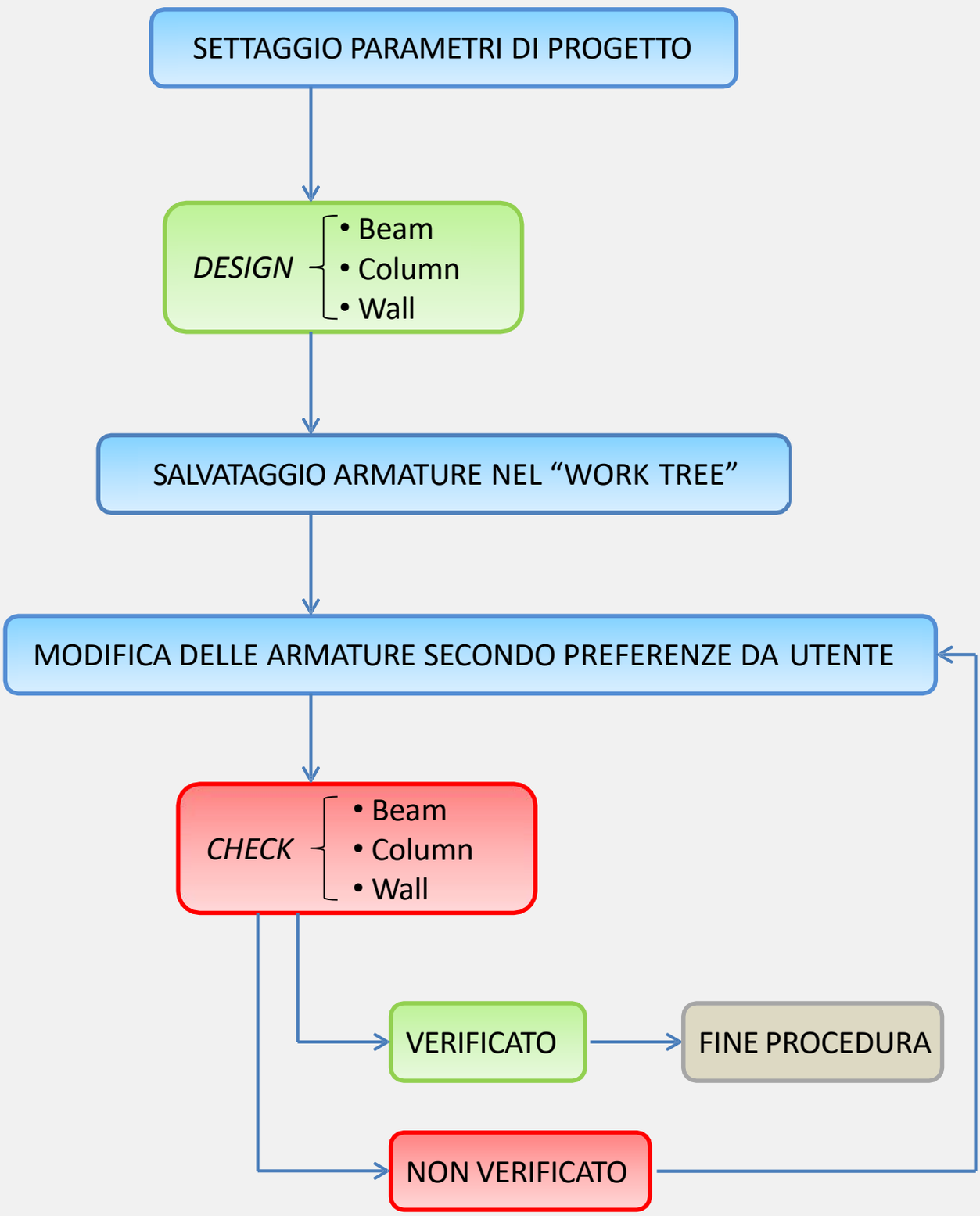
Tratto M : da un quarto a tre quarti di trave

Tratto J: ultimo quarto di trave



Crack : verifica della fessurazione in servizio
Sc : tensione relativa al cls
Ss : tensione relativa all'acciaio

9 Procedure of design and check



Ordine logico di progetto e verifica degli elementi strutturali

10 Bibliografia

- *NTC 18 – Nuove norme tecniche per le costruzioni.*
- *Circolare 21 Gennaio 2019 - Istruzioni per l'applicazione delle "NTC 18"*
- *Eurocodice 2*
- *Eurocodice 8*
- *Analisi modale ragionata – Paolo Rugarli - EPC libri.*
- *Progetto antisismico di edifici in cemento armato – E. Cosenza, G. Maddaloni, G. Magliulo, M. Pecce, R. Ramasco – IUSS Press.*
- *Criteri Di progettazione antisismica degli edifici – L. Petrini, R. Pinho, G.M. Calvi – IUSS Press.*