



REGIONE SICILIA
CITTA' DI SORTINO
PROVINCIA DI SIRACUSA

VIALE M. GIARDINO S.N.C. - 96010



REGIONE SICILIANA
PRESIDENZA



Dipartimento Regionale della Protezione Civile
Servizio per la Provincia di Siracusa

LAVORI PER LA REALIZZAZIONE
DELL'AREA ATTENDAMENTI E
CONTAINERS DI C.DA PIANO LARDO

PROGETTO ESECUTIVO

D.P.R. 207/2010

Progettisti:	Geom. Fabio Barbagallo Geom. Massimo Caruso Geom. Antonio Privitera
Progettista impianti:	Ing. Paolo Impelluso
Coordinatore Sicurezza in fase di Progettazione:	Arch. Gaetano Gulino
Responsabile Unico del Procedimento:	Arch. Luigi Raffa
Progettista strutture in c.a.	Ing. Fabio Giuliano
 Elaborato: P.6	Titolo: - FABBRICATO - VALIDAZIONE DEL SOFTWARE UTILIZZATO PER IL CALCOLO
Data:	Scala:
Aggiornamenti - Annotazioni:	



**Casi di prova per la validazione del software di
calcolo strutturale SismiCad versione 11.7**

Indice

1.	Struttura semplice in c.a. in zona non sismica	5
1.1	Scopo dell'esempio.....	5
1.2	File associati all'esempio	5
1.3	Descrizione della struttura	5
1.4	Valutazione dello sforzo normale nei pilastri	10
1.5	Valutazione dei momenti nelle travi	11
1.6	Verifica della trave	12
1.7	Verifica del pilastro	13
1.8	Riepilogo dei risultati.....	15
2.	Esempio di Analisi statica equivalente D.M. 16-01-96	16
2.1	Scopo dell'esempio.....	16
2.2	File associati all'esempio	16
2.3	Descrizione della struttura	16
2.4	Valutazione delle forze sismiche di piano e del tagliante globale	19
2.5	Riepilogo dei risultati.....	21
3.	Esempio Analisi statica equivalente ORDINANZA 3431	22
3.1	Scopo dell'esempio.....	22
3.2	File associati all'esempio	22
3.3	Descrizione della struttura	22
3.4	Valutazione delle forze sismiche di piano e del tagliante globale	23
3.5	Riepilogo dei risultati.....	25
4.	Esempio di applicazione dello spettro di risposta D.M. 16-01-96	26
4.1	Scopo dell'esempio.....	26
4.2	File associati all'esempio	26
4.3	Descrizione della struttura	26
4.4	Valutazione della risposta di spettro.....	27
4.5	Riepilogo dei risultati.....	34
5.	Esempio di applicazione dello spettro di risposta ORDINANZA 3431	36
5.1	Scopo dell'esempio.....	36
5.2	File associati all'esempio	36
5.3	Descrizione della struttura	36
5.4	Valutazione della risposta di spettro	37
5.5	Riepilogo dei risultati.....	42
6.	Esempio di telaio multipiano	43
6.1	Scopo dell'esempio.....	43
6.2	File associati all'esempio	43
6.3	Descrizione della struttura	43
6.4	Valutazione della risposta di spettro.....	49
6.5	Riepilogo dei risultati.....	52
7.	Verifica di un plinto superficiale	53
7.1	Scopo dell'esempio.....	53
7.2	File associati all'esempio	53
7.3	Descrizione del plinto.....	53
7.4	Verifica del plinto	55
7.5	Riepilogo dei risultati.....	57
8.	Struttura semplice in acciaio in zona non sismica	58
8.1	Scopo dell'esempio.....	58
8.2	File associati all'esempio	58
8.3	Descrizione della struttura	58

8.4	Valutazione dello sforzo normale nelle colonne	62
8.5	Valutazione dei momenti nelle aste	63
8.6	Verifica asta	65
8.7	Verifica giunzione a squadretta trave-colonna	66
8.8	Verifica di piastra di base.....	70
8.9	Verifica di saldatura diretta trave-colonna	73
8.10	Verifica di flangia trave-colonna	75
8.11	Riepilogo dei risultati.....	77
9.	Lastra rettangolare appoggiata al contorno	79
9.1	Scopo dell'esempio.....	79
9.2	File associati all'esempio	79
9.3	Descrizione della struttura	79
9.4	Valutazione della freccia.....	82
9.5	Valutazione dei momenti m_x , m_y	83
9.6	Riepilogo dei risultati.....	86
10.	Modellazione non lineare di un portale in c.a.	87
10.1	Scopo dell'esempio.....	87
10.2	File associati all'esempio	87
10.3	Descrizione della struttura	87
10.4	Analisi statica non lineare	89
10.5	Combinazioni di carico.....	89
10.6	Curva di capacità	89
10.7	Calcolo dell'oscillatore bilineare equivalente.....	90
10.8	Calcolo della domanda di spostamento.....	92
10.9	Calcolo della capacità di spostamento	93
10.10	Riepilogo dei risultati.....	94
11.	Esempio di determinazione di a_g , F_o e T_c^* secondo DM 14-01-08	95
11.1	Scopo dell'esempio.....	95
11.2	File associati all'esempio	95
11.3	Edificio ordinario con normale affollamento.....	95
11.4	Edificio di importanza strategica	96
11.5	Riepilogo dei risultati.....	98
12.	Esempio di calcolo di taglio alla base con applicazione dello spettro	100
12.1	Scopo dell'esempio.....	100
12.2	File associati all'esempio	100
12.3	Descrizione della struttura	100
12.4	Valutazione delle azioni sismiche.....	105
12.5	Riepilogo dei risultati.....	108
13.	Bibliografia	109

1. Struttura semplice in c.a. in zona non sismica

E' stata condotta una verifica per controllare la correttezza dei risultati di SismiCad 11.7.

A questo scopo, si è deciso di studiare una struttura semplice risolvendola sia con SismiCad 11.7 sia con metodi di calcolo manuali.

1.1 Scopo dell'esempio

Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare le seguenti caratteristiche del programma:

- caratteristiche geometriche ed inerziali delle sezioni;
- ripartizione dei carichi di superficie sugli elementi trave sostenenti;
- calcolo dei pesi propri degli elementi strutturali;
- valutazione della sollecitazione M3;
- valutazione dello sforzo normale sui pilastri;
- verifica di una sezione rettangolare in c.a. soggetta a flessione semplice;
- verifica di una sezione rettangolare in c.a. soggetta a presso flessione deviata.

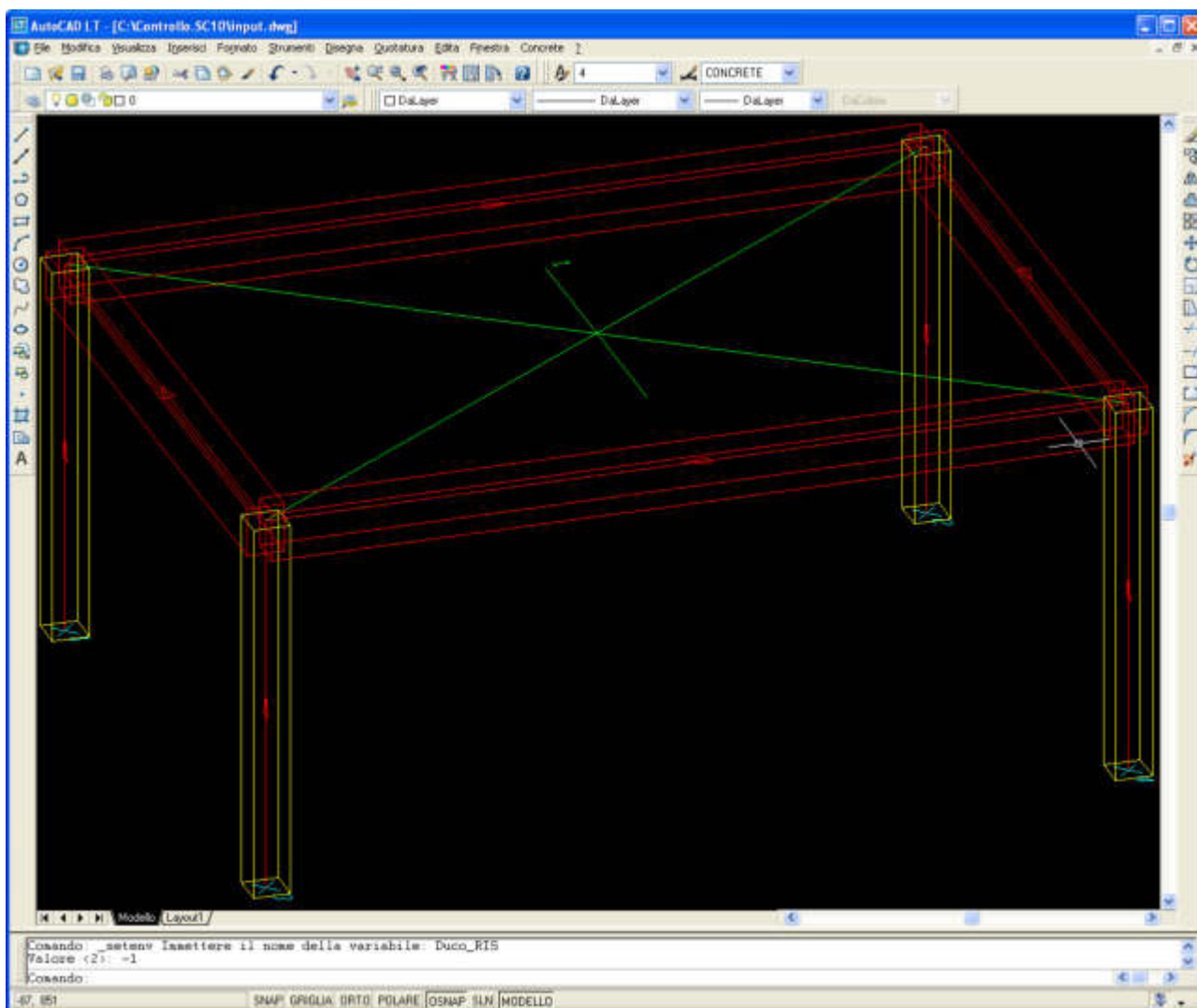
1.2 File associati all'esempio

La directory della commessa di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura è *Edificio non sismico* presente nella cartella "*\Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esempi\Casi prova valutazione affidabilità*" del profilo utente.

Per il controllo della verifica a presso flessione di una sezione in c.a. si utilizza un altro software Concrete, Presfle+. Il file relativo alla verifica di tale sezione è *Pilastro.flx*.

1.3 Descrizione della struttura

La struttura è a pianta rettangolare (500 x 700) ed è costituita da quattro pilastri e quattro travi, come riportato nell'immagine sotto.



1.3.1. Dimensioni degli elementi strutturali

Proprietà delle travi

The 'Proprietà' dialog box for a beam element (Trave C.A.) contains the following settings:

Sezione	R 30*40
Punto di inserimento	Centro anima
Quota iniziale	Livello 1
Quota finale	Livello 1
Punto iniziale	0; 0
Punto finale	0; 700
Estradosso	0
Materiale	RCK300
Carico lineare	Nessuno
Variazione termica	Nessuno
Sovreresistenza	0
Sisma Z	No
Cerniera iniziale	No
Cerniera finale	No
Fondazione	No
Forma	Asse + Solido
Punto FEM iniziale	0; 0; 312
Punto FEM finale	0; 700; 312

Sezione
Riferimento ad una definizione di sezione C.A.

Lunghezza travi $l_1 = 700$ cm
 $l_2 = 500$ cm

Proprietà dei pilastri

The 'Proprietà' dialog box for a column element (Pilastro C.A.) contains the following settings:

Tronco	Livello 1-Livello 0
Sezione	30*30
Punto di inserimento	Centro-centro
Punto	0; 0
Angolo	0
Materiale	RCK300
Carico lineare	Nessuno
Variazione termica	Nessuno
Sovreresistenza	0
Sisma Z	No
Cerniera iniziale	No
Cerniera finale	No
Forma	Asse + Solido
Punto FEM iniziale	0; 0; 0
Punto FEM finale	0; 0; 312

Tronco
Riferimento al tronco indicante la quota inferiore e superiore.

Altezza pilastri $h = 312$ cm

1.3.2. Analisi dei carichi

Viene inserito un carico superficiale avente le seguenti componenti:

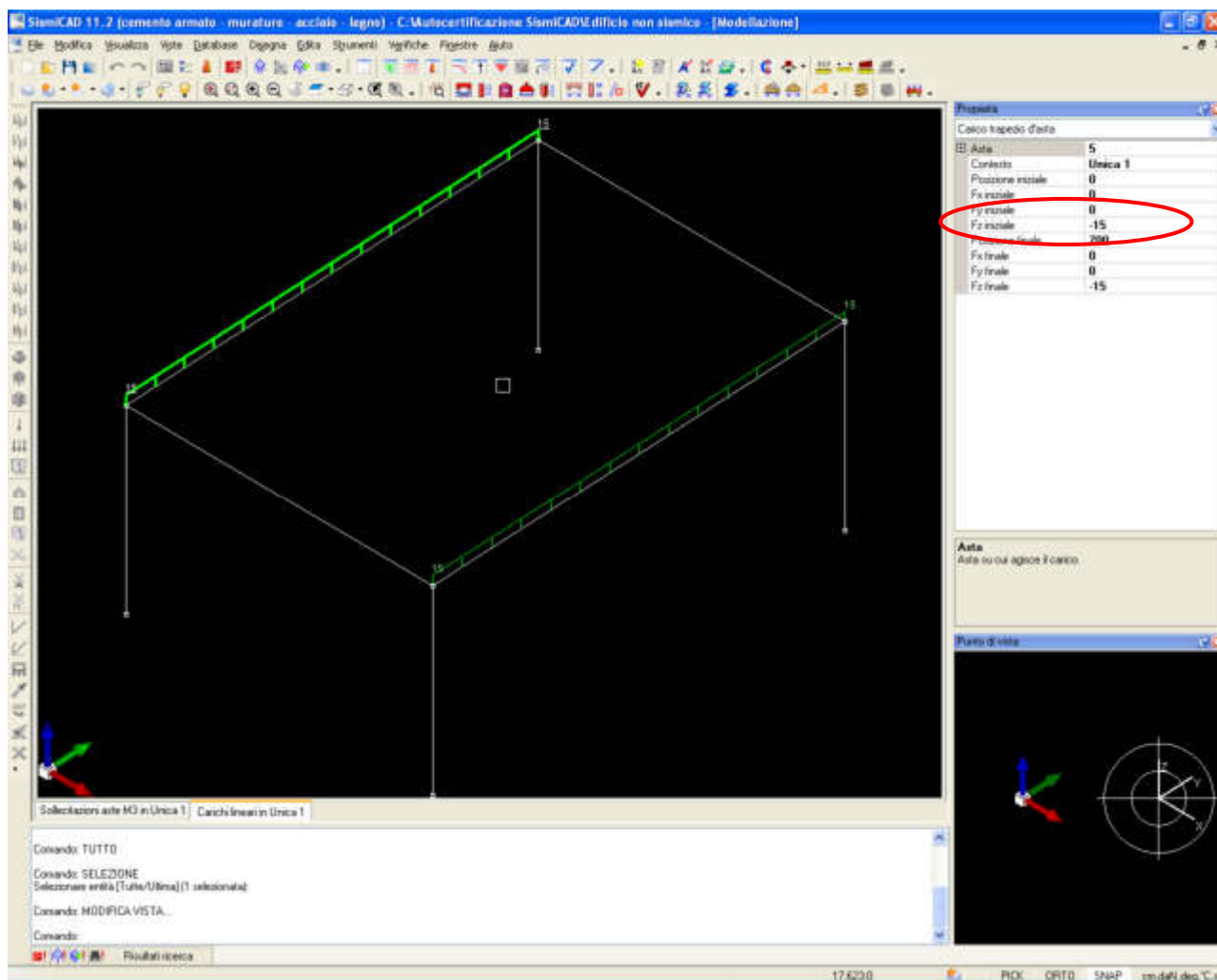
Carico distribuito permanente = 0.04 daN/cm²

Carico distribuito variabile = 0.02 daN/cm²

Carico lineare agente sulle travi di lunghezza l_1 dovuto al carico distribuito in combinazione 1:

$$Q_1 = (((1 * 0.04 + 1 * 0.02) * 500 * 700) / 2) * 700 = 15 \text{ daN / cm}$$

Il risultato fornito dal SismiCad è riportato in figura:



Carichi superficiali disegnati nella struttura senza l'attributo solaio associato vengono segnalati all'utente.

Carico lineare agente sulle travi di lunghezza l_1 e l_2 dovuto al peso proprio delle travi

$$Q_2 = (30 * 40 * 0.0025) = 3 \text{ daN / cm}$$

Il risultato fornito dal SismiCad è riportato in figura:

Proprietà	
Asta	
Indice	5
Nodo I	3
Nodo J	5
Nodo K	12
Sezione	2 (R 30*40; RCK300)
Area	1200
Area 2	1000
Area 3	1000
Inerzia 2	90000
Inerzia 3	160000
Inerzia torsionale	1899
E	312202
G	141910
Alfa	0.00001
Peso unitario	3
Sezione	
Caratteristiche inerziali-meccaniche della sezione.	

$$Q_{TOT} = 15 + 3 = 18 \text{ daN / cm}$$

1.3.3. Peso proprio del pilastro

$$q = (30 * 30 * 0.0025) = 2.25 \text{ daN / cm}$$

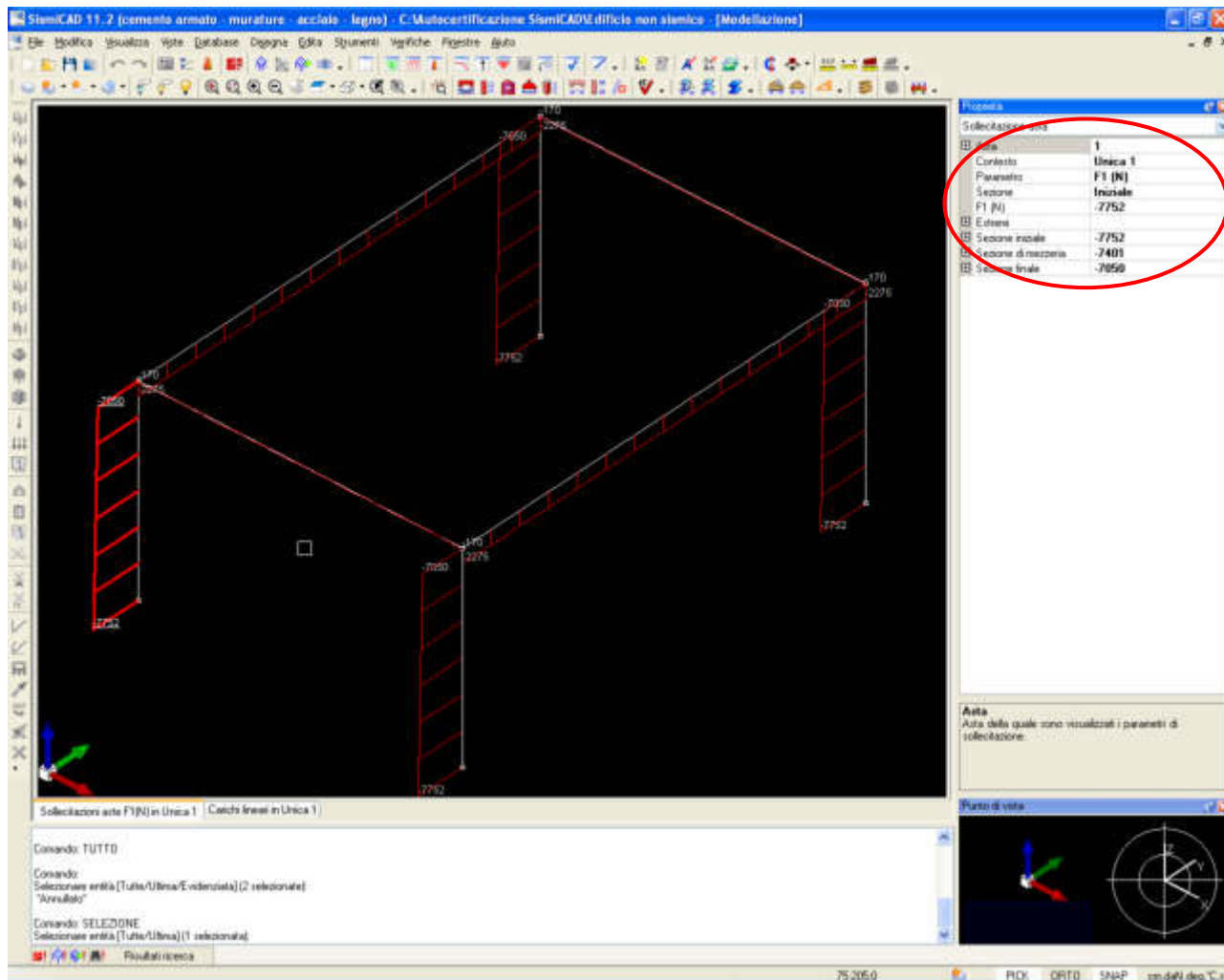
Il risultato fornito dal SismiCad è riportato in figura:

Proprietà	
Asta	
Indice	3
Nodo I	6
Nodo J	7
Nodo K	11
Sezione	1 (R 30*30_2; RCK300_2)
Area	900
Area 2	750
Area 3	750
Inerzia 2	67500
Inerzia 3	67500
Inerzia torsionale	999
E	312202
G	141910
Alfa	0.00001
Peso unitario	2.25
Sezione	
Caratteristiche inerziali-meccaniche della sezione.	

1.4 Valutazione dello sforzo normale nei pilastri

1.4.1. Sforzo normale SismiCad nelle colonne

Il valore di sforzo normale N fornito dal SismiCad per le colonne è riportato in figura nella tabella al paragrafo successivo:



Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Numero asta	Contesto	Pos.	X	Y	Z	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	Unica 1	0	0,00	0,00	0,00	-7752	-2275	170	0,00	-174,0	-2328
1	Unica 1	15	0,00	0,00	1,56	-7401	-2275	170	0,00	90,96	1221,0
1	Unica 1	30	0,00	0,00	3,12	-7050	-2275	170	0,00	355,91	4769,9

$$N_{(\text{iniziale})} = -7752 \text{ daN}$$

$$N_{(\text{finale})} = -7050 \text{ daN}$$

1.4.2. Sforzo normale calcolato manualmente

$$\text{Essendo } V_{\text{trave}} = P / 2$$

$$V_{\text{trave } 700} = 18 * 700 / 2 = 6300 \text{ daN}$$

$$V_{\text{trave } 500} = 3 * 500 / 2 = 750 \text{ daN}$$

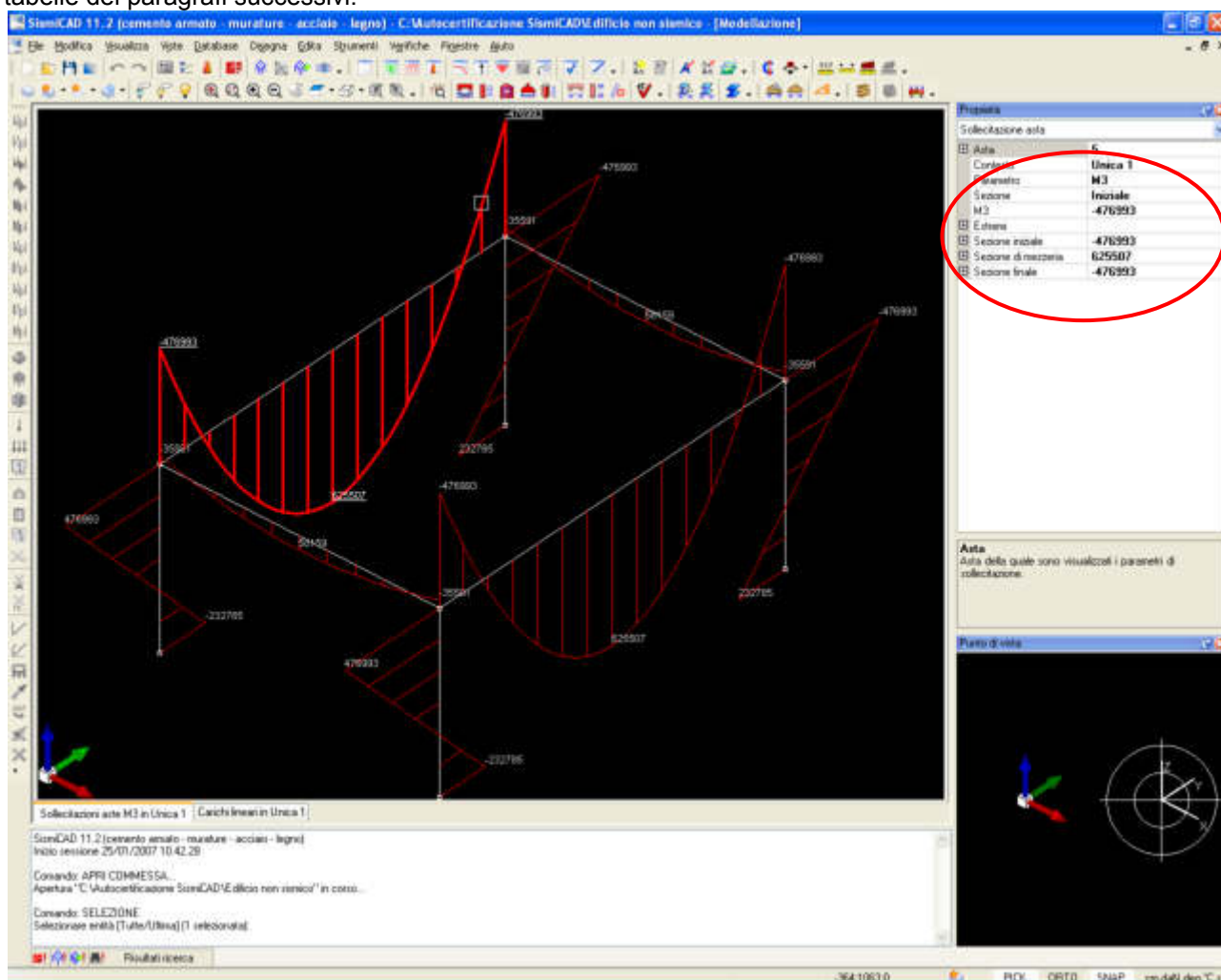
$$N_{\text{sommità}} = V_{\text{trave } 700} + V_{\text{trave } 500} = 6300 + 750 = 7050 \text{ daN}$$

$$N_{\text{base}} = N_{\text{sommità}} + \text{Peso}_{\text{pilastro}} = 7050 + 225 * 3.12 = 7752 \text{ daN}$$

1.5 Valutazione dei momenti nelle travi

1.5.1. Momenti flettenti massimi e minimi nella trave di luce 700 cm

Il valore di momento M3 fornito dal SismiCad per le travi è riportato in figura e per ciascuna trave nelle due tabelle dei paragrafi successivi:



Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Numero asta	Contesto	Pos.	X	Y	Z	F1	F2	F3	M1	M2	M3
5	Unica 1	0	0,00	0,00	3,12	-2275	-6300	0	0,00	0,00	-4770
5	Unica 1	15	0,00	3,50	3,12	-2275	0	0	0,00	0,00	6255,1
5	Unica 1	30	0,00	7,00	3,12	-2275	6300	0	0,00	0,00	-4770

$$M_{1(\text{mezzzeria})} = 6255.1 \text{ daN m}$$

$$M_{1(\text{iniziale})} = 4770 \text{ daN m}$$

1.5.2. Momenti flettenti massimi e minimi nella trave di luce 500 cm

Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Numero asta	Contesto	Pos.	X	Y	Z	F1	F2	F3	M1	M2	M3
6	Unica 1	0	0,00	7,00	3,12	-170	-750	0	0,00	0,00	-355,9
6	Unica 1	15	2,50	7,00	3,12	-170	0	0	0,00	0,00	581,59
6	Unica 1	30	5,00	7,00	3,12	-170	750	0	0,00	0,00	-355,9

$$M_{2(\text{mezzzeria})} = 581.6 \text{ daN m}$$

$$M_{2(\text{iniziale})} = 355.9 \text{ daN m}$$

1.5.3. Momenti calcolati manualmente

Utilizzando la formula tratta dal Prontuario Le Monnier:

$$M_{\text{estremità}} = - Pl^2 / 6(2 + k)$$

$$M_{\text{mezzeria}} = Pl^2 / 8 - Pl^2 / 6(2 + k)$$

con $k = (J_{\text{trave}} * h_{\text{pilastro}}) / (J_{\text{pilastro}} * l_{\text{trave}})$

$$J_{\text{trave}} = 30 * 40^3 / 12 = 160000 \text{ cm}^4$$

$$J_{\text{pilastro}} = 30^4 / 12 = 67500 \text{ cm}^4$$

$$h_{\text{pilastro}} = 312 \text{ cm}$$

si ottiene per la trave di lunghezza 700 cm:

$$k = (160000 * 312) / (67500 / 700) = 1.0565$$

$$M_{\text{estremità}} = - 18 * 700^2 / 6(2 + 1.0565) = 480942 \text{ daN cm} = 4809 \text{ daN m}$$

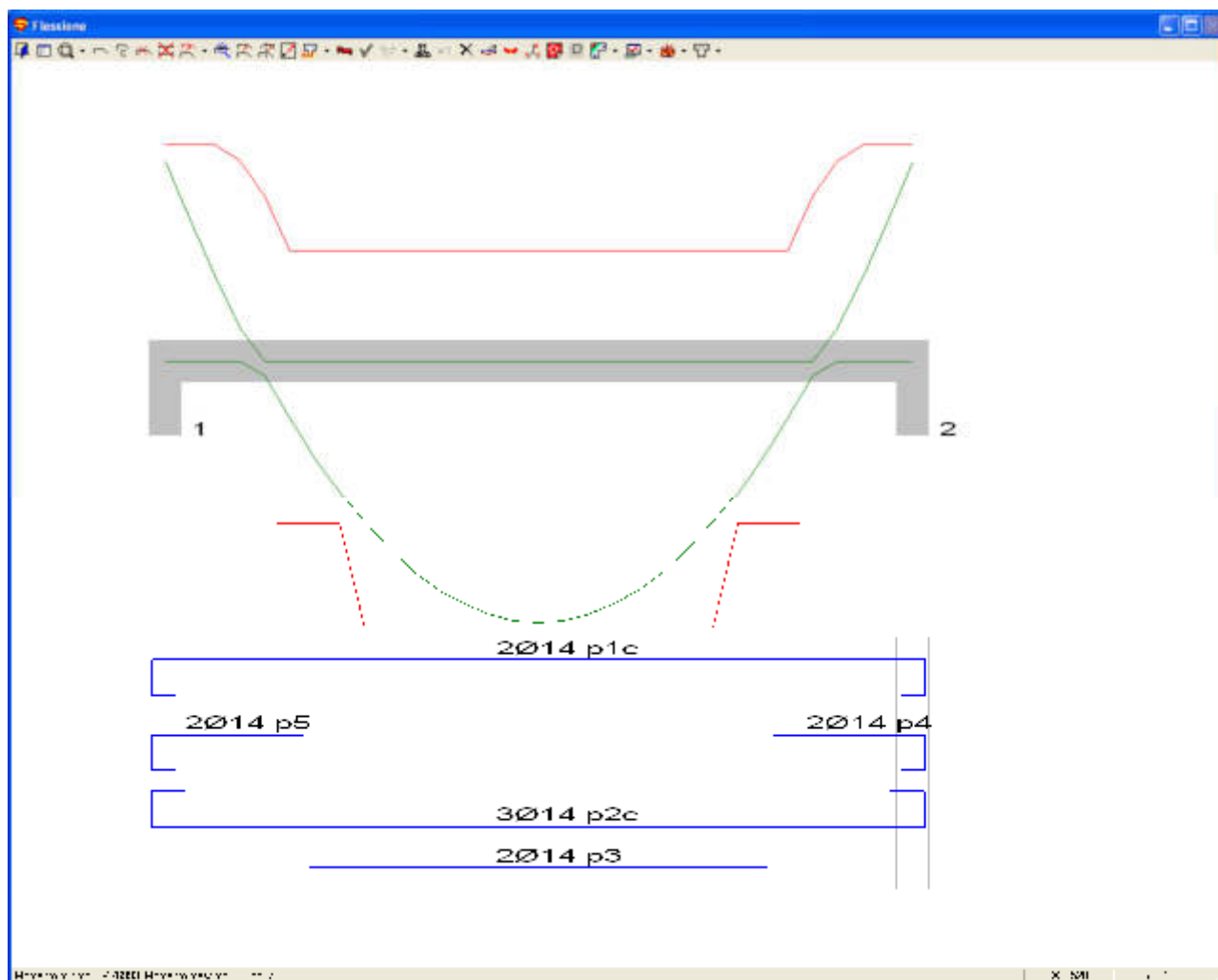
$$M_{\text{mezzeria}} = 18 * 700^2 / 8 - 480942 = 621558 \text{ daN cm} = 6216 \text{ daN m}$$

La differenza tra i valori calcolati con il programma SismiCad e con le formule è trascurabile (0.8 %) e dovuta alla non considerazione nel calcolo manuale della deformabilità a taglio.

1.6 Verifica della trave

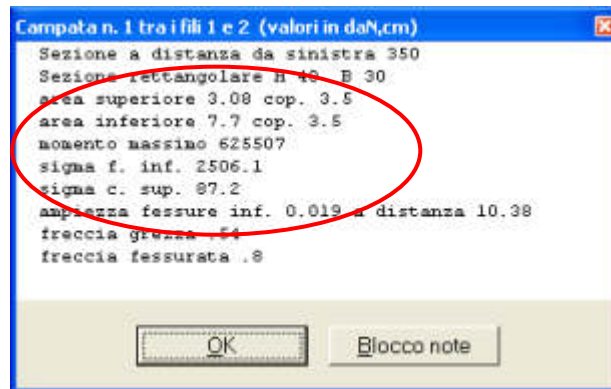
Il progetto dell'armatura della trave eseguito con il SismiCad è riportato nell'immagine che segue.

Il programma ha inserito, in prossimità della mezzeria della trave, 7φ14 inferiormente e 2φ14 superiormente.



1.6.1. Tensioni calcolate con SismiCad

La verifica puntuale nella sezione a distanza 350 cm da sinistra ha fornito i dati rappresentati in figura.



Per questa sezione, i valori delle tensioni superficiali calcolati con il SismiCad sono:

$$\sigma_f = 2506.1 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_c = -87.2 \text{ daN/cm}^2$$

1.6.2. Tensioni calcolate manualmente

Utilizzando la formula (1.1) tratta da Giovanni Falchi Delitala, Calcolo delle sezioni in cemento armato, Ed Hoepli:

Calcolo dell'asse neutro della sezione 30x40.

$$x = i_1 (-1 + (1 + (2k_a / i_1))^{1/2})$$

$$A_1 = \text{Area acciaio tesa} = 7.7 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \text{Area acciaio compressa} = 3.08 \text{ cm}^2$$

$$d = 36.5 \text{ cm}$$

$$C_1 = C_2 = 3.5 \text{ cm}$$

$$i_1 = (n (A_1 + A_2)) / b = 15 * (7.7 + 3.08) / 30 = 5.39 \text{ cm}$$

$$k_a = (A_1 d + A_2 C_2) / (A_1 + A_2) = (7.7 * 36.5 + 3.08 * 3.5) / (7.7 + 3.08) = 27.07$$

$$x = 5.39 (-1 + (1 + (2 * 27.07 / 5.39))^{1/2})$$

$$x = \text{distanza dell'asse neutro dal bordo compresso} = 12.52 \text{ cm}$$

$$J = bx^3 / 3 + n A_1 (d - x)^2 + n A_2 (x - C_2)^2$$

$$J = 30 * 12.52^3 / 3 + 15 * 7.7 * (36.5 - 12.52)^2 + 15 * 3.08 * (12.52 - 3.5)^2 = 89801 \text{ cm}^3$$

Utilizzando i valori di x e di J è possibile calcolare i valori delle tensioni nel cls e nell'acciaio:

$$\sigma_c = M x / J = 625507 * 12.52 / 89801 = -87.2 \text{ daN/cm}^2$$

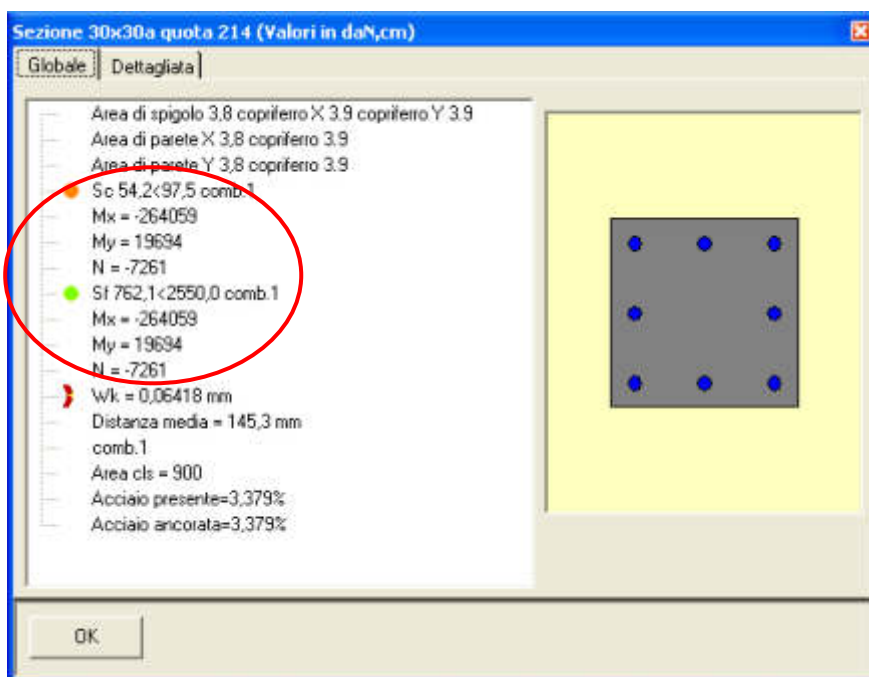
$$\sigma_f = n M (d - x) / J = 15 * 625507 * (36.5 - 12.52) / 89801 = 2505.5 \text{ daN/cm}^2$$

1.7 Verifica del pilastro

E' stata condotta la verifica del pilastro con il SismiCad.

Il programma ha inserito 8 barre longitudinali $\phi 22$ con un copriferro pari a 3.9 cm

1.7.1. Tensioni calcolate con SismiCad



Per la sezione del pilastro a quota 214 cm si sono trovati i seguenti dati

$$M_x = 264059 \text{ daN cm}$$

$$M_y = 19694 \text{ daN cm}$$

$$N = -7261 \text{ daN}$$

$$\sigma_c = 54.2 \text{ daN / cmq}$$

$$\sigma_f = 762.1 \text{ daN /cmq}$$

1.7.2. Tensioni calcolate manualmente

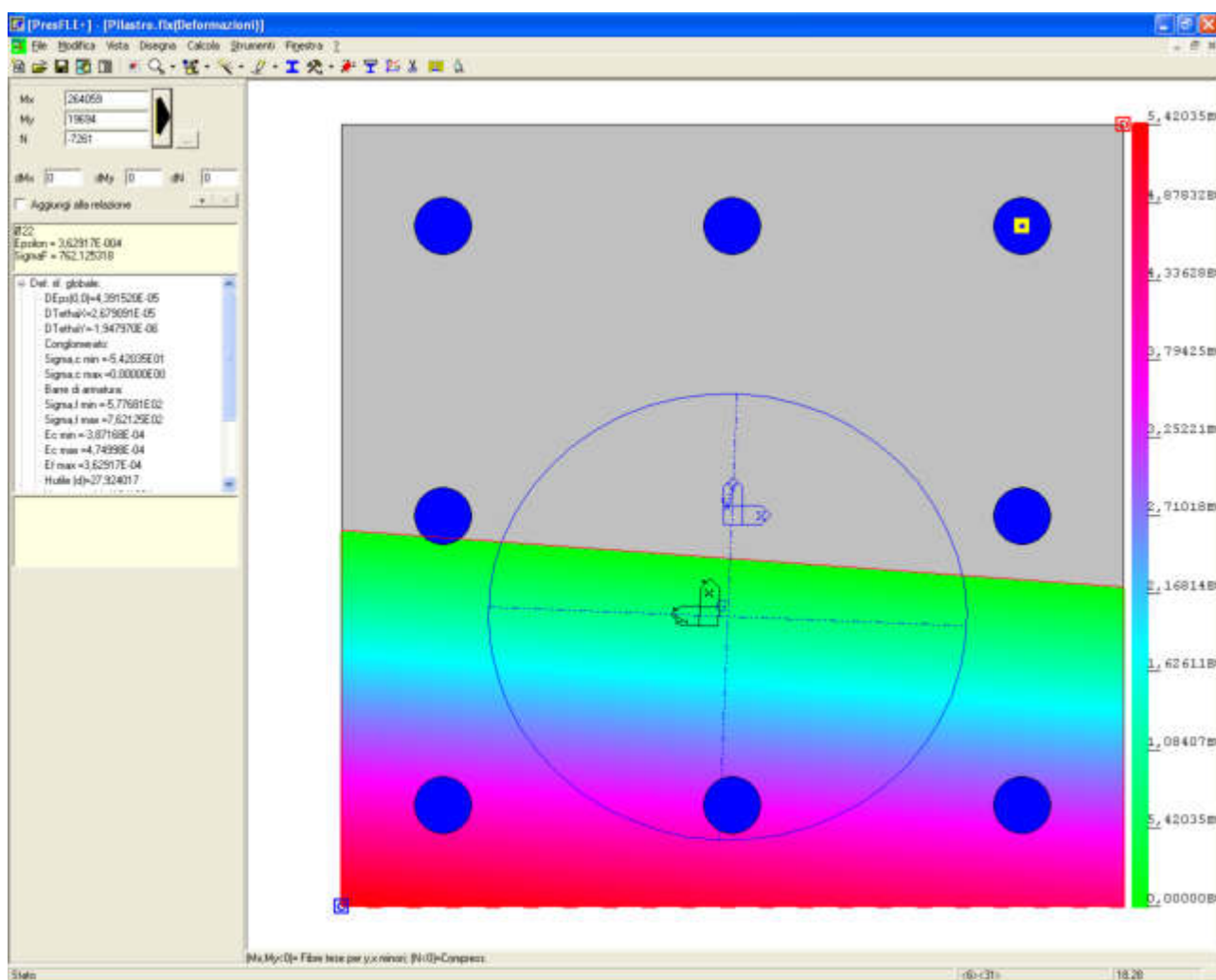
Con il programma PresFle+ si sono calcolate le tensioni relative ad una sezione con le stesse caratteristiche di quelle del pilastro con i momenti e lo sforzo normale riportati in precedenza.

I valori ottenuti sono i seguenti:

$$\sigma_c = 54.2 \text{ daN / cmq}$$

$$\sigma_f = 762.1 \text{ daN /cmq}$$

Viene allegata la verifica della sezione in questione *Pilastro.flx*



1.8 Riepilogo dei risultati

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
Ripartizione carichi	15 daN/cm	15 daN/cm	0.0 %
Peso proprio trave	3 daN/cm	3 daN/cm	0.0 %
Peso proprio colonna	2.25 daN/cm	2.25 daN/cm	0.0 %
Sforzo normale N nella colonna	-7752 - -7050 daN	-7752 - -7050 daN	0.0%
Momento flettente M3 trave 700cm	6255.1 – 4770 daNm	6216 - 4809 daNm	0.8 %
Verifica trave	$\sigma_f = 2506.1$ $\sigma_c = -87.2$ daN/cm ²	$\sigma_f = 2505.5$ $\sigma_c = -87.2$ daN/cm ²	0.02 %
Verifica pilastro	$\sigma_f = 762.1$ $\sigma_c = 54.2$ daN/cm ²	$\sigma_f = 762.1$ $\sigma_c = 54.2$ daN/cm ²	0.0 %

2. Esempio di Analisi statica equivalente D.M. 16-01-96

Si sviluppa ora il calcolo relativo ad un telaio in analisi statica lineare secondo il D.M. 16-01-96.

2.1 Scopo dell'esempio

Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare le seguenti caratteristiche del programma:

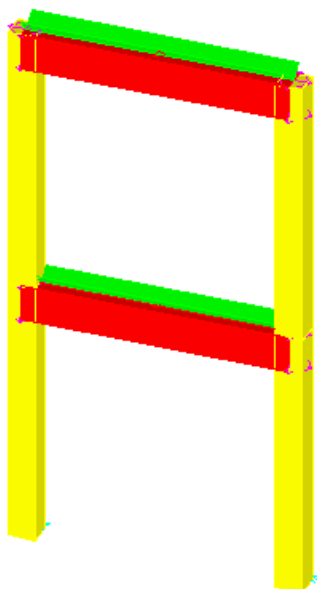
- valutazione dei pesi sismici;
- valutazione dei coefficienti gamma di piano;
- calcolo delle forze sismiche nodali.

2.2 File associati all'esempio

La directory della commessa di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura è *Telaio piano a 2 piani analisi statica DM96* presente nella cartella "*\Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esempi\Casi prova valutazione affidabilit *" del profilo utente.

2.3 Descrizione della struttura

La rappresentazione tridimensionale del telaio generato con *SismiCad*   rappresentata nella figura sottostante.



Nei seguenti paragrafi verranno specificate le caratteristiche del modello numerico con cui simuleremo il telaio.

2.3.1. Dimensioni degli elementi strutturali

Propriet  delle travi

Proprietà	
Trave C.A.	
Sezione	R 30*40
Punto di inserimento	Centro anima
Quota iniziale	Livello 1
Quota finale	Livello 1
Punto iniziale	0; 0
Punto finale	300; 0
Estradosso	0
Materiale	RCK_infinito
Carico lineare	Nessuno
Variazione termica	Nessuno
Sovraresistenza	0
Sisma Z	No
Cerniera iniziale	No
Cerniera finale	No
Fondazione	No
Forma	Asse + Solido
Punto FEM iniziale	0; 0; 300
Punto FEM finale	300; 0; 300
Materiale Riferimento ad una definizione di materiale cemento armato.	

Lunghezza travi $l = 300$ cm

Proprietà dei piedritti

Proprietà	
Pilastro C.A.	
Tronco	Livello 1-Livello 0
Sezione	R 30*30
Punto di inserimento	Centro-centro
Punto	0; 0
Angolo	0
Materiale	RCK300 senza peso
Carico lineare	Nessuno
Variazione termica	Nessuno
Sovraresistenza	0
Sisma Z	No
Cerniera iniziale	No
Cerniera finale	No
Forma	Asse + Solido
Punto FEM iniziale	0; 0; 0
Punto FEM finale	0; 0; 300
Sezione Riferimento ad una definizione di sezione C.A..	

Ad ogni piano sono presenti due piedritti di pari rigidezza.

Altezza pilastri $h = 300$ cm

2.3.2. Analisi dei carichi

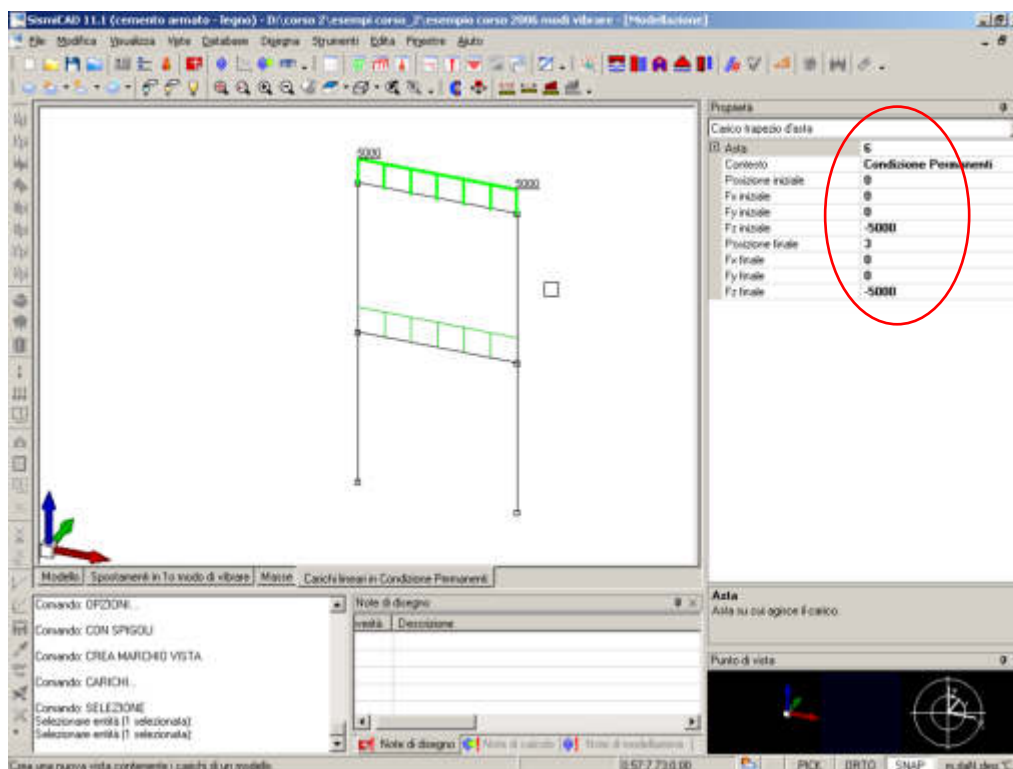
Ad ogni piano viene assegnato un carico lineare permanente:

Carico lineare permanente = 5000 daN/m con coefficiente di partecipazione sismica $s=1$.



Alla trave è stato assegnato un materiale senza peso in modo che il calcolo del peso sismico sia influenzato dal solo carico lineare.

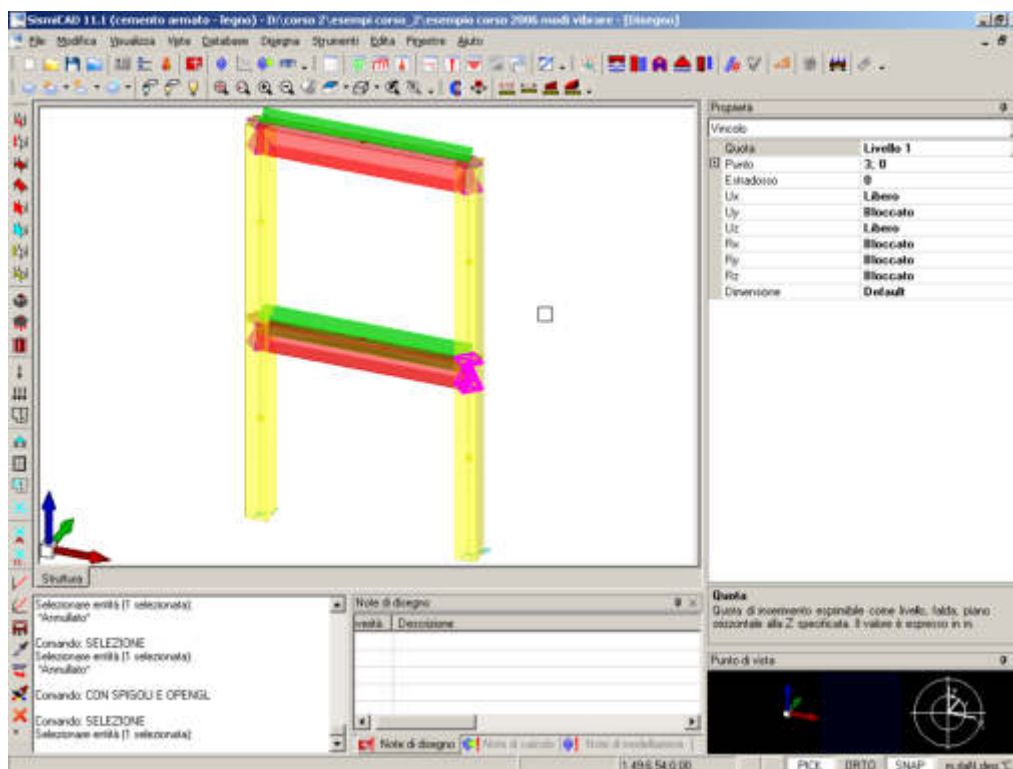
La distribuzione del carico è quello riportato in figura:



2.3.3. Vincoli

Al fine di riprodurre il comportamento a telaio piano, i nodi sono stati vincolati in modo tale che gli unici gradi di libertà non bloccati siano gli spostamenti lungo x e z . Sono state quindi bloccate le rotazioni dei nodi attorno all'asse x e lo spostamento lungo l'asse y .

Durante l'input da disegno della struttura, *SismiCad* assegnerà il seguente blocco ai nodi vincolati come descritto poc'anzi.



2.3.4. Dettagli dell'analisi statica

I dati relativi all'analisi statica con D.M. 16-01-96 sono riportati nella figura seguente:

Analisi statica			
Tipo di struttura		Edificio non in muratura	
Grado di sismicità		12	
Coefficiente di protezione sismica		1.0	
Coefficiente di fondazione		1.0	
Coefficiente di struttura		1.0	
Coefficiente di risposta lungo X		1.00	
Coefficiente di risposta lungo Y		1.00	
Rotazione del sisma rispetto agli assi		deg	0.000
Quota dello '0' sismico		cm	0.00
Coefficiente per il controllo degli spostamenti di interpiano			0.002
Sisma Z			0.2
Eccentricità aggiuntive			
Livello	Eccentricità	Falda	Eccentricità
Livello 0			
Livello 1			
		Predefiniti	
cm,deg		OK	Annulla
		Applica	

2.4 Valutazione delle forze sismiche di piano e del tagliante globale

2.4.1. Forze sismiche valutate manualmente

Le forze orizzontali si calcolano attraverso le formule seguenti presenti nel D.M. 16-01-96:

$$F_i = K_{hi} \cdot W_i$$

$$K_{hi} = C \cdot R \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot \gamma_i \cdot I$$

Dove:

Coefficiente di risposta R	
$T_0 = 0.1 \cdot H / \sqrt{B}$	
$T_0 \leq 0.8s$	1
$T_0 > 0.8s$	$0.862 T_0^{2/3}$

$$T_0 = \frac{0.1 \cdot H}{\sqrt{B}} = \frac{0.1 \cdot 6}{\sqrt{3}} = 0.34641 \text{ s}$$

Quindi si assume un coefficiente di risposta R pari a 1.

Il peso sismico a ciascun piano si calcola con la formula $W_i = G_i + s \cdot Q_i$ che nel nostro caso, non avendo azioni variabili, diventa:

$$W_1 = 5000 \times 3 = 15000 \text{ daN}$$

$$W_2 = 5000 \times 3 = 15000 \text{ daN}$$

Il peso sismico per ciascun nodo del modello è pari a:

$$W_{1n} = 15000 / 2 = 7500 \text{ daN}$$

$$W_{2n} = 15000 / 2 = 7500 \text{ daN}$$

essendo due i nodi per ciascun piano.

$$\gamma_i = \frac{h_i \left(\sum_{j=1}^N W_j \right)}{\left(\sum_{j=1}^N W_j h_j \right)}$$

$$\gamma_1 = 3 \frac{(15000 + 15000)}{(15000 \cdot 3 + 15000 \cdot 6)} = 0.667$$

$$\gamma_2 = 6 \frac{(15000 + 15000)}{(15000 \cdot 3 + 15000 \cdot 6)} = 1.333$$

$$C = \frac{S - 2}{100} = \frac{12 - 2}{100} = 0.1 \text{ coefficiente di intensità sismica}$$

Quindi:

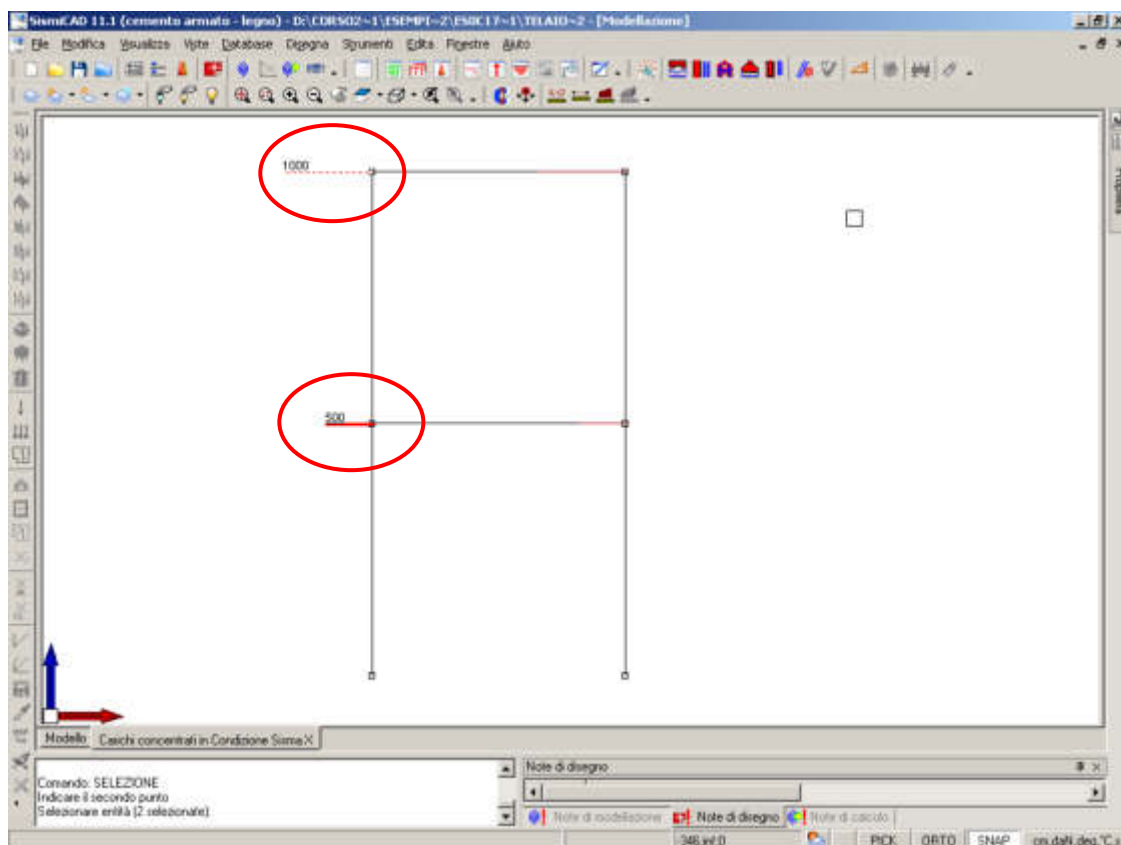
$$F_1 = 0.1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.666 \times 15000 \times 1 = 1000 \text{ daN} \quad \rightarrow F_{1\text{sul nodo}} = 500 \text{ daN}$$

$$F_2 = 0.1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1.333 \times 15000 \times 1 = 2000 \text{ daN} \quad \rightarrow F_{2\text{sul nodo}} = 1000 \text{ daN}$$

$$\text{Tagliante sismico} = 2 \times 500 + 2 \times 1000 = 3000 \text{ daN}$$

2.4.2. Forze sismiche calcolate con SismiCad

Il valore delle forze sismiche nodali a ciascun piano fornite dal SismiCad è riportato in figura e nella tabella successiva:



Carichi concentrati sismici

Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Indice: Numero dell'elemento nell'insieme che lo contiene.

Nodo: Nodo su cui agisce il carico.

Condizione: Condizione elementare mappata nella quale agisce il carico.

F_x: Componente della forza lungo l'asse X. [daN]

F_y: Componente della forza lungo l'asse Y. [daN]

F_z: Componente della forza lungo l'asse Z. [daN]

Peso: Peso sismico. [daN]

Gamma: Coefficiente gamma. Il valore è adimensionale.

Indice	Nodo	Condizione	F _x	F _y	F _z	Peso	Gamma
1	5	Sisma X	500	0	0	7500,000	0,667
2	5	Sisma X	500	0	0	7500,000	0,667
3	6	Sisma X	1000	0	0	7500,000	1,333
4	7	Sisma X	1000	0	0	7500,000	1,333

2.5 Riepilogo dei risultati

	SismiCad	Analitico	Scarto
Peso sismico nodale	7500 daN	7500 daN	0.0%
Gamma piano1	0.667	0.667	0.0 %
Gamma piano 2	1.333	1.333	0.0 %
Forze sismiche nodali a piano 1	500 daN	500 daN	0.0 %
Forze sismiche nodali a piano 2	1000 daN	1000 daN	0.0 %

3. Esempio Analisi statica equivalente ORDINANZA 3431

Si sviluppa ora il calcolo relativo allo stesso telaio analizzato in precedenza in analisi statica lineare secondo l'Ordinanza 3431.

3.1 Scopo dell'esempio

Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare le seguenti caratteristiche del programma:

- calcolo del primo periodo con formula approssimata;
- valutazione del fattore di struttura;
- valutazione dello spettro di progetto per il periodo fondamentale;
- calcolo delle forze sismiche nodali.

3.2 File associati all'esempio

La directory della commessa di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura è *Telaio piano a 2 piani analisi statica ORD3431* presente nella cartella "*\Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esempi\Casi prova valutazione affidabilit *" del profilo utente.

3.3 Descrizione della struttura

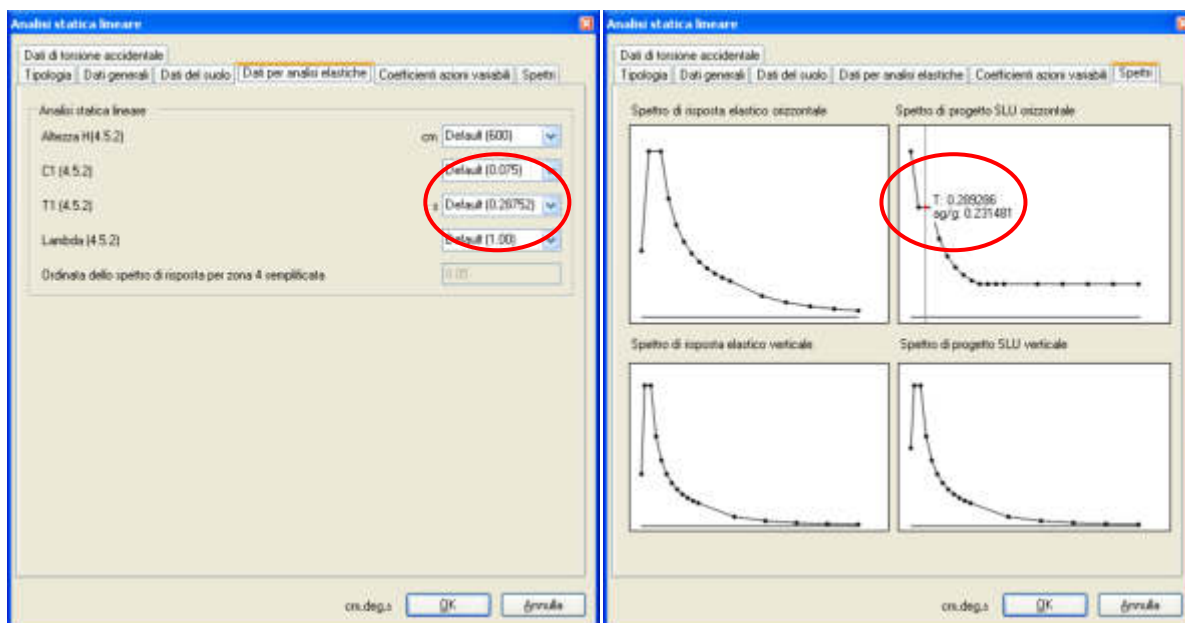
Effettuiamo l'analisi statica in Ordinanza nello stesso telaio piano appena utilizzato per l'analisi statica in D.M. 16-01-96. Si omette la descrizione della struttura e dei carichi rimandando al capitolo precedente.

3.3.1. Dettagli dell'analisi statica

I dati richiesti dall'Ordinanza sono i seguenti:

The image displays two side-by-side screenshots of the 'Analisi statica lineare' software interface. The left screenshot shows the 'Edificio esistente' section with 'Edificio in cemento armato' selected. The right screenshot shows the 'Coefficientsi azioni variabili' section with 'Default (3.75)' and 'Default (1.50)' circled in red.

Parametro	Valore
Zona sismica	Zona 1 $ag/g = 0.35$
Categoria di importanza	II
Amplificazione topografica	1.0
Classe di duttilit�	B
Coefficiente per spostamenti di interspazio	0.05
Fattore di struttura orizzontale	Default (3.75)
Fattore di struttura verticale	Default (1.50)
Rotazione del sisma rispetto agli assi	0
Quota dello 1° sisma	0
Moltiplicatore del sisma in direzione X (per default combinazioni)	1.000
Moltiplicatore del sisma in direzione Y (per default combinazioni)	1.000
Smorzamento viscoso equivalente (%)	5
Considerazione della torsione accidentale per piani flessibili	<input type="checkbox"/>
Torsione accidentale secondo (4.5.2)	<input type="checkbox"/>
Regolarit� in pianta	<input type="checkbox"/>
Regolarit� in elevazione	<input checked="" type="checkbox"/>
Applicazione dello smorzamento viscoso agli spettri di progetto	<input type="checkbox"/>



Il suolo è di tipo A.

3.4 Valutazione delle forze sismiche di piano e del tagliante globale

3.4.1. Forze sismiche valutate manualmente

Le forze orizzontali di piano si calcolano attraverso le formule seguenti presenti nell'Ordinanza 3431:

$$F_i = F_h \frac{z_i W_i}{\sum z_j W_j}$$

dove:

- $F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$
- W_i e W_j sono i pesi delle masse ai piani i e j
- $S_d(T_1)/g$ ordinata dello spettro di progetto
- $T_1 = C_1 H^{3/4}$
- z_i e z_j altezze dei piani dalle fondazioni
- W peso complessivo della struttura
- g è l'accelerazione di gravità

$$T_1 = 0.075 \times 6^{0.75} = 0.2875 \text{ s}$$

Con periodo T_1 pari a 0.2875s siamo all'interno del plateau dello spettro di progetto per qualsiasi categoria di suolo.

Il fattore di struttura si calcola con la formula $q = q_0 \cdot K_d \cdot K_r$

dove:

- $q_0 = 4.5 \cdot \alpha_{fau} / \alpha_{fa1}$ per strutture a telaio;
- $\alpha_{fau} / \alpha_{fa1} = 1.2$ per edifici a telaio a più piani e ad una sola campata;
- $K_d = 0.7$ per classe di duttilità B;
- $K_r = 1$ per edifici regolari in altezza.

$$q = 4.5 \cdot 1.2 \cdot 0.7 \cdot 1 = 3.78$$

$$S_d(T_1) = a_g / g \cdot S \cdot 2.5 / q = 0.35 \cdot 1 \cdot 2.5 / 3.78 = 0.23148 \text{ analogo a quanto riportato sulla schermata degli spettri inserita in precedenza}$$

Il peso sismico complessivo è pari a :

$$W = 5000 \times 3 \times 2 = 30000 \text{ daN}$$

Il tagliante orizzontale complessivo è pari a:

$$F_h = 0.23148 \times 30000 \times 1 = 6944.4 \text{ daN}$$

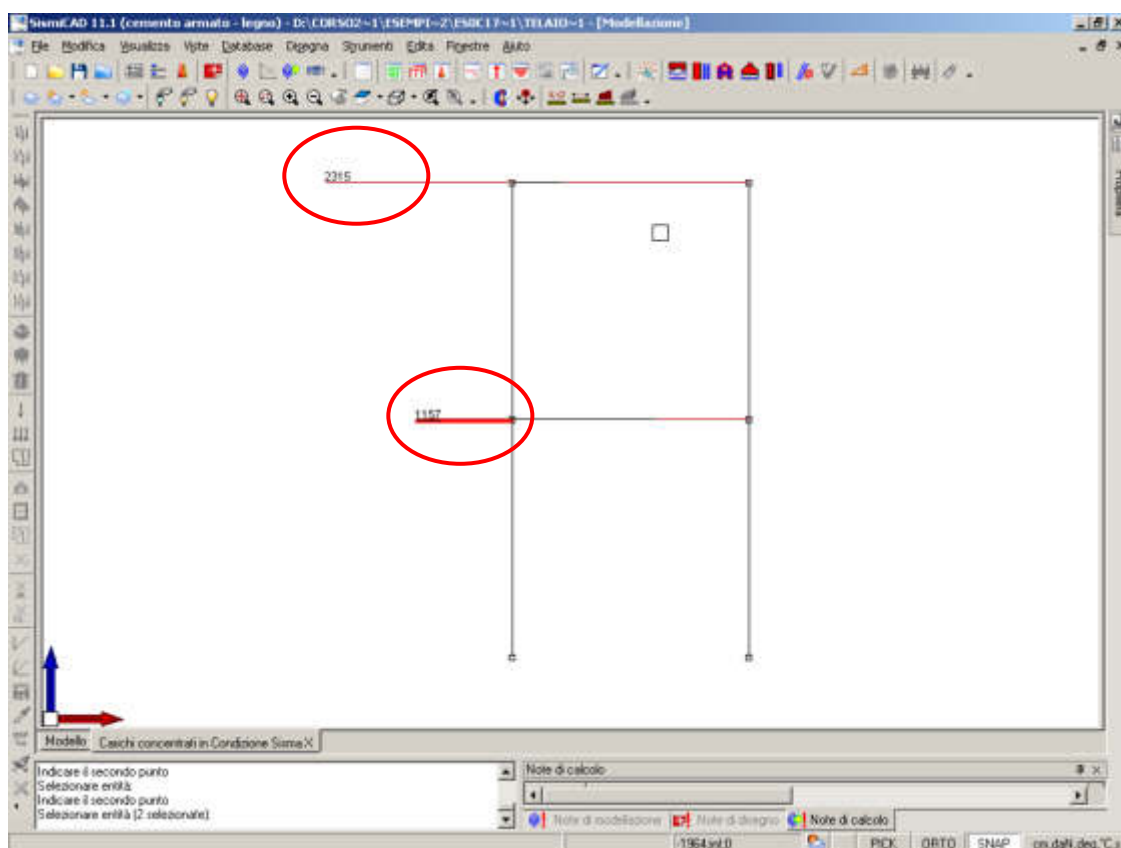
$$F_1 = 6944.4 \frac{3 \cdot 15000}{(3 \cdot 15000 + 6 \cdot 15000)} = 2314.57 \text{ daN} \rightarrow F_{1\text{sul nodo}} = 1157.28 \text{ daN}$$

$$F_2 = 6944.4 \frac{6 \cdot 15000}{(3 \cdot 15000 + 6 \cdot 15000)} = 4629.14 \text{ daN} \rightarrow F_{2\text{sul nodo}} = 2314.57 \text{ daN}$$

$$\text{Tagliante sismico} = 2 \times 1157.28 + 2 \times 2314.57 = 6943.71 \text{ daN}$$

3.4.2. Forze sismiche calcolate con SismiCad

Il valore delle forze sismiche nodali a ciascun piano fornite dal SismiCad è riportato in figura e nella tabella successiva:



Preferenze di analisi

Riportiamo di seguito uno stralcio preso dalla relazione prodotta.

Metodo di analisi	Ordinanza 3431 statica lineare	
Zona sismica	Zona 1 ag/g = 0.35	
Categoria di importanza	III	
Edificio in cemento armato	Si	
Tipologia delle strutture in c.a.	Strutture a telaio	
	$q_0 = 4,5 \cdot \text{alfau}/\text{alfal}$	
alfau/alfal	1.2	
Regolarità in elevazione	Si	
Categoria del suolo	A	
S per sisma orizzontale	1	
Tb per sisma orizzontale	0.15	[s]
Tc per sisma orizzontale	0.4	[s]
Td per sisma orizzontale	2	[s]
S per sisma verticale	1	
Tb per sisma verticale	0.05	[s]
Tc per sisma verticale	0.15	[s]
Td per sisma verticale	1	[s]
Altezza H(4.5.2)	600	[cm]

C1 (4.5.2)	0.075
Lambda (4.5.2)	1
T1 (4.5.2)	0.2875243969 [s]
Classe di duttilità	B
Fattore di struttura orizzontale	3.78
Fattore di struttura verticale	1.5

Carichi concentrati sismici

Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Indice: Numero dell'elemento nell'insieme che lo contiene.

Nodo: Nodo su cui agisce il carico.

Condizione: Condizione elementare mappata nella quale agisce il carico.

F_x: Componente della forza lungo l'asse X. [daN]

F_y: Componente della forza lungo l'asse Y. [daN]

F_z: Componente della forza lungo l'asse Z. [daN]

Peso: Peso sismico. [daN]

Gamma: Coefficiente gamma. Il valore è adimensionale.

Indice	Nodo	Condizione	F _x	F _y	F _z	Peso	Gamma
1	4	Sisma X	1157	0	0	7500,000	0,667
2	4	Sisma X SLD	1750	0	0	7500,000	0,667
3	5	Sisma X	1157	0	0	7500,000	0,667
4	5	Sisma X SLD	1750	0	0	7500,000	0,667
5	6	Sisma X	2315	0	0	7500,000	1,333
6	6	Sisma X SLD	3500	0	0	7500,000	1,333
7	7	Sisma X	2315	0	0	7500,000	1,333
8	7	Sisma X SLD	3500	0	0	7500,000	1,333

3.5 Riepilogo dei risultati

	SismiCad	Analitico	Scarto
Periodo fondamentale	0.2875 s	0.2875 s	0.0 %
Fattore di struttura	3.78	3.78	
S _d (T)	0.23148	0.231481	0.0 %
Forze sismiche nodali a piano 1	1157 daN	1157. daN	0.0 %
Forze sismiche nodali a piano 2	2315.28 daN	2315.57 daN	0.0 %

4. Esempio di applicazione dello spettro di risposta D.M. 16-01-96

Si sviluppa ora il calcolo relativo allo stesso telaio analizzato in precedenza in analisi dinamica lineare secondo D.M. 16-01-96.

4.1 Scopo dell'esempio

Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare le seguenti caratteristiche del programma:

- calcolo del periodo del 1° e 2° modo;
- calcolo della massa;
- calcolo della % di massa nel 1° e 2° modo;
- calcolo del tagliante sismico totale;
- calcolo degli spostamenti modali.

4.2 File associati all'esempio

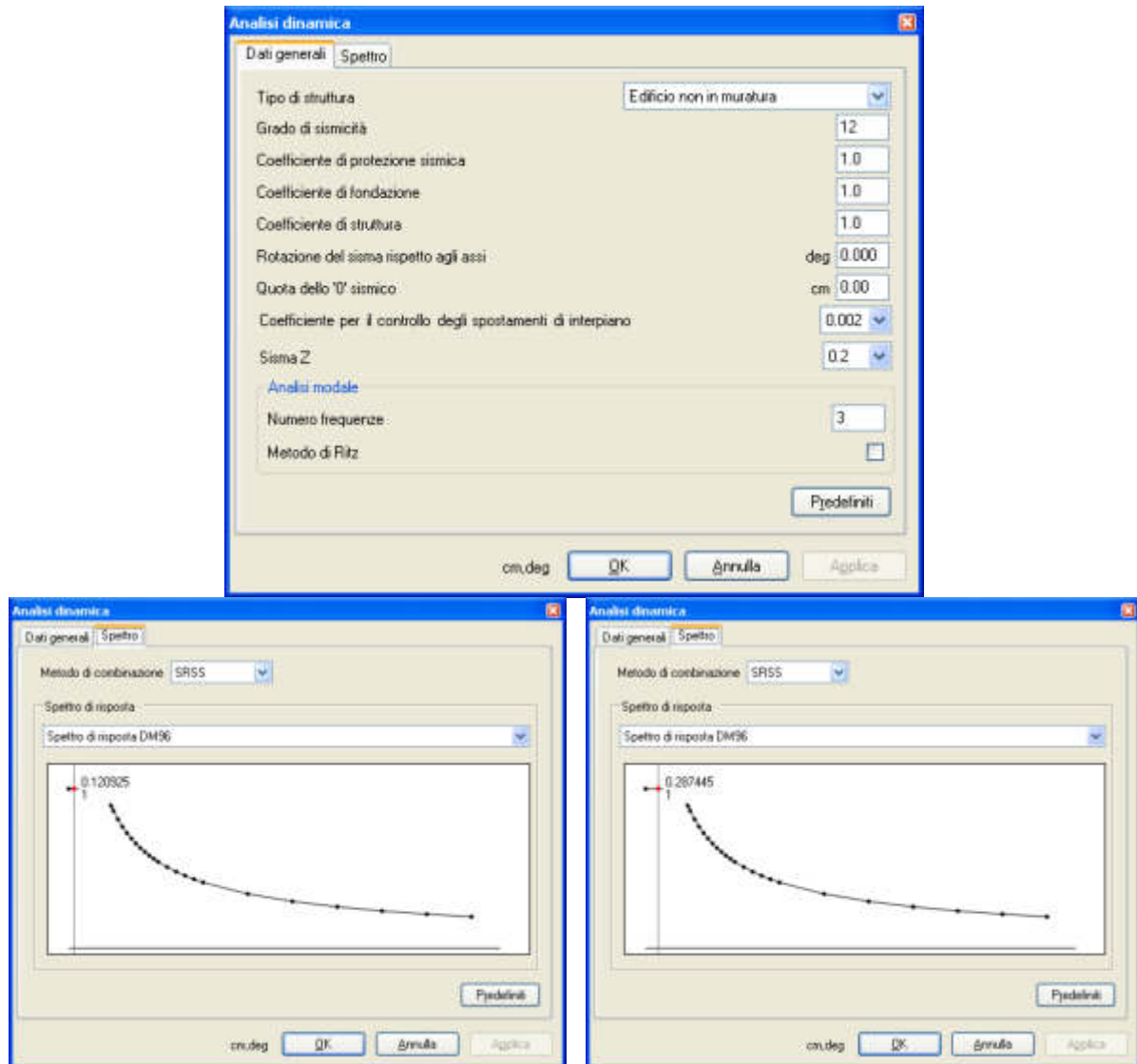
La directory della commessa di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura è *Telaio piano a 2 piani analisi dinamica DM96* presente nella cartella "*Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esempi\Casi prova valutazione affidabilit *" del profilo utente.

4.3 Descrizione della struttura

Effettuiamo l'analisi dinamica secondo D.M. 16-01-96 nello stesso telaio piano utilizzato per l'analisi statica in D.M. 16-01-96. Si omette la descrizione della struttura e dei carichi rimandando al capitolo relativo.

4.3.1. Dettagli dell'analisi dinamica

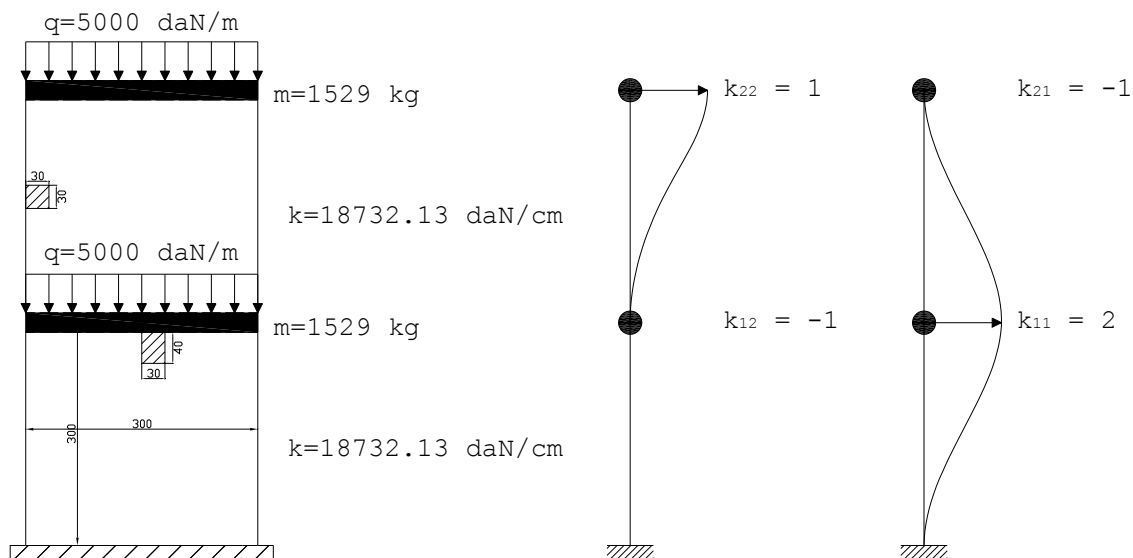
I dati relativi all'analisi dinamica con D.M. 16-01-96 sono riportati nelle figure seguenti:



4.4 Valutazione della risposta di spettro

4.4.1. Risposta di spettro valutata manualmente

Per effettuare il controllo di quanto svolto dal programma consideriamo il telaio ed andiamo a studiarlo.



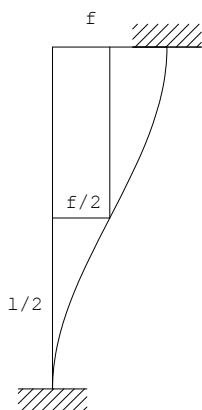
Caratteristiche di massa	$m = \frac{ql}{g} = \frac{5000 \cdot 3}{9.81} = 1529 \text{ daN} / (m/s^2)$
Caratteristiche rigidezza del traverso (consideriamolo infinitamente rigido)	$E = 100000000 \text{ daN/cm}^2$ $B = 30 \text{ cm}$ $H = 40 \text{ cm}$
Caratteristiche rigidezza dei pilastri	$E = 312202 \text{ daN/cm}^2 \text{ (RCK300)}$ $B = 30 \text{ cm}$ $H = 30 \text{ cm}$ $k = 2 \frac{12EJ}{l^3} = 2 \frac{12 \cdot 312202 \cdot 2 \cdot 67500}{27000000} = 18732.13 \text{ daN / cm}$ (2 perché considero i due pilastri per piano)

Il telaio sopra rappresentato presenta delle caratteristiche di rigidezza e massa che possono essere riassunte nella varie matrici del sistema:

Matrice di Rigidezza:

$$K = (1873213 \text{ daN / m}) \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

La matrice di rigidezza può essere ricavata come mostrato in figura: una volta bloccato un piano ed applicato uno spostamento unitario al piano privo di vincoli, nei piedritti si sviluppa una sollecitazione che corrisponde alla rigidezza degli stessi legata a spostamenti ortogonali al loro asse.



$$\frac{f}{2} = \frac{P\left(\frac{l}{2}\right)^3}{3EJ} \Rightarrow x = \frac{2 \cdot F \cdot l^3}{3 \cdot 8 \cdot EJ} \Rightarrow F = Kx \quad K = \frac{12EJ}{l^3}$$

$$K = 1873213 \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Matrice di massa:

$$M = (1529 \text{ daN} \cdot \text{s}^2 / \text{m}) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Il calcolo della matrice delle masse avviene in modo analogo, l'unica differenza consiste nel fatto di considerare un'accelerazione unitaria anziché uno spostamento unitario.

Le due matrici:

$$M^{(1)} = \begin{bmatrix} 1529 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$M^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1529 \end{bmatrix}$$

La matrice delle masse globale risulta quindi la seguente:

$$M = \begin{bmatrix} 1529 & 0 \\ 0 & 1529 \end{bmatrix}$$

Calcolo dei periodi propri di vibrazione

Consideriamo il seguente sistema:

$$\underbrace{1873213 \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}}_K \underbrace{\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}}_M - \omega^2 \underbrace{\begin{bmatrix} 1529 & 0 \\ 0 & 1529 \end{bmatrix}}_M \underbrace{\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}}_M = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

dove la prima matrice del primo membro può assumersi l'equivalente della matrice di rigidezza mentre la seconda può assumersi come la matrice di massa.

Eseguiamo la sostituzione $\omega^2 = \lambda$ ed impostiamo il problema agli autovalori:

$$\begin{bmatrix} 2 \cdot 1873213 & -1873213 \\ -1873213 & 1873213 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} 1529 & 0 \\ 0 & 1529 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Sommando le due matrici otteniamo

$$\begin{bmatrix} 2 \cdot 1873213 - 1529\lambda & -1873213 \\ -1873213 & 1873213 - 1529\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Il calcolo della soluzione non banale del sistema avviene mediante valutazione del determinante della seguente matrice:

$$\det \begin{vmatrix} 2 \cdot 1873213 - 1529\lambda & -1873213 \\ -1873213 & 1873213 - 1529\lambda \end{vmatrix} = 0$$

Ne risulta il polinomio caratteristico in cui l'unica incognita risultano essere gli autovalori λ

$$\lambda^2 - 3675.368869\lambda + 1500926.258 = 0$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{3675.368869 \pm \sqrt{13508336.32 - 6003705.032}}{2}$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{3675.368869 \pm 2739.458211}{2}$$

la soluzione dell'equazione di secondo grado produce i seguenti valori:

$$\lambda_{1,2} = \begin{cases} 467.9553292 \\ 3207.41354 \end{cases}$$

Le pulsazioni corrispondenti:

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1} = 21.63227517 \text{ rad/s} \Rightarrow T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.290454205 \text{ s}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2} = 56.63403164 \text{ rad/s} \Rightarrow T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0.110943634 \text{ s}$$

$T_1 = 0.290454205 \text{ s} \rightarrow S(T_1) = 1$ essendo $T_1 \leq 0.8 \text{ s}$

$T_2 = 0.110943634 \text{ s} \rightarrow S(T_2) = 1$ essendo $T_2 \leq 0.8 \text{ s}$

Calcolo degli autovettori

Il calcolo degli autovettori prevede la soluzione del sistema seguente, una volta eseguita la sostituzione dei valori ω_1 e ω_2

$$\begin{bmatrix} 2 \cdot 1873213 - 1529\omega_i^2 & -1873213 \\ -1873213 & 1873213 - 1529\omega_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{1,i} \\ \varphi_{2,i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

I due sistemi risulteranno indeterminati conseguentemente alla procedura adottata per la valutazione degli autovalori. Si renderà necessario andare a fissare una delle componenti dell'autovettore che si intende calcolare, ricavando così le rimanenti componenti in relazione al tale valore assunto.

<i>Primo autovettori</i>	<i>Secondo autovettori</i>
Sostituiamo ad esempio il valore di ω_1^2 nella matrice del sistema ed otteniamo:	Sostituiamo ad esempio il valore di ω_2^2 nella matrice del sistema ed otteniamo:
$\begin{bmatrix} 3030925.417 & -1873213 \\ -1873213 & 1157712.417 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{1,1} \\ \varphi_{2,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1157709.303 & -1873213 \\ -1873213 & -3030922.303 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{1,2} \\ \varphi_{2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
Assumiamo la prima componente unitaria:	Assumiamo la prima componente unitaria:
$\begin{bmatrix} 3030925.417 & -1873213 \\ -1873213 & 1157712.417 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \varphi_{2,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1157709.303 & -1873213 \\ -1873213 & -3030922.303 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \varphi_{2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
Ricaviamo la seconda componente:	Ricaviamo la seconda componente:
$\varphi_{2,1} = -\left(E_{00}^{(1)}\right)^{-1} E_{01}^{(1)} = -\frac{-1873213}{1157712.417} = 1.618$	$\varphi_{2,2} = -\left(E_{00}^{(2)}\right)^{-1} E_{01}^{(2)} = -\frac{-1873213}{-3030922.303} = -0.618$
In definitiva il primo autovettore assumerà la seguente forma:	In definitiva il secondo autovettore assumerà la seguente forma:
$\Phi_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.618 \end{bmatrix}$	$\Phi_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.618 \end{bmatrix}$

Calcolo dei coefficienti di partecipazione modale

Procediamo al calcolo dei coefficienti di partecipazione modale. Sfruttiamo la proprietà della matrice delle masse di essere diagonale:

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_k \varphi_{k,1} M_{kk}}{\sum_k \varphi_{k,1}^2 M_{kk}} = \frac{1 \cdot 1529 + 1.618 \cdot 1529}{1^2 \cdot 1529 + 1.618^2 \cdot 1529} = \frac{4003}{5531.8} = 0.72363$$

$$\Gamma_2 = \frac{\sum_k \varphi_{k,2} M_{kk}}{\sum_k \varphi_{k,2}^2 M_{kk}} = \frac{1 \cdot 1529 - 0.618 \cdot 1529}{1^2 \cdot 1529 + 0.618^2 \cdot 1529} = \frac{584}{2112.96} = 0.27639$$

E' interessante notare come la somma dei coefficienti di partecipazione modale sia pari a uno

$$\sum_i \Gamma_i \cong 1$$

Calcolo delle masse partecipanti

Procediamo al calcolo delle masse partecipanti. Sfruttiamo la proprietà della matrice delle masse di essere diagonale:

$$\frac{l_1^2}{m_1} = \frac{(\Phi_1^T M R)^2}{\Phi_1^T M \Phi_1} = \frac{\left(\begin{bmatrix} 1 & 1.618 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1529 & 0 \\ 0 & 1529 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right)^2}{\begin{bmatrix} 1 & 1.618 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1529 & 0 \\ 0 & 1529 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1.618 \end{bmatrix}} = \frac{\left(\begin{bmatrix} 1529 & 2473.9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right)^2}{\begin{bmatrix} 1529 & 2473.9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1.618 \end{bmatrix}} =$$

$$\frac{l_1^2}{m_1} = \frac{(\Phi_1^T M R)^2}{\Phi_1^T M \Phi_1} = \frac{(1 \cdot 1529 + 1.618 \cdot 1529)^2}{1^2 \cdot 1529 + 1.618^2 \cdot 1529} = \frac{16023384.54}{5531.806} = 2896.59$$

$$\frac{l_2^2}{m_2} = \frac{(\Phi_2^T M R)^2}{\Phi_2^T M \Phi_2} = \frac{(1 \cdot 1529 - 0.618 \cdot 1529)^2}{1^2 \cdot 1529 + (-0.618)^2 \cdot 1529} = \frac{341147.11}{2112.96} = 161.45$$

La massa totale del sistema è noto essere $M_T = 1529.05 \cdot 2 = 3058.1$ daN/(m/s²), la massa per ogni nodo è invece pari a $M_{\text{nodo}} = 1529.05 / 2 = 764.5$ daN/(m/s²)

La somma delle masse partecipanti è:

$$\sum_i \frac{l_i^2}{m_i} = 3058.04 \cong 3058.1 \text{ daN/(m/s}^2\text{)}$$

Le percentuali delle masse partecipanti

$$P_1 = \frac{\frac{l_1^2}{m_1}}{M_T} \cdot 100 = \frac{2896.59}{3058} = 94.7217 \%$$

$$P_2 = \frac{\frac{l_2^2}{m_2}}{M_T} \cdot 100 = \frac{161.45}{3058} = 5.2796 \%$$

$$W_1 = 30000 \cdot 94.7217 / 100 = 28416.5$$

$$W_2 = 30000 \cdot 5.2796 / 100 = 1583.9$$

$$F_h = CRIW$$

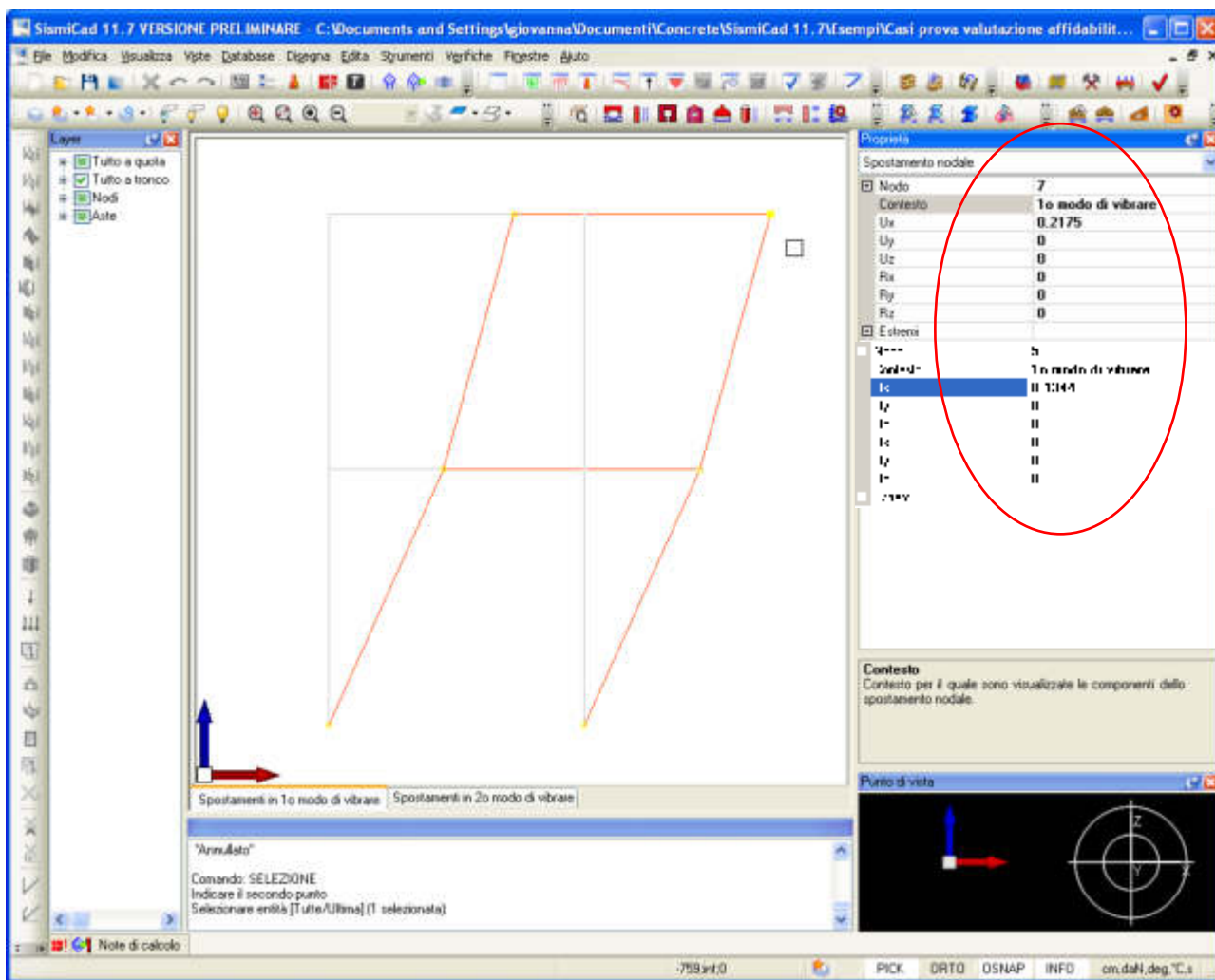
$$C = \frac{S-2}{100} = \frac{12-2}{100} = 0.1$$

$$F_{h,1} = 0.1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 28416.5 = 2841.65$$

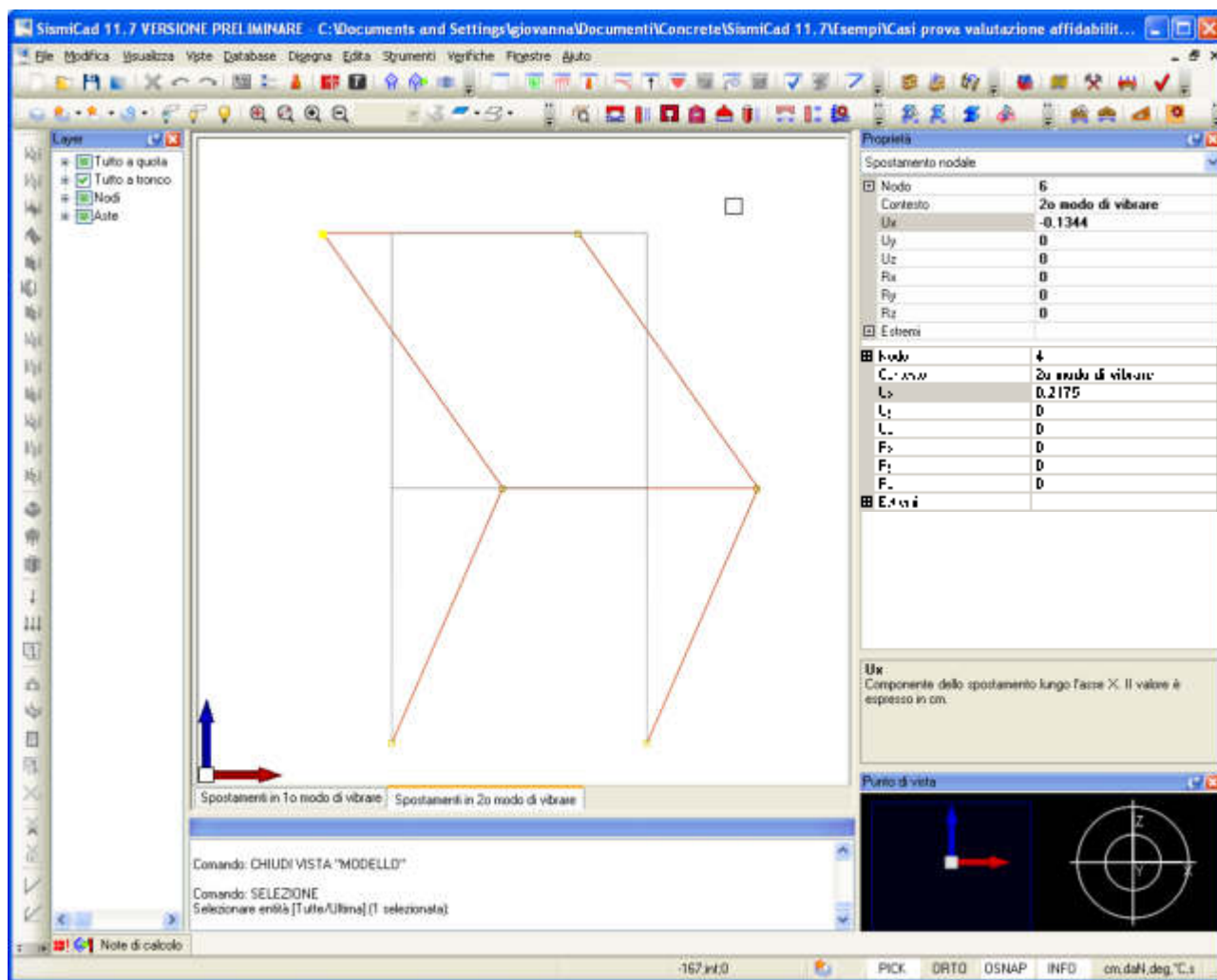
$$F_{h,2} = 0.1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1583.9 = 158.39$$

$$F_h = \sqrt{F_{h,1}^2 + F_{h,2}^2} = 2846 \text{ daN}$$

Visualizziamo i due modi di vibrare. Tali forme sono rappresentate nelle seguenti finestre riportate nel seguito.



Andando a rapportare lo spostamento calcolato da SismiCad per il primo modo di vibrare dei nodi del primo e del secondo piano otteniamo $0.2175/0.1344 = 1.618$ che è proprio il valore fornito dal secondo componente del primo autovettore, avendo normalizzato al valore del punto 1 corrispondente al piano primo.



Per il secondo modo: $-0.1344/0.2175 = -0.618$

Si noti come le forme modali sono del tutto simili a quelle ricavate dal calcolo analitico.

4.4.2. Risposta di spettro calcolata con SismiCad

Si riportano di seguito i risultati forniti dal programma:

Carichi concentrati sismici

Indice: Numero dell'elemento nell'insieme che lo contiene.

Nodo: Nodo su cui agisce il carico.

Condizione: Condizione elementare mappata nella quale agisce il carico.

F_x: Componente della forza lungo l'asse X. [daN]

F_y: Componente della forza lungo l'asse Y. [daN]

F_z: Componente della forza lungo l'asse Z. [daN]

Peso: Peso sismico. [daN]

Gamma: Coefficiente gamma. Il valore è adimensionale.

Indice	Nodo	Condizione	F _x	F _y	F _z	Peso	Gamma
1	4	Sisma X	500	0	0	7500,000	0,667
2	5	Sisma X	500	0	0	7500,000	0,667
3	6	Sisma X	1000	0	0	7500,000	1,333
4	7	Sisma X	1000	0	0	7500,000	1,333

Masse

Nodo: Nodo su cui è applicata la massa.

Massa x: Massa per la componente di spostamento lungo l'asse X. [daN/(cm/s²)]

Massa y: Massa per la componente di spostamento lungo l'asse Y. [daN/(cm/s²)]

Massa z: Massa per la componente di spostamento lungo l'asse Z. [daN/(cm/s²)]

Momento z: Massa momento d'inerzia per la componente di rotazione attorno all'asse Z. [[daN/(cm/s²)]*cm²]

Nodo	Massa X	Massa Y	Massa Z	Momento Z
4	7,645	0,000	0,000	0
5	7,645	0,000	0,000	0
6	7,645	0,000	0,000	0
7	7,645	0,000	0,000	0

Risposta di spettro

Spettro: Condizione elementare corrispondente allo spettro.

F_x: Componente della forza lungo l'asse X. [daN]

F_y: Componente della forza lungo l'asse Y. [daN]

F_z: Componente della forza lungo l'asse Z. [daN]

M_x: Componente della coppia attorno all'asse X. [daN*cm]

M_y: Componente della coppia attorno all'asse Y. [daN*cm]

Max X: Massima reazione lungo l'asse X.

Valore: Valore massimo della reazione. [daN]

Angolo: Angolo d'ingresso del sisma che provoca il valore massimo della reazione. [deg]

Max Y: Massima reazione lungo l'asse Y.

Valore: Valore massimo della reazione. [daN]

Angolo: Angolo d'ingresso del sisma che provoca il valore massimo della reazione. [deg]

Max Z: Massima reazione lungo l'asse Z.

Valore: Valore massimo della reazione. [daN]

Angolo: Angolo d'ingresso del sisma che provoca il valore massimo della reazione. [deg]

Spettro	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	Max X		Max Y		Max Z	
						Valore	Angolo	Valore	Angolo	Valore	Angolo
Sisma X	2846,00	0,00	0,00	0,00	1379700	2846,00	0	0,00	0	0,00	0
Sisma Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2846,00	0	0,00	0	0,00	0

Risposta modale

Modo: Identificativo del modo di vibrare.

Periodo: Periodo. [s]

Massa X: Massa partecipante in direzione globale X.

Massa Y: Massa partecipante in direzione globale Y.

Massa Z: Massa partecipante in direzione globale Z.

Totale masse partecipanti:

Componente X: 1,000000

Componente Y: 0,000000

Componente Z: 0,000000

Modo	Periodo	Massa X	Massa Y	Massa Z
1	0,294268000	0,947210000	0,000000000	0,000000000
2	0,112400000	0,052790000	0,000000000	0,000000000
3	0,000583000	0,000000000	0,000000000	0,000000000

4.5 Riepilogo dei risultati

	SismiCad	Analitico	Scarto
Periodo modo 1	0.294268 s	0.290454 s	1.36 %
Periodo modo 2	0.1124 s	0.110943 s	1.36 %
Massa nodale	7.645 daN/(cm/s ²)	7.645 daN/(cm/s ²)	0.0%
% Massa modo 1	94.721 %	94.721 %	0.0 %
% Massa modo 2	5.279 %	5.279 %	0.0 %
Tagliante sismico totale	2846 daN	2846 daN	0.0 %
Spostamento normalizzato m1	0.2175/0.1344 = 1.618	1.618	0.0%

Spostamento normalizzato m2	$-0.1344/0.2175 = -0.618$	-0.618	0.0%
-----------------------------	---------------------------	--------	------

Si noti come le differenze sono molto contenute e comunque legate principalmente agli errori di troncamento dei calcoli analitici.

5. Esempio di applicazione dello spettro di risposta ORDINANZA 3431

Si sviluppa ora il calcolo relativo allo stesso telaio analizzato in precedenza in analisi dinamica lineare secondo Ordinanza 3431.

5.1 Scopo dell'esempio

Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare le seguenti caratteristiche del programma:

- calcolo del periodo del 1° e 2° modo;
- calcolo della massa;
- spettro di progetto per il periodo del 2° modo
- calcolo della % di massa nel 1° e 2° modo;
- calcolo del tagliante sismico totale.

5.2 File associati all'esempio

Le directory delle commesse di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura sono *Telaio piano a 2 piani analisi dinamica ORD3431 modi vibrare CQC* e *Telaio piano a 2 piani analisi dinamica ORD3431 modi vibrare SRSS* presenti nella cartella “\Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esempi\Casi prova valutazione affidabilit ” del profilo utente.

5.3 Descrizione della struttura

Effettuiamo l'analisi dinamica secondo Ordinanza 3431 nello stesso telaio piano utilizzato per l'analisi statica in D.M. 16-01-96. Si omette la descrizione della struttura e dei carichi rimandando al capitolo relativo.

5.3.1. Dettagli dell'analisi dinamica

I dati relativi all'analisi dinamica in Ordinanza sono riportati nelle figure seguenti:

Il metodo di combinazione utilizzato in questo caso è SRSS; successivamente verrà considerato il metodo di combinazione CQC.

5.4 Valutazione della risposta di spettro

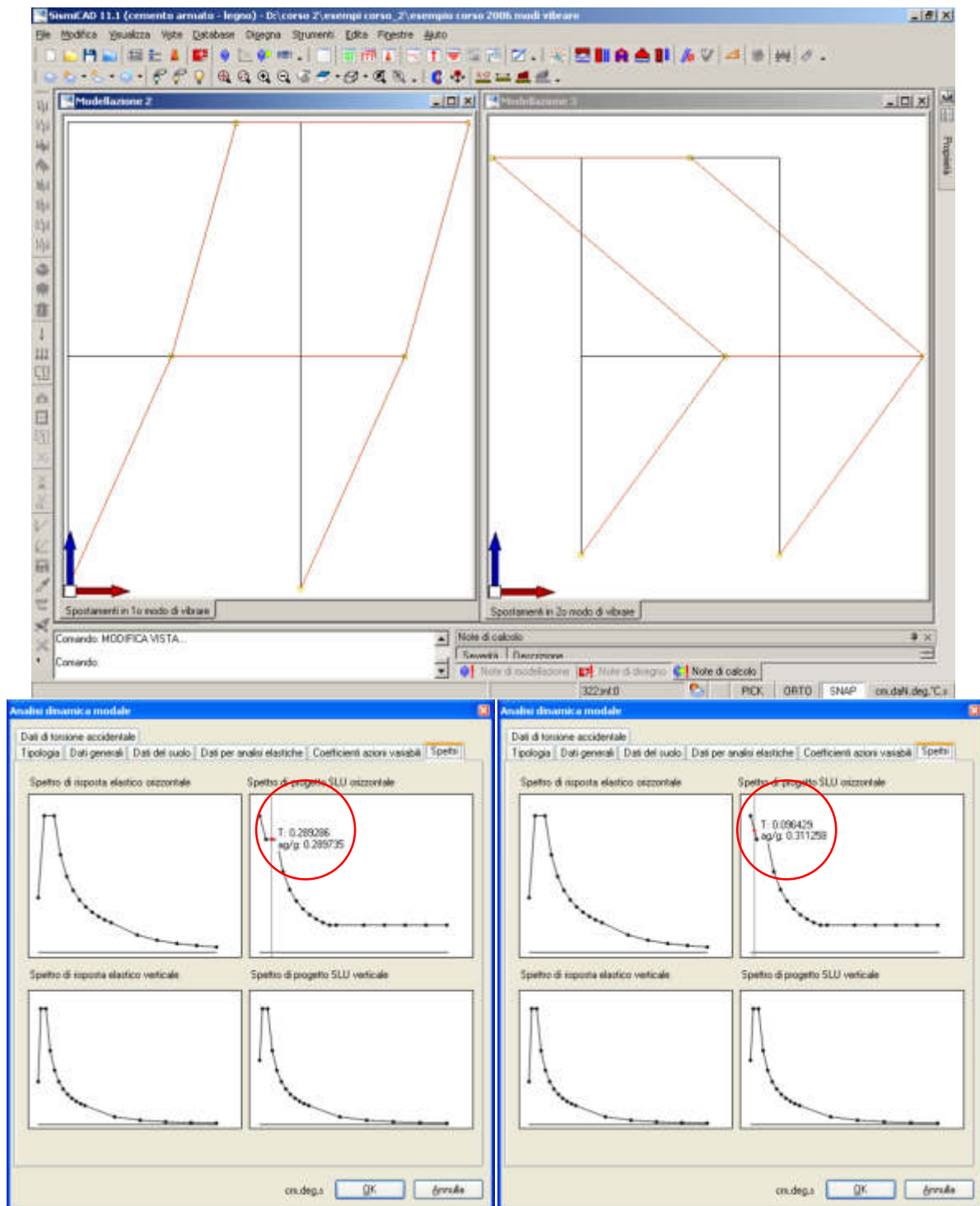
5.4.1. Risposta di spettro valutata manualmente

Ci siamo proposti di controllare manualmente il risultato relativo al tagliante modale.

Per ogni modo abbiamo valutato sulla base del periodo proprio di vibrazione il valore della accelerazione spettrale e abbiamo quindi determinato i massimi vettori delle forze statiche equivalenti dei vari modi mediante la seguente relazione:

$$F_{sj}^{\max} = \mathbf{M} \Phi_j \gamma_j g S_{Ad}(T_j, \xi_j)$$

tratta da L.Petrini, R.Pinheiro, G.M.Calvi, Criteri di progettazione antisismica degli edifici, Iuss Press



M e Φ_j sono la matrice delle masse e gli autovettori calcolati nell'esempio precedente:

$$M = \begin{bmatrix} 1529 & 0 \\ 0 & 1529 \end{bmatrix}, \Phi_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.618 \end{bmatrix}, \Phi_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.618 \end{bmatrix}$$

$$F_{sj}^{\max} = M \Phi_j \gamma_j g S_{Ad}(T_j, \xi_j)$$

Il valore di S_{Ad} in funzione del primo periodo si ricava dalla figura soprastante essendo all'interno del plateau ed è pari a **0.289735** s.

Il valore di S_{Ad} in funzione del secondo periodo lo ricaviamo applicando la formula dello spettro di progetto per $0 \leq T < T_B$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - 1 \right) \right] = 0.35 \cdot 1 \cdot \left[1 + \frac{0.11094}{0.15} \cdot \left(\frac{2.5}{3.02} - 1 \right) \right] = 0.3054$$

Quindi:

$$F_{s1}^{\max} = \begin{pmatrix} 1529 & 0 \\ 0 & 1529 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1.618 \end{pmatrix} \cdot 0.72363 \cdot 9.81 \cdot 0.289735 = \begin{pmatrix} 3144.8 \\ 5088.3 \end{pmatrix}$$

$$F_{s2}^{\max} = \begin{pmatrix} 1529 & 0 \\ 0 & 1529 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -0.618 \end{pmatrix} \cdot 0.27639 \cdot 9.81 \cdot 0.3054 = \begin{pmatrix} 1266.1 \\ -782.45 \end{pmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_{piano2,modo1} & F_{piano2,modo2} \\ F_{piano1,modo1} & F_{piano1,modo2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5088.3 & 1266.1 \\ 3144.8 & -782.45 \end{bmatrix}$$

$$F_{modo1} = 8233.11 \text{ daN}$$

$$F_{modo2} = 483.65 \text{ daN}$$

Poiché i massimi taglianti relativi ai vari modi di vibrare non si verificano contemporaneamente il tagliante totale deve essere calcolato attraverso uno dei metodi di combinazione indicati dalla norma.

Metodo di combinazione SRSS

Il metodo SRSS, cioè la radice quadrata della somma dei quadrati, fornisce:

$$E = \sqrt{\sum_i E_i^2}$$

$$E_1 = F_{modo1}$$

$$E_2 = F_{modo2}$$

$$E = \sqrt{8233.11^2 + 483.65^2} = 8247.3 \text{ daN.}$$

Metodo di combinazione SRSS

Scegliendo in alternativa il metodo CQC otteniamo i seguenti risultati.

$$E = \sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{ij} E_i E_j}$$

$$\rho_{ij} = \frac{(8\xi^2 (1 + \beta_{ij}) \beta_{ij}^{3/2})}{((1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \beta_{ij} (1 + \beta_{ij})^2)}$$

$$\beta_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$$

$$\beta_{11} = \beta_{22} = 1 \quad \beta_{12} = \frac{0.290454}{0.1109436} = 2.618033 \quad \beta_{21} = \frac{0.1109436}{0.290454} = 0.381966$$

$$\xi = 0.05$$

$$\rho_{11} = \rho_{22} = 1$$

$$\rho_{12} = \frac{(8 \cdot 0.05^2 \cdot (1 + 2.618033) \cdot 2.618033^{3/2})}{((1 - 2.618033^2)^2 + 4 \cdot 0.05^2 \cdot 2.618033 \cdot (1 + 2.618033)^2)} = 0.008855$$

$$\rho_{21} = \frac{(8 \cdot 0.05^2 \cdot (1 + 0.381966) \cdot 0.381966^{3/2})}{((1 - 0.381966^2)^2 + 4 \cdot 0.05^2 \cdot 0.381966 \cdot (1 + 0.381966)^2)} = 0.008855$$

$$E = \sqrt{\rho_{11} E_1^2 + \rho_{12} E_1 E_2 + \rho_{21} E_2 E_1 + \rho_{22} E_2^2}$$

$$E = \sqrt{8233.11^2 + 2 \cdot 0.008855 \cdot 8233.1 \cdot 483.65 + 483.65^2} = 8251.58 \text{ daN}$$

5.4.2. Risposta di spettro calcolata con SismiCad

Si riportano di seguito i risultati forniti dal programma:

Carichi concentrati sismici

Indice: Numero dell'elemento nell'insieme che lo contiene.

Nodo: Nodo su cui agisce il carico.

Condizione: Condizione elementare mappata nella quale agisce il carico.

F_x: Componente della forza lungo l'asse X. [daN]

F_y: Componente della forza lungo l'asse Y. [daN]

F_z: Componente della forza lungo l'asse Z. [daN]

Peso: Peso sismico. [daN]

Gamma: Coefficiente gamma. Il valore è adimensionale.

Indice	Nodo	Condizione	F _x	F _y	F _z	Peso	Gamma
1	4	Sisma X	1449	0	0	7500	0.667
2	4	Sisma X SLD	1750	0	0	7500	0.667
3	5	Sisma X	1449	0	0	7500	0.667
4	5	Sisma X SLD	1750	0	0	7500	0.667
5	6	Sisma X	2897	0	0	7500	1.333
6	6	Sisma X SLD	3500	0	0	7500	1.333
7	7	Sisma X	2897	0	0	7500	1.333
8	7	Sisma X SLD	3500	0	0	7500	1.333

Masse

Nodo: Nodo su cui è applicata la massa.

Massa X: Massa per la componente di spostamento lungo l'asse X. [daN/(cm/s²)]

Massa Y: Massa per la componente di spostamento lungo l'asse Y. [daN/(cm/s²)]

Massa Z: Massa per la componente di spostamento lungo l'asse Z. [daN/(cm/s²)]

Momento Z: Massa momento d'inerzia per la componente di rotazione attorno all'asse Z. [[daN/(cm/s²)]*cm²]

Nodo	Massa X	Massa Y	Massa Z	Momento Z
4	7,645	0,000	0,000	0
5	7,645	0,000	0,000	0
6	7,645	0,000	0,000	0
7	7,645	0,000	0,000	0

Masse aggregate

Nodo: Indice del nodo in cui si considera l'aggregazione delle masse.

Massa X: Massa per la componente di spostamento lungo l'asse X. [daN/(cm/s²)]

Massa Y: Massa per la componente di spostamento lungo l'asse Y. [daN/(cm/s²)]

Massa Z: Massa per la componente di spostamento lungo l'asse Z. [daN/(cm/s²)]

Momento Z: Massa momento d'inerzia per la componente di rotazione attorno all'asse Z. [[daN/(cm/s²)]*cm²]

Nodo	Massa X	Massa Y	Massa Z	Momento Z
4	7,645	0,000	0,000	
5	7,645	0,000	0,000	
6	7,645	0,000	0,000	
7	7,645	0,000	0,000	

Risposta di spettro SRSS

Spettro: Condizione elementare corrispondente allo spettro.

F_x: Componente della forza lungo l'asse X. [daN]

F_y: Componente della forza lungo l'asse Y. [daN]

F_z: Componente della forza lungo l'asse Z. [daN]

M_x: Componente della coppia attorno all'asse X. [daN*cm]

M_y: Componente della coppia attorno all'asse Y. [daN*cm]

M_z: Componente della coppia attorno all'asse Z. [daN*cm]

Max X: Massima reazione lungo l'asse X.

Valore: Valore massimo della reazione. [daN]

Angolo: Angolo d'ingresso del sisma che provoca il valore massimo della reazione. [deg]

Max Y: Massima reazione lungo l'asse Y.

Valore: Valore massimo della reazione. [daN]

Angolo: Angolo d'ingresso del sisma che provoca il valore massimo della reazione. [deg]

Max Z: Massima reazione lungo l'asse Z.

Valore: Valore massimo della reazione. [daN]

Angolo: Angolo d'ingresso del sisma che provoca il valore massimo della reazione. [deg]

Spettro	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Max X		Max Y		Max Z	
							Valore	Angolo	Valore	Angolo	Valore	Angolo
Sisma X	8247,4	0,00	0,00	0,00	4E+06	0,00	8247,4	0	0,00	0	0,00	0
Sisma Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8247,4	0	0,00	0	0,00	0
Sisma X SLD	9956,9	0,00	0,00	0,00	5E+06	0,00	9956,9	0	0,00	0	0,00	0
Sisma Y SLD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9956,9	0	0,00	0	0,00	0

Risposta modale

Modo: Identificativo del modo di vibrare.

Periodo: Periodo. [s]

Massa X: Massa partecipante in direzione globale X.

Massa Y: Massa partecipante in direzione globale Y.

Massa Z: Massa partecipante in direzione globale Z.

Totale masse partecipanti:

Componente X: 1,000000

Componente Y: 0,000000

Componente Z: 0,000000

Modo	Periodo	Massa X	Massa Y	Massa Z
1	0,294268000	0,947210000	0,000000000	0,000000000
2	0,112400000	0,052790000	0,000000000	0,000000000
3	0,000583000	0,000000000	0,000000000	0,000000000

I risultati che si ottengono con il programma utilizzando il metodo di combinazione CQC sono riportati nel paragrafo seguente.

Risposta di spettro CQC

Spettro: Condizione elementare corrispondente allo spettro.

Fx: Componente della forza lungo l'asse X. [daN]

Fy: Componente della forza lungo l'asse Y. [daN]

Fz: Componente della forza lungo l'asse Z. [daN]

Mx: Componente della coppia attorno all'asse X. [daN*cm]

My: Componente della coppia attorno all'asse Y. [daN*cm]

Mz: Componente della coppia attorno all'asse Z. [daN*cm]

Max X: Massima reazione lungo l'asse X.

Valore: Valore massimo della reazione. [daN]

Angolo: Angolo d'ingresso del sisma che provoca il valore massimo della reazione. [deg]

Max Y: Massima reazione lungo l'asse Y.

Valore: Valore massimo della reazione. [daN]

Angolo: Angolo d'ingresso del sisma che provoca il valore massimo della reazione. [deg]

Max Z: Massima reazione lungo l'asse Z.

Valore: Valore massimo della reazione. [daN]

Angolo: Angolo d'ingresso del sisma che provoca il valore massimo della reazione. [deg]

Spettro	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Max X		Max Y		Max Z	
							Valore	Angolo	Valore	Angolo	Valore	Angolo
Sisma X	8251,6	0,00	0,00	0,00	4E+06	0,00	8251,6	0	0,00	0	0,00	0
Sisma Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8251,6	0	0,00	0	0,00	0
Sisma X SLD	9961,0	0,00	0,00	0,00	5E+06	0,00	9961,0	0	0,00	0	0,00	0
Sisma Y SLD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9961,0	0	0,00	0	0,00	0

5.5 Riepilogo dei risultati

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
Periodo modo 1	0.294268 s	0.290454 s	1.36 %
Periodo modo 2	0.1124 s	0.110943 s	1.36 %
Massa nodale	7.645 daN/(cm/s ²)	7.645 daN/(cm/s ²)	0.0%
Spettro di progetto T ₂	0.3054	0.3054	0.0%
% Massa modo 1	94.721 %	94.721 %	0.0 %
% Massa modo 2	5.279 %	5.279 %	0.0 %
Tagliante sismico totale SRSS	8247.4 daN	8247.3 daN	0.0 %
Tagliante sismico totale CQC	8251.6 daN	8251.58 daN	0.0%

6. Esempio di telaio multipiano

E' stato preso come esempio di riferimento il telaio a pagina 125 del libro "L.Petrini, R.Pinho, G.M.Calvi, Criteri di progettazione antisismica degli edifici". L'input dei dati viene svolto secondo quanto è definito nella trattazione riportata nel testo, viene poi svolta un'analisi dinamica modale per calcolare i periodi e le masse partecipanti di questa struttura.

6.1 Scopo dell'esempio

Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare le seguenti caratteristiche del programma:

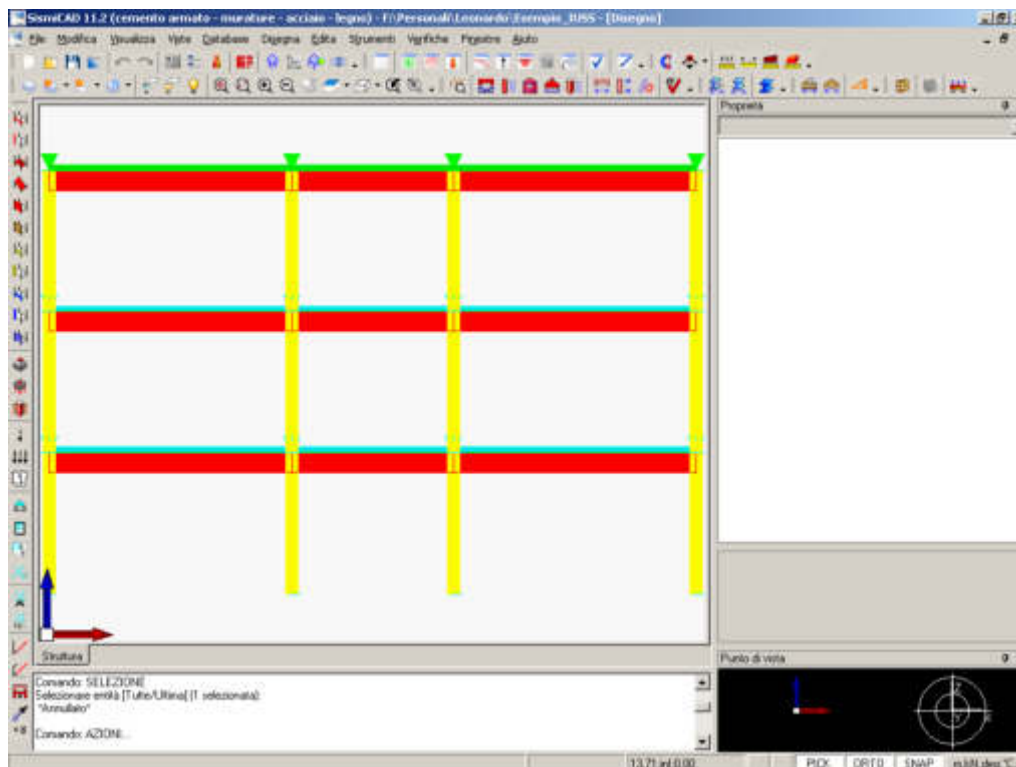
- calcolo del periodo del 1°, 2° e 3° modo;
- calcolo della percentuale di massa partecipante;
- calcolo della massa sismica ai piani;
- forze sismiche equivalenti ai piani.

6.2 File associati all'esempio

La directory della commessa di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura è *Esempio Iuss Press* presente nella cartella "*Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esempi\Casi prova valutazione affidabilità*" del profilo utente.

6.3 Descrizione della struttura

Il telaio che si andrà a realizzare è quello riportato nell'immagine seguente:



6.3.1. Dimensioni degli elementi strutturali

Proprietà delle travi

Proprietà	
Trave C.A.	
Sezione	R 30*50
Punto di inserimento	Centro anima
Quota iniziale	Piano 3
Quota finale	Piano 3
Punto iniziale	1000; 0
Punto finale	1600; 0
Estradosso	0
Materiale	RCK300 senza peso_IUSS
Carico lineare	Nessuno
Variazione termica	Nessuno
Sovreresistenza	0
Sisma Z	No
Cerniera iniziale	No
Cerniera finale	No
Fondazione	No
Forma	Asse + Solido
Punto FEM iniziale	1000; 0; 1050
Punto FEM finale	1600; 0; 1050
Sezione Riferimento ad una definizione di sezione C.A.	

Lunghezza travi $l_1 = 600$ cm

Lunghezza travi $l_2 = 400$ cm

Lunghezza travi $l_3 = 600$ cm

Proprietà dei piedritti

Proprietà	
Pilastro C.A.	
Tronco	Fondazione - Piano 1
Sezione	R 30*30
Punto di inserimento	Centro-centro
Punto	600; 0
Angolo	0
Materiale	RCK300 senza peso_IUSS
Carico lineare	<input type="checkbox"/> Nessuno
Variazione termica	<input type="checkbox"/> Nessuno
Sovraresistenza	0
Sisma Z	No
Cerniera iniziale	No
Cerniera finale	No
Forma	Asse + Solido
Punto FEM iniziale	600; 0; 0
Punto FEM finale	600; 0; 350

Sezione
Riferimento ad una definizione di sezione C.A.

Ad ogni piano sono presenti tre piedritti di pari rigidezza.

Altezza pilastri $h = 350$ cm

Il materiale adottato per travi e pilastri è senza peso e con modulo elastico $E = 300000 \text{ daN/cm}^2$.

6.3.2. Analisi dei carichi

Si fa riferimento alle seguenti condizioni di carico con impostati i corretti coefficienti Psi derivanti dalla destinazione d'uso del fabbricato.

Definizioni dei carichi							
Condizioni							
	Descrizione	I/II	Durata	Psi0	Psi1	Psi2	con segno
1	Permanent		Permanente				
2	Variable	I	Media	0,7	0,5	0,2	
3	Neve	I	Media	0,7	0,6	0,3	
4	Delta T	II	Media	0,6	0,5	0	<input type="checkbox"/>
5	Sisma X						
6	Sisma Y						
7	Sisma Z						
8	Sisma X SLD						
9	Sisma Y SLD						
10	Sisma Z SLD						
11	Rig. Ux						
12	Rig. Uy						
13	Rig. Rz						

m, daN, deg, °C, s

OK Annulla Applica

I carichi applicati vengono riportati di seguito; vengono applicati dei carichi lineari e dei carichi concentrati derivanti dai telai ortogonali.

Definizioni dei carichi

Condizioni Concentrati **Lineari** Superficiali Termici Potenziali Incompatibilità Combinazioni

	Descrizione	Colore	Permanenti	Variable	Neve
► 1	copertura				
	Fx/F1 iniziale		0	0	0
	Fx/F1 finale		0	0	0
	Fy/F2 iniziale		0	0	0
	Fy/F2 finale		0	0	0
	Fz/F3 iniziale		-2583	-833	-250
	Fz/F3 finale		-2583	-833	-250
	Mx/M1 iniziale		0	0	0
	Mx/M1 finale		0	0	0
	My/M2 iniziale		0	0	0
	My/M2 finale		0	0	0
	Mz/M3 iniziale		0	0	0
	Mz/M3 finale		0	0	0
	Fi		1	1	1
2	impalcato				
	Fx/F1 iniziale		0	0	0
	Fx/F1 finale		0	0	0
	Fy/F2 iniziale		0	0	0
	Fy/F2 finale		0	0	0
	Fz/F3 iniziale		-2583	-833	0
	Fz/F3 finale		-2583	-833	0
	Mx/M1 iniziale		0	0	0
	Mx/M1 finale		0	0	0
	My/M2 iniziale		0	0	0
	My/M2 finale		0	0	0
	Mz/M3 iniziale		0	0	0
	Mz/M3 finale		0	0	0
	Fi		1	0,5	0

m,daN,deg.°C,s

OK Annulla Applica

Definizioni dei carichi

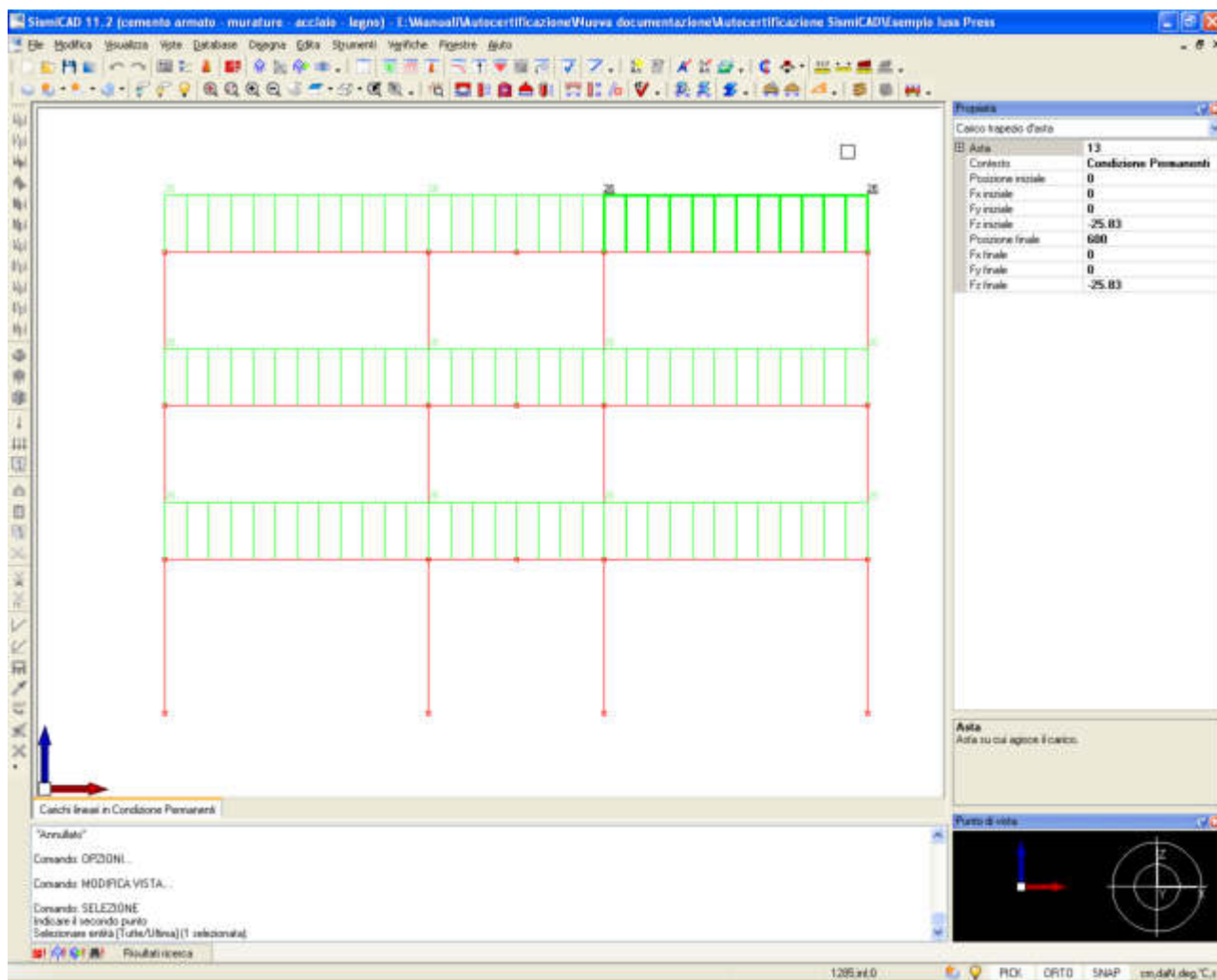
Condizioni Concentrati **Lineari** Superficiali Termici Potenziali Incompatibilità Combinazioni

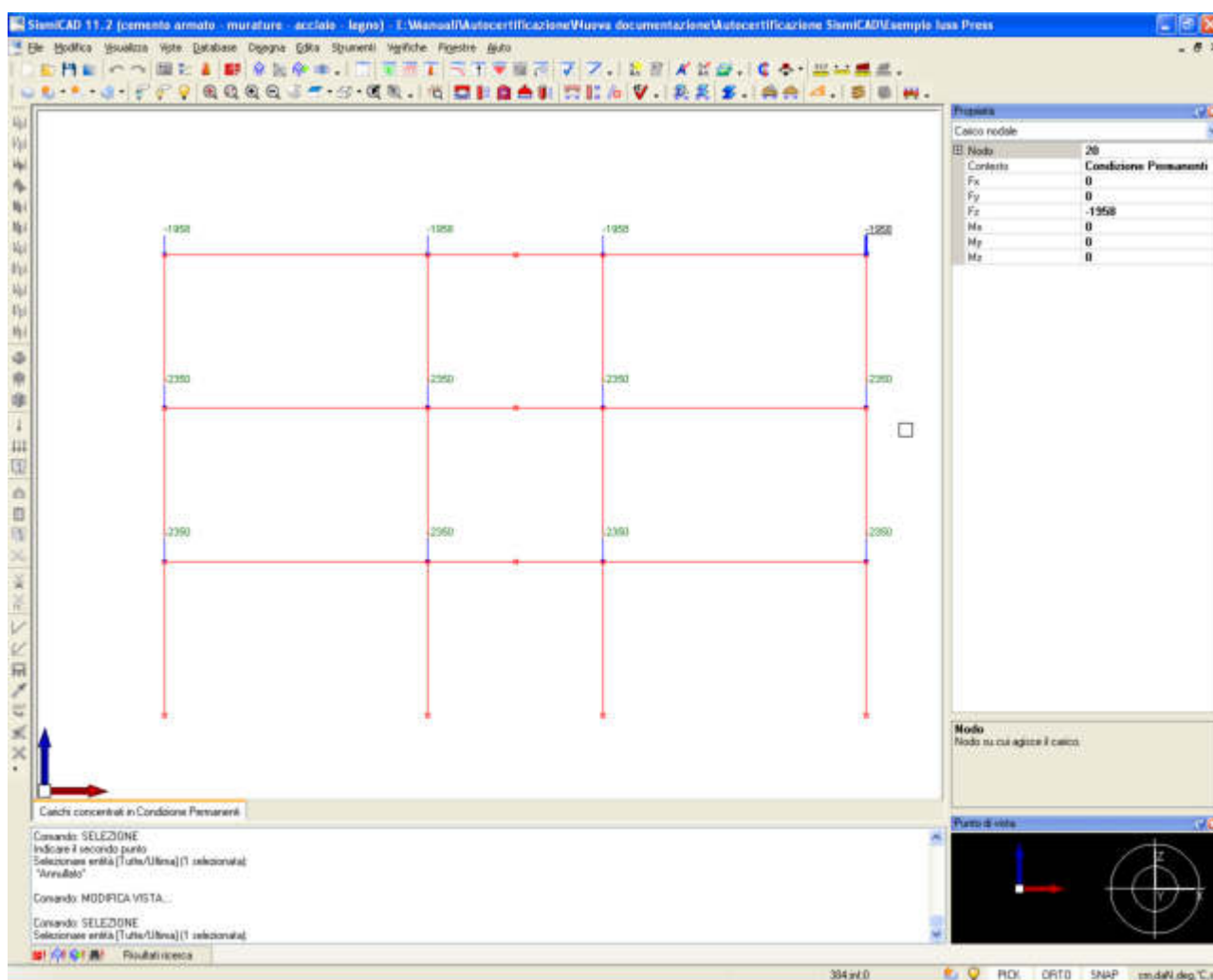
	Descrizione	Colore	Permanenti	Variable	Neve
► 1	conc copertura				
	Fx		0	0	0
	Fy		0	0	0
	Fz		-1958	0	0
	Mx		0	0	0
	My		0	0	0
	Mz		0	0	0
	Fi		1	0	0
2	conc impalcato				
	Fx		0	0	0
	Fy		0	0	0
	Fz		-2350	0	0
	Mx		0	0	0
	My		0	0	0
	Mz		0	0	0
	Fi		1	0	0

m,daN,deg.°C,s

OK Annulla Applica

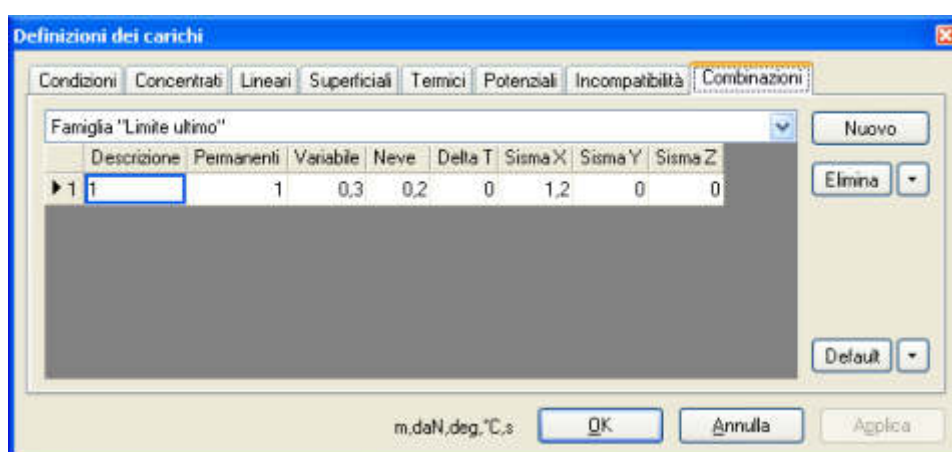
Il lineare impalcato viene assegnato ad ogni piano ad eccezione dell'ultimo in cui si inserisce il carico lineare copertura. I concentrati vengono invece inseriti in corrispondenza dei telai ortogonali. Si riporta una schematizzazione dei lineari e concentrati inseriti.





Alla trave e ai pilastri è stato assegnato un materiale senza peso in modo che il calcolo del peso sismico sia influenzato dai soli carichi lineari e concentrati.

Si fa riferimento ad un'unica combinazione di carico che viene riportata nell'apposita finestra.



6.3.3. Dettagli dell'analisi statica

I dati richiesti dall'Ordinanza sono i seguenti:

Analisi dinamica modale - Dati di torsione accidentale

☐ Edificio esistente

Verifica con fattore di struttura: ☐ Verifica SLS

☒ Edificio in cemento armato

Tipologia delle strutture in c.a.: Strutture a telaio qp=4.5"allau/allat

allau/allat: Edificio a telaio con più piani e più campate allau/allat=1.3

☐ Edificio in acciaio

Tipologia delle strutture in acciaio: Strutture miste

allau/allat: Edificio ad un piano allau/allat=1.1

Componente modale: tutti

☐ Edificio in muratura

allau/allat: Edificio in muratura ordinaria ad un piano allau/allat=1.4

cn.degs

Analisi dinamica modale - Dati generali

Zona sismica: Zona 2 ag/g = 0.25

Categoria di importanza: II

Amplificazione topografica: 1.0

Classe di duttilità: A

Coefficiente per spostamenti di interpiano: 0.005

Fattore di struttura orizzontale: Default (5.05)

Fattore di struttura verticale: Default (1.50)

Rotazione del soma rispetto agli assi: deg 0

Quota dello "0" sismico: cm 0

Moltiplicatore del soma in direzione X (per default combinazioni): 1.000

Moltiplicatore del soma in direzione Y (per default combinazioni): 1.000

Sincronismo viscoso equivalente (%): 5

Considerazione della torsione accidentale per piani flessibili: ☐

Torsione accidentale secondo (4.5.2): ☐

Regolarità in pianta: ☒

Regolarità in elevazione: ☒

Applicazione dello smorzamento viscoso agli spetti di progetto: ☐

cn.degs

Analisi dinamica modale - Dati per analisi elastiche

Analisi statica lineare

Altezza H (4.5.2): cm Default (1050)

CT (4.5.2): Default (0.075)

TI (4.5.2): a 0.01000

Lambda (4.5.2): 1.00

Analisi dinamica modale

Numero frequenze: 9

Metodo combinazione: CQC

Metodo di Ritz: ☐

cn.degs

Analisi dinamica modale - Coefficienti azioni variabili

Condizione: Ps2

Condizione	Ps2
Permanenti	
Variable	0.3
Nave	0.2

cn.degs

Il suolo è di tipo B.

6.4 Valutazione della risposta di spettro

6.4.1. Risposta di spettro calcolata con SismiCad

Alla fine dell'elaborazione otteniamo i seguenti risultati che possiamo reperire dalla stampa dei capitoli di relazione relativi alla risposta modale e alla modellazione delle masse.

Risposta modale

Modo: Identificativo del modo di vibrare.

Periodo: Periodo. [s]

Massa X: Massa partecipante in direzione globale X.

Massa Y: Massa partecipante in direzione globale Y.

Massa Z: Massa partecipante in direzione globale Z.

Totale masse partecipanti:

Componente X:	1,000000
Componente Y:	1,000010
Componente Z:	0,000000

Modo	Periodo	Massa X	Massa Y	Massa Z
1	3,656865000	0,000000000	0,728120000	0,000000000
2	3,227949000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
3	0,811546000	0,891770000	0,000000000	0,000000000
4	0,556158000	0,000000000	0,214630000	0,000000000
5	0,501057000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
6	0,274290000	0,090540000	0,000000000	0,000000000
7	0,207596000	0,000000000	0,057260000	0,000000000
8	0,187709000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
9	0,176876000	0,017690000	0,000000000	0,000000000

Masse

Nodo:Nodo su cui e' applicata la massa.

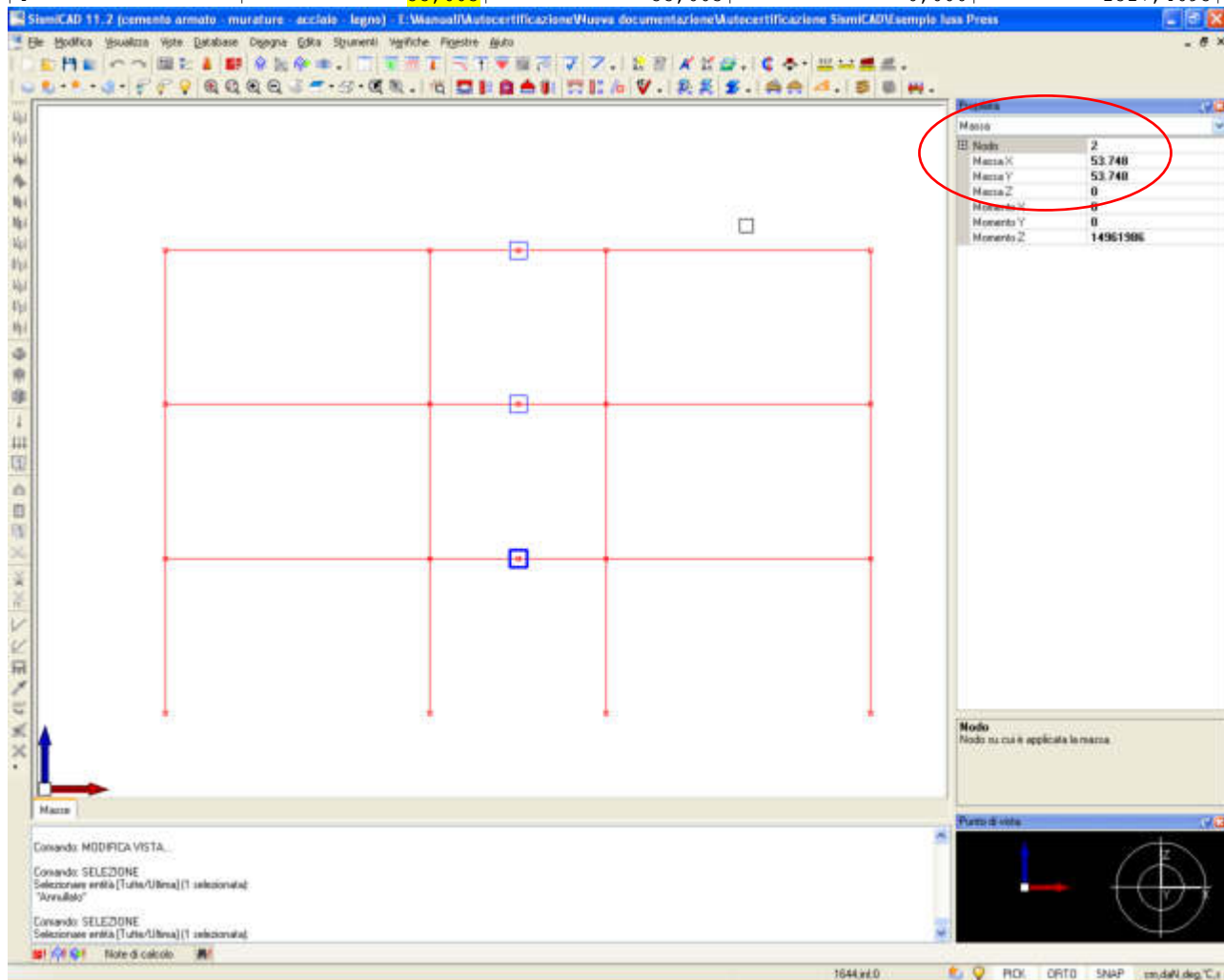
Massa X:Massa per la componente di spostamento lungo l'asse X. [daN/(cm/s²)]

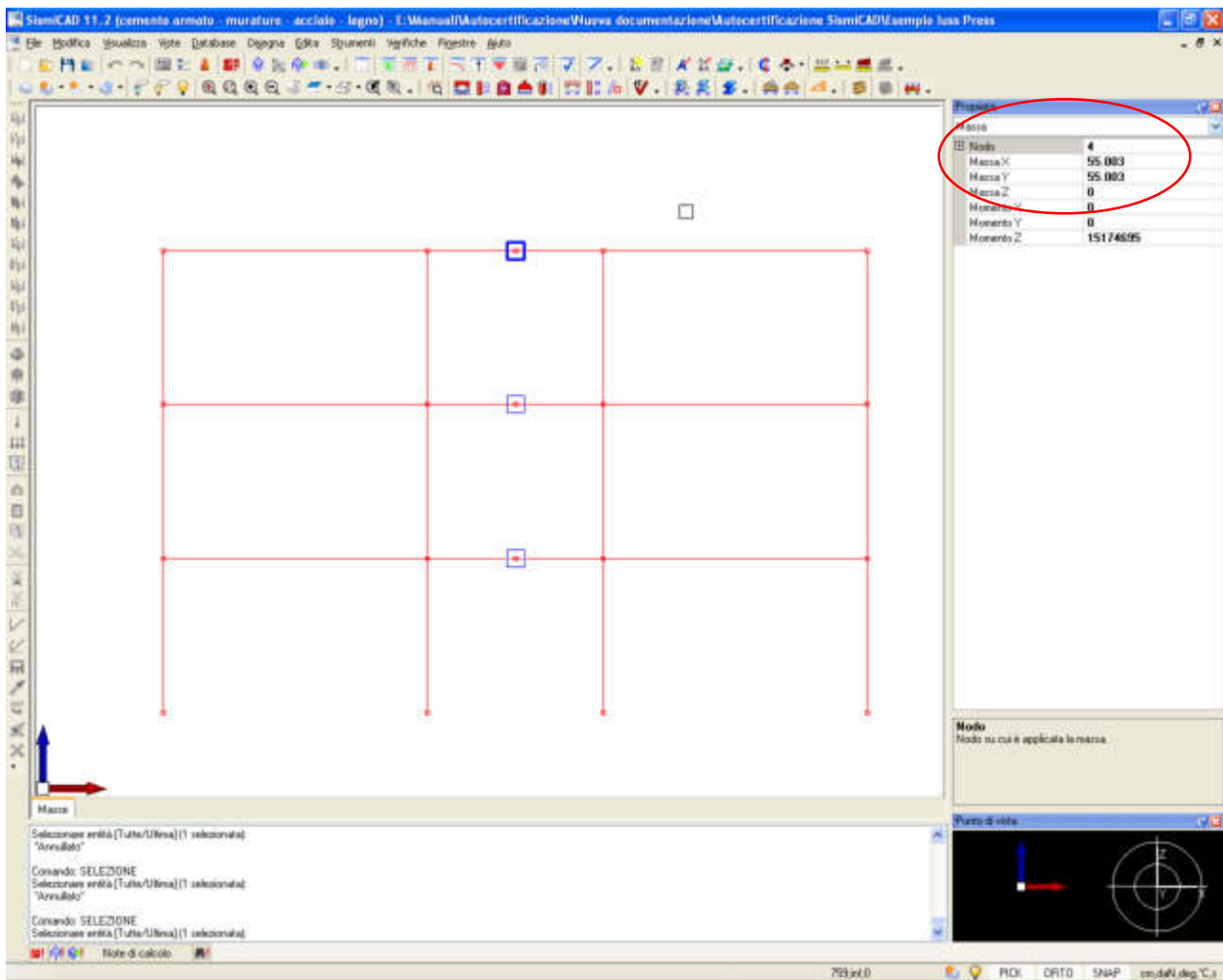
Massa Y:Massa per la componente di spostamento lungo l'asse Y. [daN/(cm/s²)]

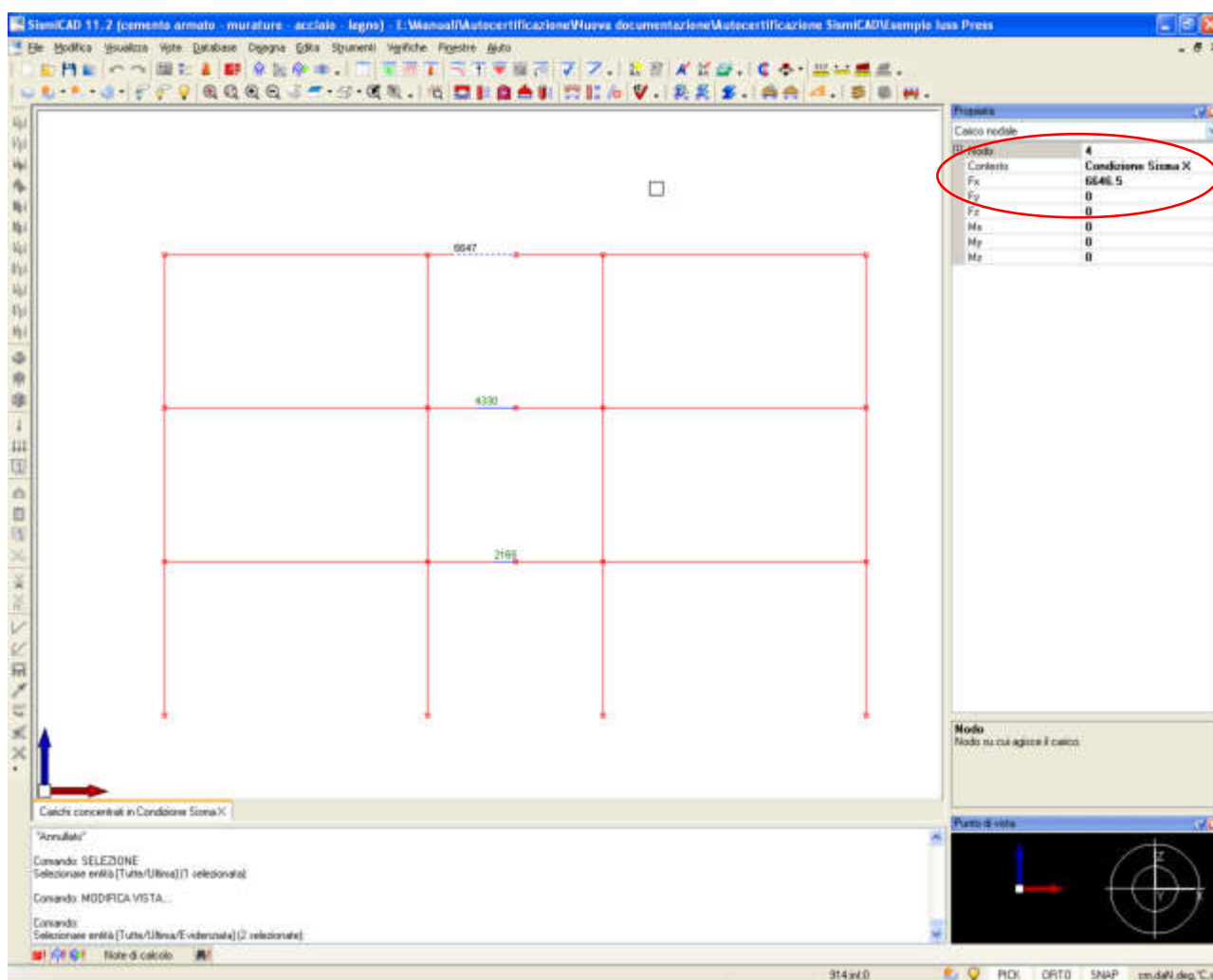
Massa Z:Massa per la componente di spostamento lungo l'asse Z. [daN/(cm/s²)]

Momento Z:Massa momento d'inerzia per la componente di rotazione attorno all'asse Z. [[kN/(m/s²)] *m²]

Nodo	Massa X	Massa Y	Massa Z	Momento Z
2	53,748	53,748	0,000	1496,1986
3	53,748	53,748	0,000	1496,1986
4	55,003	55,003	0,000	1517,4695







6.5 Riepilogo dei risultati

	<i>SismiCad</i>	Caso di riferimento	Scarto
1° periodo direzione X	0,811546	0.81	
2° periodo direzione X	0,27429	0.27	
3° periodo direzione X	0,176876	0.18	
Massa partecipante X 1° Periodo	89.177	89.2	
Massa partecipante X 2° Periodo	9.054	9.05	
Massa partecipante X 3° Periodo	1.769	1.77	
Massa 1° piano	53,748	54	
Massa 2° piano	53,748	54	
Massa 3° piano	55,003	55	
Forza sismica equivalente 3° piano	6646.5 daN	66 kN	
Forza sismica equivalente 2° piano	4329.9 daN	43 kN	
Forza sismica equivalente 1° piano	2165 daN	22 kN	

Non viene indicato lo scarto in quanto nel caso di riferimento i risultati sono stati arrotondati alla seconda cifra decimale.

7. Verifica di un plinto superficiale

7.1 Scopo dell'esempio

Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare le seguenti caratteristiche del programma:

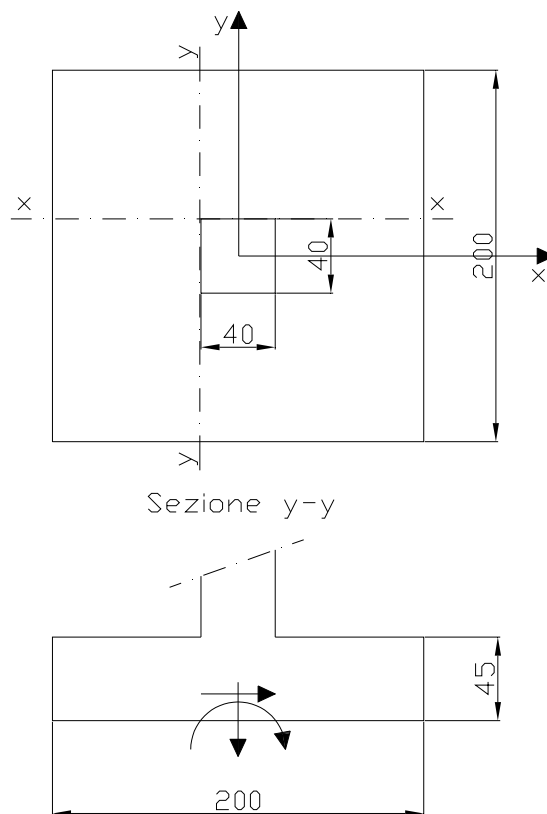
- pressioni sul terreno massime e minime;
- valutazione delle sollecitazioni nelle sezioni di verifica a filo pilastro;
- verifica delle sezioni in c.a.

7.2 File associati all'esempio

La directory della commessa di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura è *Esempio plinto* per la verifica con SismiCad presente nella cartella "*\Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esempi\Casi prova valutazione affidabilit *" del profilo utente. Viene fornito anche il file *plinto quadrato.PLC* per la eventuale verifica con il programma PliCAD dedicato alla progettazione di plinti superficiali e su pali.

7.3 Descrizione del plinto

Si vuole verificare un plinto rettangolare superficiale di dimensioni 200 x 200 cm e di spessore pari 45 cm. Il pilastro che spicca dal plinto ha sezione 40 x 40.



Il plinto   sollecitato a livello della suola da:
 $N = 80500 \text{ daN}$

$M_x = 2000000 \text{ daN}\cdot\text{cm}$

$T_y = 10000 \text{ daN}$

Peso proprio = $200 \cdot 200 \cdot 45 \cdot 0.0025 = 4500 \text{ daN}$

Armiamo il plinto con la proposta di armatura seguente:

Opzioni verifica plinti

Verifiche | Output | Proposta plinti su pali | **Proposta plinti superficiali**

φ1 barre trasversali (mm)	12
φ2 barre trasversali (mm)	18
φ3 barre trasversali (mm)	18
Interasse massimo barre inferiori (cm)	40
Interasse minimo barre inferiori (cm)	20
Interasse massimo barre superiori (cm)	80
Interasse minimo barre superiori (cm)	40
Area minima di acciaio superiore (cm²)	3
Area minima di acciaio inferiore (cm²)	8
Numero minimo di barre superiori	2
Numero minimo di barre inferiori	4
Interasse minimo armatura di punzonamento (cm)	10
φ1 per il bicchiere (mm)	12
φ2 per il bicchiere (mm)	16
Copri ferro per il plinto (cm)	4
Copri ferro per il bicchiere o per il sottopilastro (cm)	3

Verifica alla flessione e al taglio: modalità di calcolo:

Filo pilastro rettangolare

OK Annulla

Opzioni verifica plinti

Verifiche | Output | Proposta plinti su pali | **Proposta plinti superficiali**

☒ Verifica puntoni CLS per plinto su pali

☐ Verifica al taglio

☐ Verifica di stabilità per plinto superficiale

Coefficiente di attrito terreno-fondazione plinto superficiale: 0.50

Coef. riduttivo di σ_{tmax} per verifica tensioni sul terreno: 1.00

Coef. riduttivo di σ_{tmin} per verifica tensioni sul terreno: 0.00

☐ Calcolo armatura del bicchiere per plinti superficiali tipo B e C

☒ Schema del telaio orizzontale del bicchiere a nodi fissi

☐ Effetto di T_x e T_y per tensioni sul terreno e forze su pali

Coefficiente Beta per punzonamento: 1.15

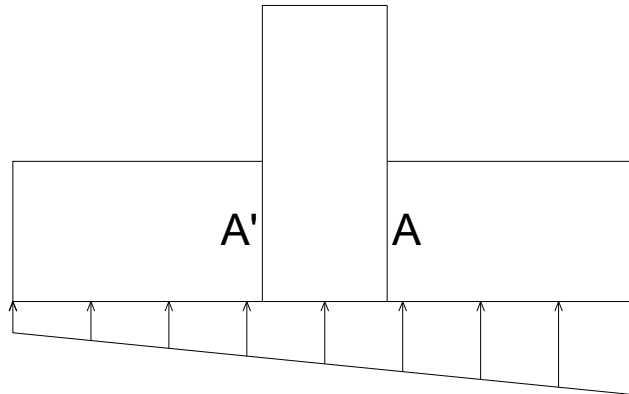
Rapporto altezza di verifica pareti/profondità bicchiere: 0.50

Percentuale di sforzo normale da attribuire al bicchiere (%): 20

Percentuale peso proprio della suola per plinti su pali (%): 100

OK Annulla

7.4 Verifica del plinto



7.4.1. Calcolo manuale

Pressioni sul terreno.

L'eccentricità è pari a:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{2000000}{80500 + 4500} = 23.53 \text{ cm}$$

$$l' = l - 2 \cdot e = 200 - 2 \cdot 23.53 = 152.94 \text{ cm}$$

Per calcolare le tensioni utilizziamo la formula

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$\text{Dove } A = l^2 = 40000 \text{ cm}^2$$

$$e \quad W = J / \frac{h}{2} = \frac{Bh^3}{12} \cdot \frac{2}{h} = \frac{Bh^2}{6} = \frac{l^3}{6} = 1333333 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{80500 + 4500}{40000} \pm \frac{2000000}{1333333} = 2.125 \pm 1.5 = 3.625 \text{ e } 0.625 \text{ daN/cm}^2$$

Verifica sezione a filo pilastro parallela ad X

$$\sigma_{A, A'} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{l} x + \sigma_{\min}$$

dove per la sezione A x = 120 cm mentre per la sezione A' x = 80 cm.

$$\sigma_{A, A'} = \frac{3.625 - 0.625}{2} x + 0.625 = 2.425 \text{ e } 1.825 \text{ daN/cm}^2$$

$$M_{A'} = \left[(\sigma_{A'} - \sigma_{\min}) \cdot \frac{x}{2} \cdot \frac{x}{3} + \sigma_{\min} \cdot x \cdot \frac{x}{2} \right] \cdot l$$

$$M_{A'} = \left[(1.825 - 0.625) \cdot \frac{80}{2} \cdot \frac{80}{3} + 0.625 \cdot 80 \cdot \frac{80}{2} \right] \cdot 200 = 656000 \text{ daNcm}$$

$$M_A = \left[(\sigma_A \cdot x \cdot \frac{x}{2} + (\sigma_{\max} - \sigma_A) \cdot \frac{x}{2} \cdot 2 \cdot \frac{x}{3}) \right] \cdot l$$

$$M_A = \left[(2.425 \cdot 80 \cdot \frac{80}{2} + (3.625 - 2.425) \cdot \frac{80}{2} \cdot 2 \cdot \frac{80}{3}) \right] \cdot 200 = 2064000 \text{ daNcm}$$

La verifica verrà quindi effettuata nella sezione A.

$$M_{P_{suola}} = 200 \cdot 80 \cdot 45 \cdot 0.0025 \cdot 40 = 72000 \text{ daNcm}$$

$$M_{verifica} = 2064000 - 72000 = 1992000 \text{ daNcm}$$

Utilizzando la formula (1.1) tratta da Giovanni Falchi Delitala, Calcolo delle sezioni in cemento armato, Ed Hoepli:

Calcolo dell'asse neutro della sezione 30x40.

$$x = i_1 \cdot (-1 + (1 + (2k_a / i_1))^{1/2})$$

$$A_1 = \text{Area acciaio tesa} = 25.45 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \text{Area acciaio compressa} = 4.52 \text{ cm}^2$$

$$C_1 = 4 \text{ cm}$$

$$C_2 = 4 \text{ cm}$$

$$d = 41 \text{ cm}$$

$$i_1 = (n (A_1 + A_2)) / b = 15 \cdot (25.45 + 4.52) / 200 = 2.24775 \text{ cm}$$

$$k_a = (A_1 d + A_2 C_2) / (A_1 + A_2) = (25.45 \cdot 41 + 4.52 \cdot 4) / (25.45 + 4.52) = 35.42$$

$$x = 2.24775 \cdot (-1 + (1 + (2 \cdot 35.42 / 2.24775))^{1/2})$$

$$x = \text{distanza dell'asse neutro dal bordo compresso} = 10.5695 \text{ cm}$$

$$J = bx^3 / 3 + n A_1 (d - x)^2 + n A_2 (x - C_2)^2$$

$$J = 200 \cdot 10.5695^3 / 3 + 15 \cdot 25.45 \cdot (41 - 10.5695)^2 + 15 \cdot 4.52 \cdot (10.5695 - 4)^2 = 435150.128 \text{ cm}^3$$

Utilizzando i valori di x e di J è possibile calcolare i valori delle tensioni nel cls e nell'acciaio:

$$\sigma_c = M x / J = 1992000 \cdot 10.5695 / 435150.128 = -48.38 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_f = n M (d - x) / J = 15 \cdot 1992000 \cdot (41 - 10.5695) / 435150.128 = 2089.54 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma'_f = (48.38 \cdot (10.5695 - 4) / 10.5695) \cdot 15 = 451.06 \text{ daN/cm}^2$$

Verifica della sezione a filo pilastro parallela ad Y

$$M_B = M_{B'} = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) \cdot \frac{l}{2} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = (3.625 + 0.625) \cdot \frac{200}{2} \cdot 80 \cdot \frac{80}{2} = 1360000 \text{ daNcm}$$

$$M_{verifica} = 1360000 - 72000 = 1288000 \text{ daNcm}$$

$$x = i_1 \cdot (-1 + (1 + (2k_a / i_1))^{1/2})$$

$$A_1 = \text{Area acciaio tesa} = 15.27 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \text{Area acciaio compressa} = 4.52 \text{ cm}^2$$

$$C_1 = 4 \text{ cm}$$

$$C_2 = 4 \text{ cm}$$

$$d = 41 \text{ cm}$$

$$i_1 = (n (A_1 + A_2)) / b = 15 \cdot (15.27 + 4.52) / 200 = 1.48425 \text{ cm}$$

$$k_a = (A_1 d + A_2 C_2) / (A_1 + A_2) = (15.27 \cdot 41 + 4.52 \cdot 4) / (15.27 + 4.52) = 32.549$$

$$x = 1.48425 \cdot (-1 + (1 + (2 \cdot 32.549 / 1.48425))^{1/2})$$

$$x = \text{distanza dell'asse neutro dal bordo compresso} = 8.4568 \text{ cm}$$

$$J = bx^3 / 3 + n A_1 (d - x)^2 + n A_2 (x - C_2)^2$$

$$J = 200 \cdot 8.4568^3 / 3 + 15 \cdot 15.27 \cdot (41 - 8.4568)^2 + 15 \cdot 4.52 \cdot (8.4568 - 4)^2 = 284244.9722 \text{ cm}^3$$

Utilizzando i valori di x e di J è possibile calcolare i valori delle tensioni nel cls e nell'acciaio:

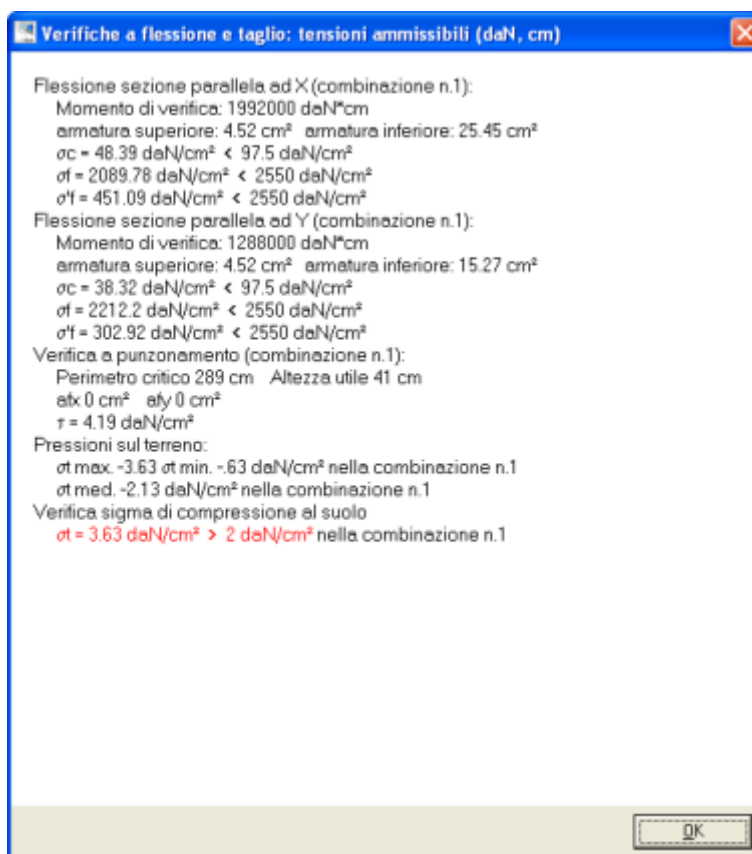
$$\sigma_c = M x / J = 1288000 \cdot 8.4568 / 284244.9722 = -38.32 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_f = n M (d - x) / J = 15 \cdot 1288000 \cdot (41 - 8.4568) / 284244.9722 = 2211.95 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma'_f = (38.32 \cdot (8.4568 - 4) / 8.4568) \cdot 15 = 302.92 \text{ daN/cm}^2$$

7.4.2. Calcolo automatico

Si riportano di seguito i risultati forniti dal programma:



7.5 Riepilogo dei risultati

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
Momento di verifica sezione par X	1992000 daNcm	1992000 daNcm	0.0%
σ_c	48.39 daN/cm ²	48.38 daN/cm ²	0.0%
σ_t	2089.78 daN/cm ²	2089.54 daN/cm ²	0.001%
σ'_t	451.09 daN/cm ²	451.06 daN/cm ²	0.0 %
σ_c	38.32 daN/cm ²	38.32 daN/cm ²	0.001%
σ_t	2212.2 daN/cm ²	2211.96 daN/cm ²	0.0 %
σ'_t	302.92 daN/cm ²	302.92 daN/cm ²	0.0 %
Pressione max	-3.63 daN	-3.625 daN	0.0 %
Pressione min	-0.63 daN	-0.625 daN	0.0%

8. Struttura semplice in acciaio in zona non sismica

E' stata condotta una verifica per controllare la correttezza dei risultati di SismiCad 11.7.

A questo scopo, si è deciso di studiare una struttura semplice risolvendola sia con SismiCad 11.7 sia con metodi di calcolo manuali.

8.1 Scopo dell'esempio

Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare le seguenti caratteristiche del programma:

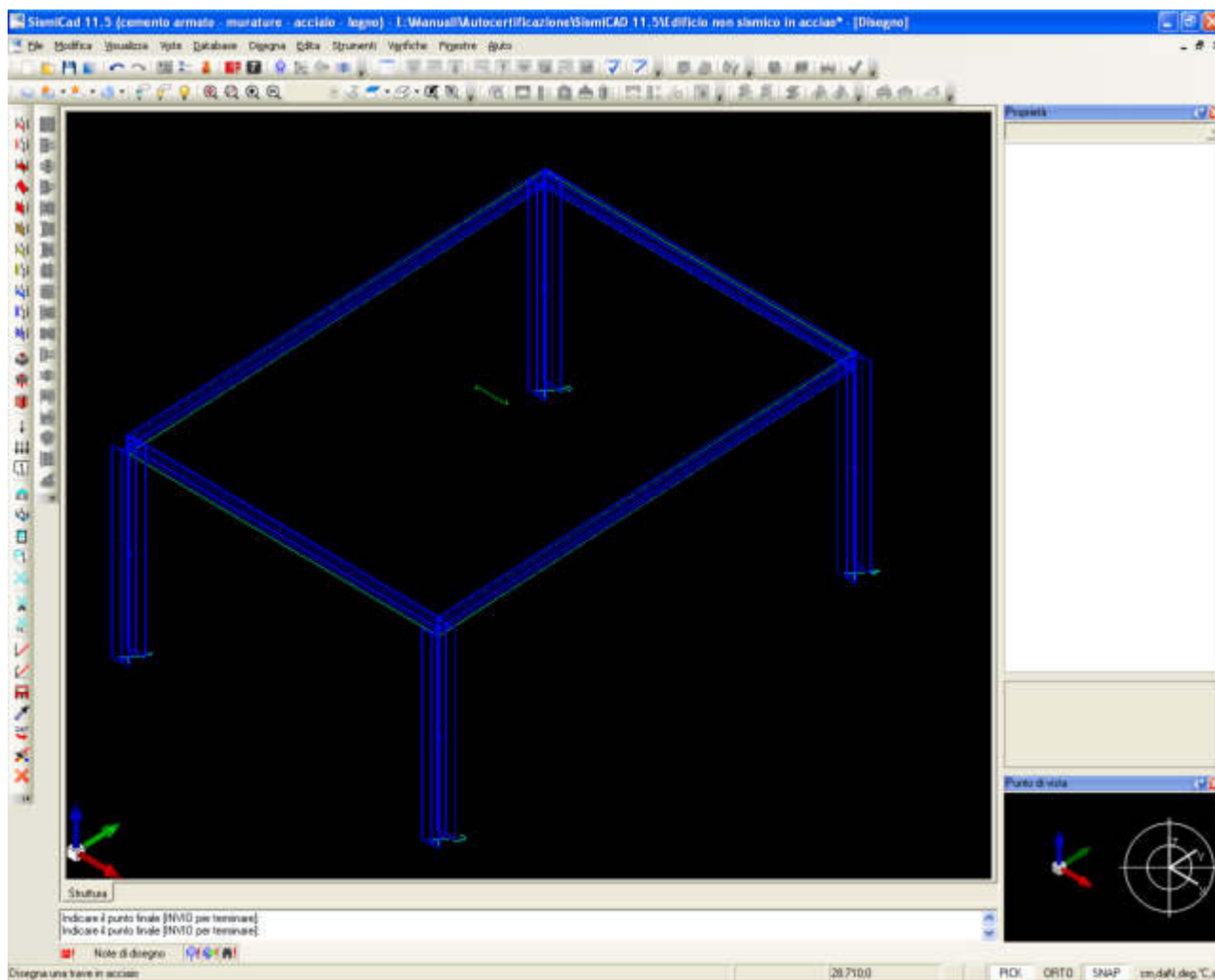
- caratteristiche geometriche ed inerziali delle sezioni;
- ripartizione dei carichi di superficie sugli elementi asta sostenenti;
- calcolo dei pesi propri degli elementi strutturali;
- valutazione della sollecitazione M3;
- valutazione dello sforzo normale sulle colonne;
- verifica di resistenza di un profilo in acciaio;
- verifica di una giunzione a squadretta trave-colonna;
- verifica di una piastra di base;
- verifica di una saldatura diretta trave-colonna;
- verifica di una flangia trave-colonna.

8.2 File associati all'esempio

La directory della commessa di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura è *Edificio non sismico in acciaio* presente nella cartella "*Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esempi\Casi prova valutazione affidabilità*" del profilo utente.

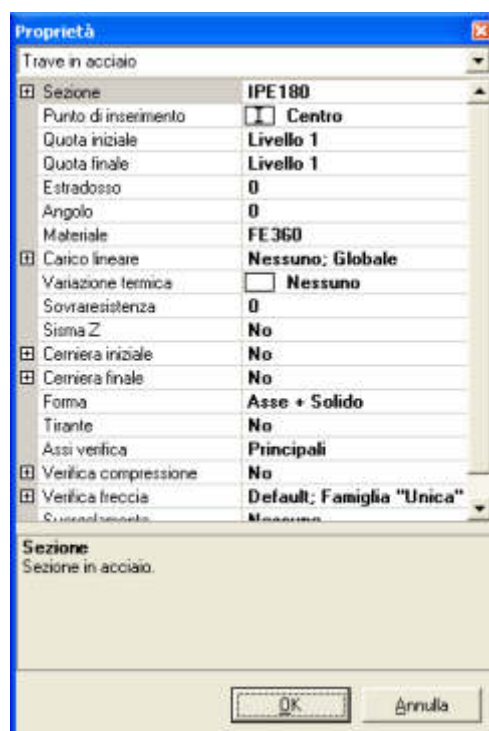
8.3 Descrizione della struttura

La struttura è a pianta rettangolare (500 x 700) ed è costituita da quattro pilastri e quattro travi, come riportato nell'immagine sotto.



8.3.1. Dimensioni degli elementi strutturali

Proprietà delle aste



Lunghezza travi $l_1 = 700$ cm
 $l_2 = 500$ cm

Proprietà delle colonne

Proprietà	
Colonna in acciaio	
Tronco	Livello 1-Livello 0
Sezione	HEA280
Punto di inserimento	Centro-centro
Angolo	0
Materiale	FE360
Carico lineare	Nessuno; Globale
Variazione termica	<input type="checkbox"/> Nessuno
Sovraresistenza	0
Sisma Z	No
Cerniera iniziale	No
Cerniera finale	No
Forma	Asse + Solido
Tirante	No
Assi verifica	Principali
Verifica compressione	Default; Default

Tronco
 Riferimento al tronco indicante la quota inferiore e superiore.

OK Annulla

Altezza colonne $h = 312$ cm

8.3.2. Analisi dei carichi

Viene inserito un carico superficiale avente le seguenti componenti:

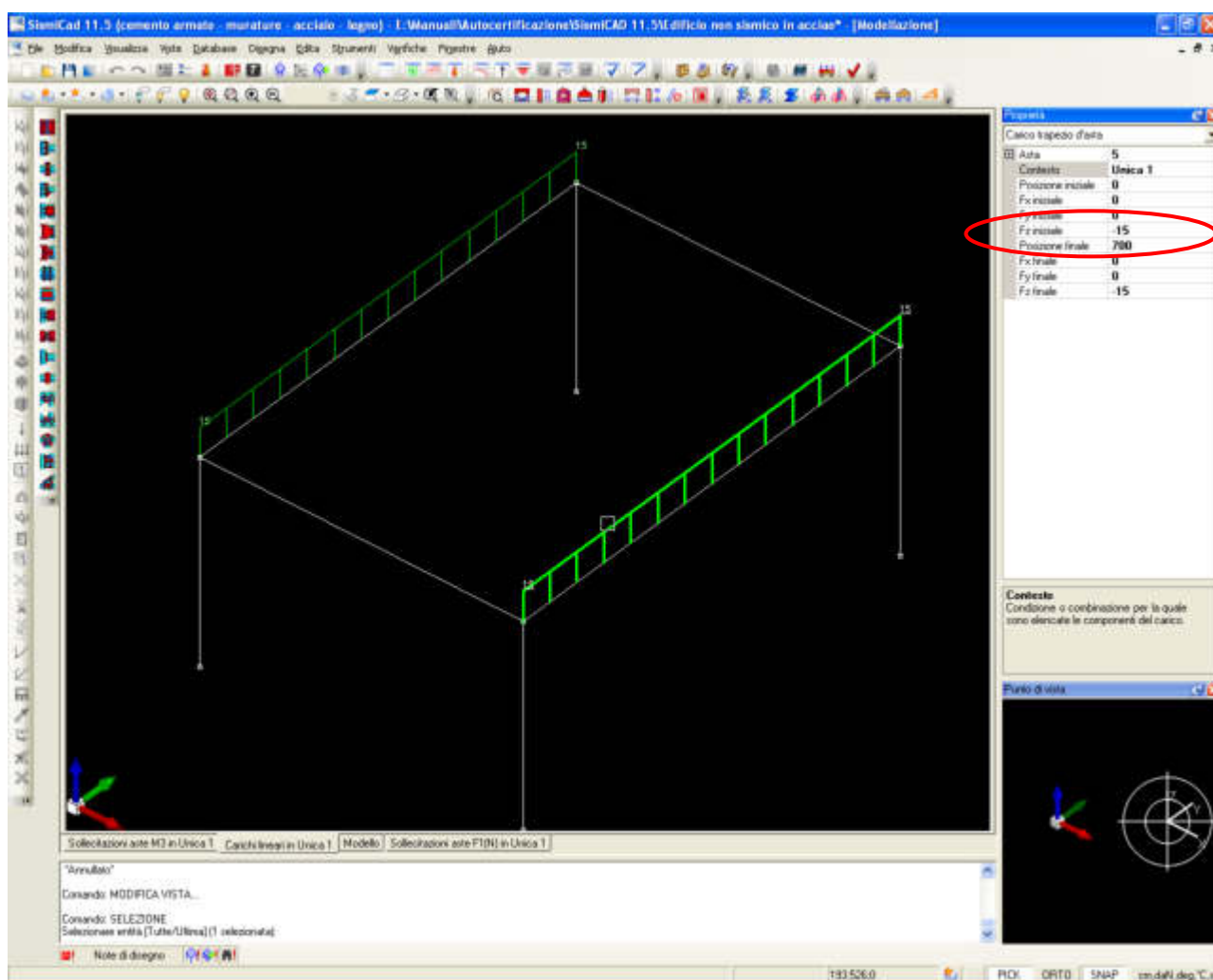
Carico distribuito permanente = 0.04 daN/cm²

Carico distribuito variabile = 0.02 daN/cm²

Carico lineare agente sulle travi di lunghezza l_1 dovuto al carico distribuito in combinazione 1:

$$Q_l = (((1 * 0.04 + 1 * 0.02) * 500 * 700) / 2) * 700 = 15 \text{ daN / cm}$$

Il risultato fornito dal SismiCad è riportato in figura:

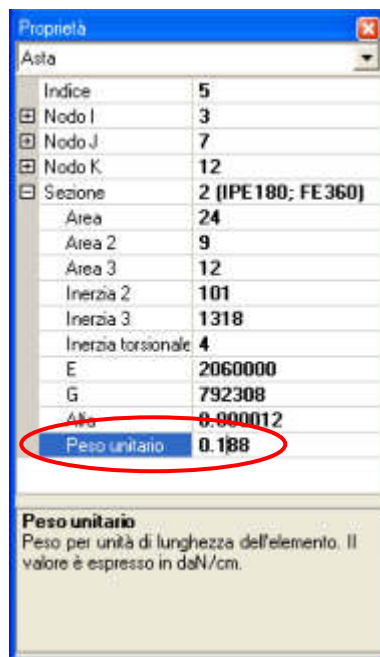


Carichi superficiali disegnati nella struttura senza l'attributo solaio associato vengono segnalati all'utente.

Carico lineare agente sulle travi di lunghezza l_1 e l_2 dovuto al peso proprio delle travi

$$Q_2 = (24 * 0.00785) = 0.188 \text{ daN / cm}$$

Il risultato fornito dal SismiCad è riportato in figura:

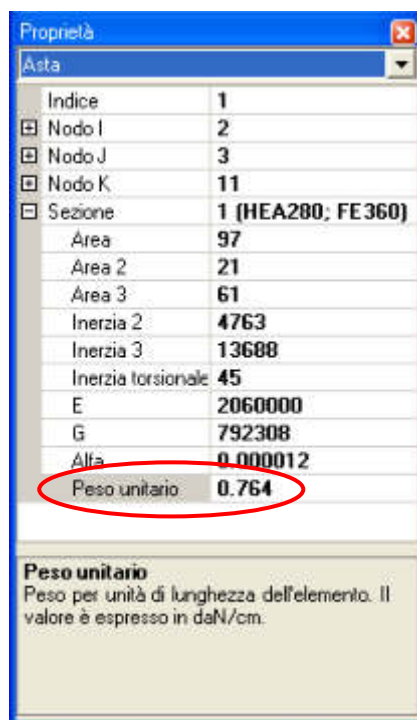


$$Q_{TOT} = 15 + 0.188 = 15.188 \text{ daN / cm}$$

8.3.3. Peso proprio della colonna

$$q = (97.58 * 0.00785) = 0.764 \text{ daN / cm}$$

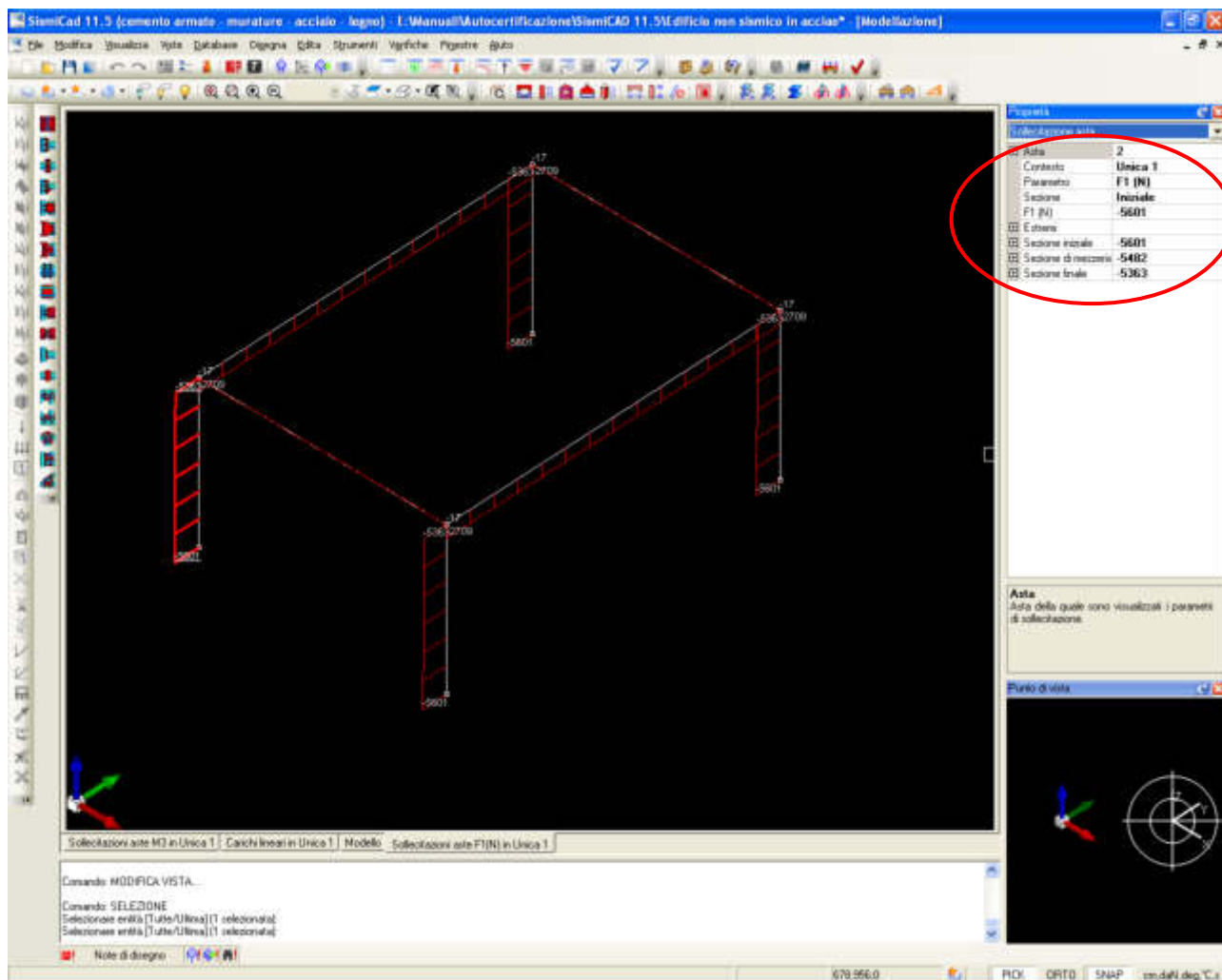
Il risultato fornito dal SismiCad è riportato in figura:



8.4 Valutazione dello sforzo normale nelle colonne

8.4.1. Sforzo normale SismiCad nelle colonne

Il valore di sforzo normale N fornito dal SismiCad per le colonne è riportato in figura nella tabella al paragrafo successivo:



Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Numero asta	Contesto	Pos.	X	Y	Z	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	Unica 1	0	5	0	0	-5601	-2709	-17	0	17.39	-2.4E3
1	Unica 1	15	5	0	1.56	-5482	-2709	-17	0	-9.29	1.8E3
1	Unica 1	30	5	0	3.12	-5363	-2709	-17	0	-35.98	6.0E3

$$N_{(iniziale)} = -5601 \text{ daN}$$

$$N_{(finale)} = -5363 \text{ daN}$$

8.4.2. Sforzo normale calcolato manualmente

$$\text{Essendo } V_{trave} = P / 2$$

$$V_{asta\ 700} = 15.188 \cdot 700 / 2 = 5316 \text{ daN}$$

$$V_{asta\ 500} = 0.188 \cdot 500 / 2 = 47 \text{ daN}$$

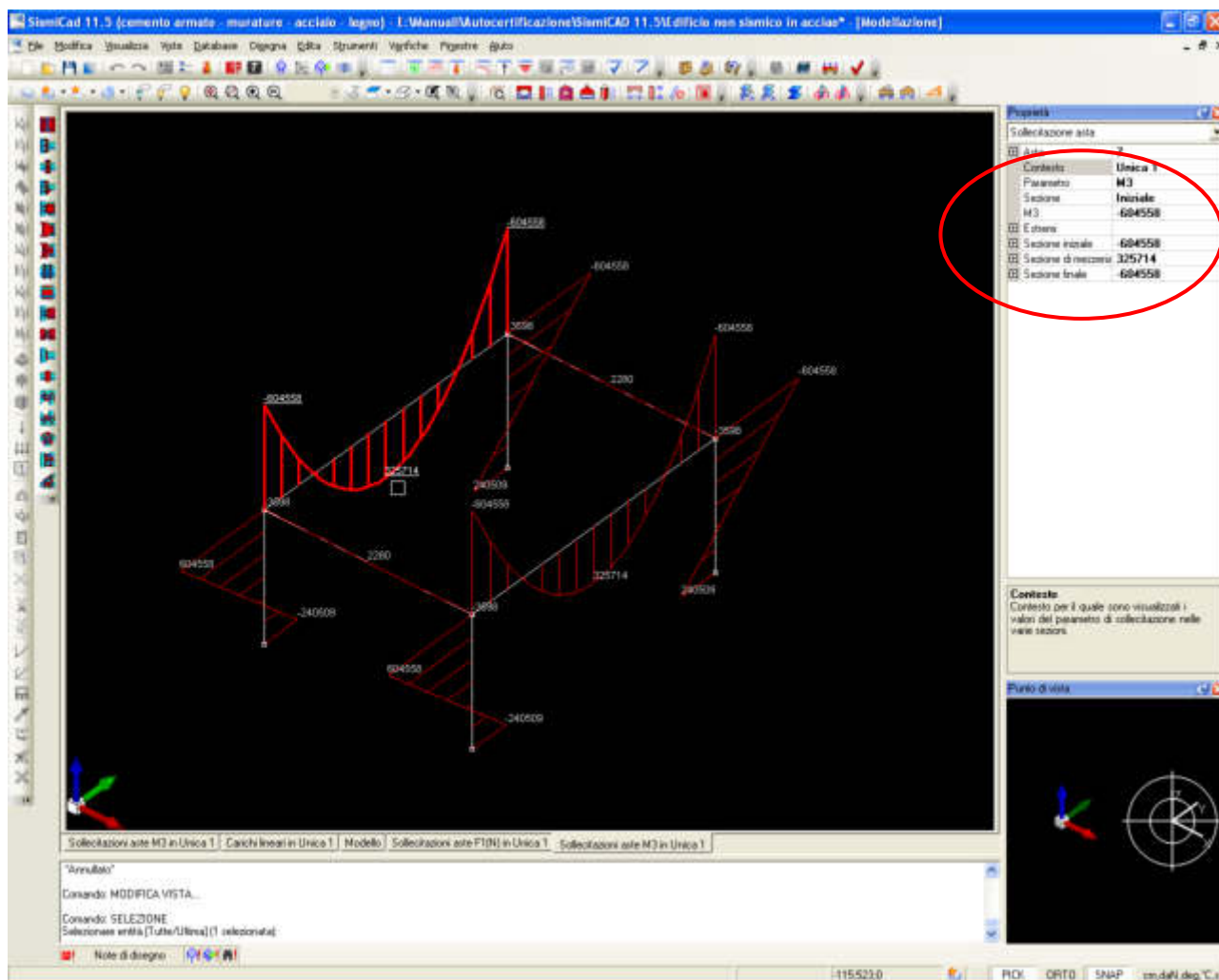
$$N_{sommità} = V_{asta\ 700} + V_{asta\ 500} = 5316 + 47 = 5363 \text{ daN}$$

$$N_{base} = N_{sommità} + P_{colonna} = 5363 + 76.4 \cdot 3.12 = 5601 \text{ daN}$$

8.5 Valutazione dei momenti nelle aste

8.5.1. Momenti flettenti massimi e minimi nell'asta di luce 700 cm

Il valore di momento M3 fornito dal SismiCad per le aste è riportato in figura e per ciascuna asta nelle due tabelle dei paragrafi successivi:



Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Numero asta	Contesto	Pos.	X	Y	Z	F1	F2	F3	M1	M2	M3
5	Unica 1	0	500	0	312	-2709	-5316	0	0	0	-6.0E5
5	Unica 1	15	500	350	312	-2709	0	0	0	0	325714
5	Unica 1	30	500	700	312	-2709	5316	0	0	0	-6.0E5

$M_{1(\text{mezzeria})} = 325714 \text{ daN cm}$

$M_{1(\text{iniziale})} = -604558 \text{ daN cm}$

8.5.2. Momenti flettenti massimi e minimi nell'asta di luce 500 cm

Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Numero asta	Contesto	Pos.	X	Y	Z	F1	F2	F3	M1	M2	M3
6	Unica 1	0	500	700	312	-17	-47	0	0	0	-3598
6	Unica 1	15	250	700	312	-17	0	0	0	0	2280
6	Unica 1	30	0	700	312	-17	47	0	0	0	-3598

$M_{2(\text{mezzeria})} = 2280 \text{ daN cm}$

$M_{2(\text{iniziale})} = 3598 \text{ daN cm}$

8.5.3. Momenti calcolati manualmente

Utilizzando la formula tratta dal Prontuario Le Monnier:

$$M_{\text{estremità}} = - \frac{P l^2}{6(2 + k)}$$

$$M_{\text{mezzeria}} = \frac{P l^2}{8} - \frac{P l^2}{6(2 + k)}$$

$$\text{con } k = \frac{(J_{\text{asta}} * h_{\text{colonna}})}{(J_{\text{colonna}} * l_{\text{asta}})}$$

$J_{asta500} = 1317 \text{ cm}^4$
 $J_{colonna} = 4763 \text{ cm}^4$
 $h_{colonna} = 312 \text{ cm}$
 si ottiene per la trave di lunghezza 500 cm:
 $k = (1317 * 312) / (4763 * 500) = 0.1725$
 $M_{estremità500} = -0.188 * 500^2 / 6(2 + 0.1725) = -3605 \text{ daN cm}$
 $M_{mezzeria500} = 0.188 * 500^2 / 8 - 3605 = 2270 \text{ daN cm}$

$J_{asta700} = 1317 \text{ cm}^4$
 $J_{colonna} = 13673 \text{ cm}^4$
 si ottiene per la trave di lunghezza 700 cm:
 $k = (1317 * 312) / (13673 * 500) = 0.06$
 $M_{estremità700} = -15.188 * 700^2 / 6(2 + 0.06) = -602113 \text{ daN cm}$
 $M_{mezzeria700} = 15.188 * 700^2 / 8 = 328152 \text{ daN cm}$

La differenza tra i valori calcolati con il programma SismiCad e con le formule è trascurabile (0.7 %) e dovuta alla non considerazione nel calcolo manuale della deformabilità a taglio.

8.6 Verifica asta

8.6.1. Verifica di resistenza dell'asta di luce 700 cm

Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Verifica resistenza condizione I:
 sid=4241.358 samm=1600 in comb. Famiglia "Unica" 1 x=0 ***
 N=-2708.548 Mx=-604558 My=0 Mt=0 Tx=0 Ty=5315.84

8.6.2. Verifica di resistenza effettuata manualmente

Profilo: IPE 180

Sollecitazioni agenti:

$N = -2708 \text{ kg}$

$M_x = -604558 \text{ kg cm}$

$T_y = 5315.84 \text{ kg}$

Valori statici:

$W_x = 146.64 \text{ cm}^3$

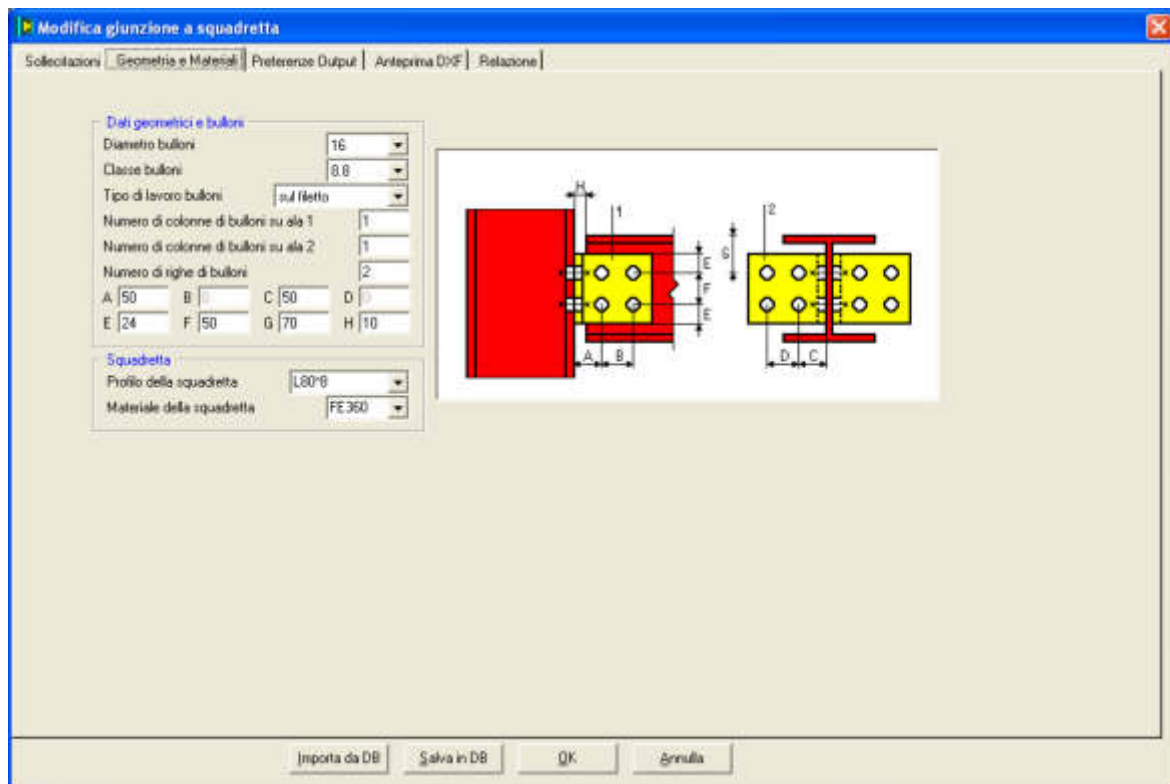
$A = 23.96 \text{ cm}^2$

$\sigma = M_x / W_x + N / A = 2708 / 23.9 + 604558 / 146.64 = 4235 \text{ kg / cm}^2$

$\tau = T / A = 221.86 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{ideale} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{1/2} = 4254 \text{ kg/cm}^2$

8.7 Verifica giunzione a squadretta trave-colonna



8.7.1. Verifica di giunzione a Squadretta

Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Squadretta Trave in acciaio livello Livello 1 fili 2-1-Colonna in acciaio tronco Livello 1-Livello 0 filo 1

Squadretta

Normativa di calcolo: CNR10011 - tensioni ammissibili

Tipo di collegamento: giunzione di ala trave-colonna

Profilo portante: HEA280 materiale Fe360_2

Profilo portato: IPE180 materiale Fe360_2

Squadrette L80*8 materiale Fe430

Bulloni M 16 classe 8.8

Bulloni sollecitati nelle sezioni filettate

Verifica a taglio e rifollamento per la bullonatura del profilo portato

taglio:

tmax condizione I = 2573.9 daN/cm² < tamm condizione I = 2640.0 daN/cm²

comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN

rifollamento per il profilo portato:

smax rif. condizione I = 9530.7 daN/cm² > samm rif. condizione I = 4000.0 daN/cm²

comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN

taglio:

tmax condizione I+II = 2573.9 daN/cm² < tamm condizione I+II = 2970.0 daN/cm²

comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN

rifollamento per il profilo portato:

smax rif. condizione I+II = 9530.7 daN/cm² > samm rif. condizione I+II = 4500.0 daN/cm²

comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN

Verifica a taglio, taglio+trazione e rifollamento per la bullonatura del profilo portante

taglio:

tmax condizione I = 1973.5 daN/cm² < tamm condizione I = 2640.0 daN/cm²

comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN

rifollamento per il profilo portante:

smax rif. condizione I = 1489.6 daN/cm² < samm rif. condizione I = 4000.0 daN/cm²

comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN

taglio:

tmax condizione I+II = 1973.5 daN/cm² < tamm condizione I+II = 2970.0 daN/cm²

comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN

rifollamento per il profilo portante:

smax rif. condizione I+II = 1489.6 daN/cm² < samm rif. condizione I+II = 4500.0 daN/cm²

comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN

Verifica della sezione forata del profilo portato:

```
sid.max condizione I = 1234.4 daN/cm2 < samm condizione I = 1600.0 daN/cm2
comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN
sid.max condizione I+II = 1234.4 daN/cm2 < samm condizione I+II = 1800.0 daN/cm2
comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN
```

Verifica di resistenza e a rifollamento delle squadrette sulle sezioni forate adiacenti al profilo portato:

```
resistenza:
sid.max condizione I = 1970.1 daN/cm2 > samm condizione I = 1900.0 daN/cm2
comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN
rifollamento:
smax rif. condizione I = 3157.1 daN/cm2 > samm rif. condizione I = 2850.0 daN/cm2
comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN
resistenza:
sid.max condizione I+II = 1970.1 daN/cm2 < samm condizione I+II = 2137.5 daN/cm2
comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN
rifollamento:
smax rif. condizione I+II = 3157.1 daN/cm2 < samm rif. condizione I+II = 3206.3 daN/cm2
comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN
```

Verifica di resistenza e a rifollamento delle squadrette sulle sezioni forate adiacenti al profilo portante:

```
resistenza:
sid.max condizione I = 1668.9 daN/cm2 < samm condizione I = 1900.0 daN/cm2
comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN
rifollamento:
smax rif. condizione I = 2420.6 daN/cm2 < samm rif. condizione I = 2850.0 daN/cm2
comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN
resistenza:
sid.max condizione I+II = 1668.9 daN/cm2 < samm condizione I+II = 2137.5 daN/cm2
comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN
rifollamento:
smax rif. condizione I+II = 2420.6 daN/cm2 < samm rif. condizione I+II = 3206.3 daN/cm2
comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN
```

8.7.2. Verifica manuale di giunzione a Squadretta

Coordinate dei bulloni sull'asta portata rispetto al centro delle forze.

X1 = 5.65 cm
Y1 = - 3 cm
X2 = 5.65 cm
Y2 = 2 cm

Coordinate del baricentro della bullonatura:

Xg = 5.265 cm
Yg = - 0.5 cm

Momento torcente applicato alla bullonatura:

$M_t = M - f_x \cdot y_g + f_y \cdot x_g = 31390 \text{ daNcm}$

Forze applicate ai bulloni dovute a M_t :

$F_{t1} = 6278 \text{ daN}$

$F_{x1} = f_x / n_{\text{bulloni}} - F_{t1} = 2709/2 - 6278 = - 4923 \text{ daN}$

$F_{y1} = f_y / n_{\text{bulloni}} = 5316 / 2 = 2658 \text{ daN}$

$F_1 = ((F_{x1})^2 + (F_{y1})^2)^{1/2} = 5595 \text{ daN}$

$F_{t2} = 6278 \text{ daN}$

$F_{x2} = f_x / n_{\text{bulloni}} - F_{t2} = 7632 \text{ daN}$

$F_{y2} = f_y / n_{\text{bulloni}} = 5316 / 2 = 2658 \text{ daN}$

$F_2 = ((F_{x2})^2 + (F_{y2})^2)^{1/2} = 8082 \text{ daN}$

$F_{\text{max}} = 8082 \text{ daN}$

Verifica dei bulloni sull'asta portata:

$\tau = F_{\text{max}} / \text{Area}_{\text{bulloni_su_filetto}} = 2573.89 \text{ daN /cm}^2$

$\sigma_{\text{rifollamento_squadretta}} = F_{\text{max}} / 2 / D_{\text{bulloni}} / \text{Spessore}_{\text{squadretta}} = 3157.03 \text{ daN /cm}^2$

$\sigma_{\text{rifollamento_portata}} = F_{\text{max}} / D_{\text{bulloni}} / \text{Spessore}_{\text{anima_portata}} = 9530.66 \text{ daN /cm}^2$

Coordinate dei bulloni sull'asta portante rispetto al centro delle forze.

X1 = 5.65 cm
Y1 = - 3 cm
X2 = 5.65 cm
Y2 = 2 cm

Coordinate del baricentro della bullonatura:

$$X_g = 5.265 \text{ cm}$$

$$Y_g = -0.5 \text{ cm}$$

Momento torcente applicato alla bullonatura:

$$M_t = M - f_x \cdot y_g + f_y \cdot x_g = 13994 \text{ daNcm}$$

Forze applicate ai bulloni dovute a M_t :

$$F_{t1} = 2799 \text{ daN}$$

$$F_{x1} = f_x / n_{\text{bulloni}} - F_{t1} = -2799 \text{ daN}$$

$$F_{y1} = f_y / n_{\text{bulloni}} = 2658 / 2 = 1329 \text{ daN}$$

$$F_1 = ((F_{x1})^2 + (F_{y1})^2)^{1/2} = 3098 \text{ daN}$$

$$F_{t2} = 2799 \text{ daN}$$

$$F_{x2} = f_x / n_{\text{bulloni}} - F_{t2} = 2799 \text{ daN}$$

$$F_{y2} = f_y / n_{\text{bulloni}} = 2658 / 2 = 1329 \text{ daN}$$

$$F_2 = ((F_{x2})^2 + (F_{y2})^2)^{1/2} = 3098 \text{ daN}$$

$$F_{\max} = 3098 \text{ daN}$$

Verifica dei bulloni sull'asta portante:

$$\tau = F_{\max} / \text{Area}_{\text{bullone_su_filetto}} = 1973.25 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{rifollamento_squadretta}} = F_{\max} / D_{\text{bullone}} / \text{Spessore}_{\text{squadretta}} = 2420.15 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{rifollamento_portante}} = F_{\max} / D_{\text{bullone}} / \text{Spessore}_{\text{ala_portante}} = 1489.42 \text{ daN/cm}^2$$

Verifica profilo portato forato:

Verifica su sezione più lontana dalla portante:

$$b_r(\text{distanza sezione da centro delle forze}) = A + \text{spessore}_{\text{anima_portante}} / 2 + B = 5.65 \text{ cm}$$

$$M_x = T_y \cdot b_r = 5316 \cdot 5.65 = 30035 \text{ daNcm}$$

Dati profilo forato:

$$\text{Area}_{\text{profilo}} = 22.162 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area}_{\text{TaglioY}} = 7.738 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area}_{\text{TaglioX}} = 14.56 \text{ cm}^2$$

$$W_{\text{sup}} = 145.75 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{inf}} = 144.43 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\text{superiore}} = N / \text{Area}_{\text{profilo}} - M_x / W_{\text{sup}} = -328.32 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{inferiore}} = N / \text{Area}_{\text{profilo}} + M_x / W_{\text{sup}} = -85.71 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 328.32 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau = 687 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ideale}} = (\sigma_{\max}^2 + 3 \tau^2)^{1/2} = 1234.38 \text{ daN/cm}^2$$

Verifica di resistenza delle squadrette:

Squadretta sull'asta portata:

Primo punto: T_y e N

$$H_{\text{squadretta}} = 9.8 \text{ cm} \quad (\text{altezza della squadretta})$$

$$e_c = -0.5 \text{ cm} \quad (\text{eccentricità della squadretta rispetto all'asse dell'asta})$$

$$M_{T_y} = T_y \cdot (A + (b + s_{\text{ala_portante}} / 2) + N \cdot e_c = 31390 \text{ daNcm} \quad (\text{momento dovuto all'eccentricità di } T_y)$$

Dati squadretta:

$$\text{Area} = 10.24 \text{ cm}^2$$

$$W_x = 18.4 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = N / \text{Area} + M_{T_y} / W_x = 264.55 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau = 1.5 \cdot T_y / \text{Area} = 778.71 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ideale}} = (\sigma_{\max}^2 + 3 \tau^2)^{1/2} = 1374.47 \text{ daN/cm}^2$$

Secondo punto: M_y , T_y e N

$$\sigma = N / \text{Area} + M_y / W_x = 264.55 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau = 1.5 \cdot T_y / \text{Area} = 778.71 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ideale}} = (\sigma_{\max}^2 + 3 \tau^2)^{1/2} = 1374.47 \text{ daN/cm}^2$$

Terzo punto: M_x e N

$$\sigma = N / \text{Area} + M_x / W_x = 1970 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau = 1.5 * T_y / \text{Area} = 0 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ideale}} = (\sigma_{\text{max}}^2 + 3 \tau^2)^{1/2} = 1970 \text{ daN/cm}^2$$

Quarto punto: M_x e T_x e N

$$\sigma_{\text{ideale}} = (\sigma_{\text{max}}^2 + 3 \tau^2)^{1/2} = 1970 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ideale}} = 1970 \text{ daN/cm}^2$$

Squadretta sull'asta portante:

$$H_{\text{squadretta}} = 9.8 \text{ cm} \quad (\text{altezza della squadretta})$$

$$M_x = T_y * (C + s_{\text{pala_portata}} / 2) / 2 = 13994 \text{ daNcm}$$

(momento dovuto all'eccentricità di T_y)

Primo punto: T_y e N

$$H_{\text{squadretta}} = 9.8 \text{ cm} \quad (\text{altezza della squadretta})$$

Dati squadretta:

$$\text{Area} = 5.12 \text{ cm}^2$$

$$W_x = 9.2 \text{ cm}^3$$

$$\tau_y = 1.5 * T_y / \text{Area} = 778.71 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_x = 1.5 * N / \text{Area} = 396.82 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ideale}} = (\sigma_{\text{max}}^2 + 3 \tau^2)^{1/2} = 1513.8 \text{ daN/cm}^2$$

Secondo punto: M_x , T_y e N

$$\tau_y = 1.5 * T_y / \text{Area} = 778.71 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_x = 1.5 * N / \text{Area} = 396.82 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ideale}} = (\sigma_{\text{max}}^2 + 3 \tau^2)^{1/2} = 1513.8 \text{ daN/cm}^2$$

Terzo punto: M_x e N

$$\sigma_{\text{ideale}} = (\sigma_{\text{max}}^2 + 3 \tau_x^2)^{1/2} = 1668.86 \text{ daN/cm}^2$$

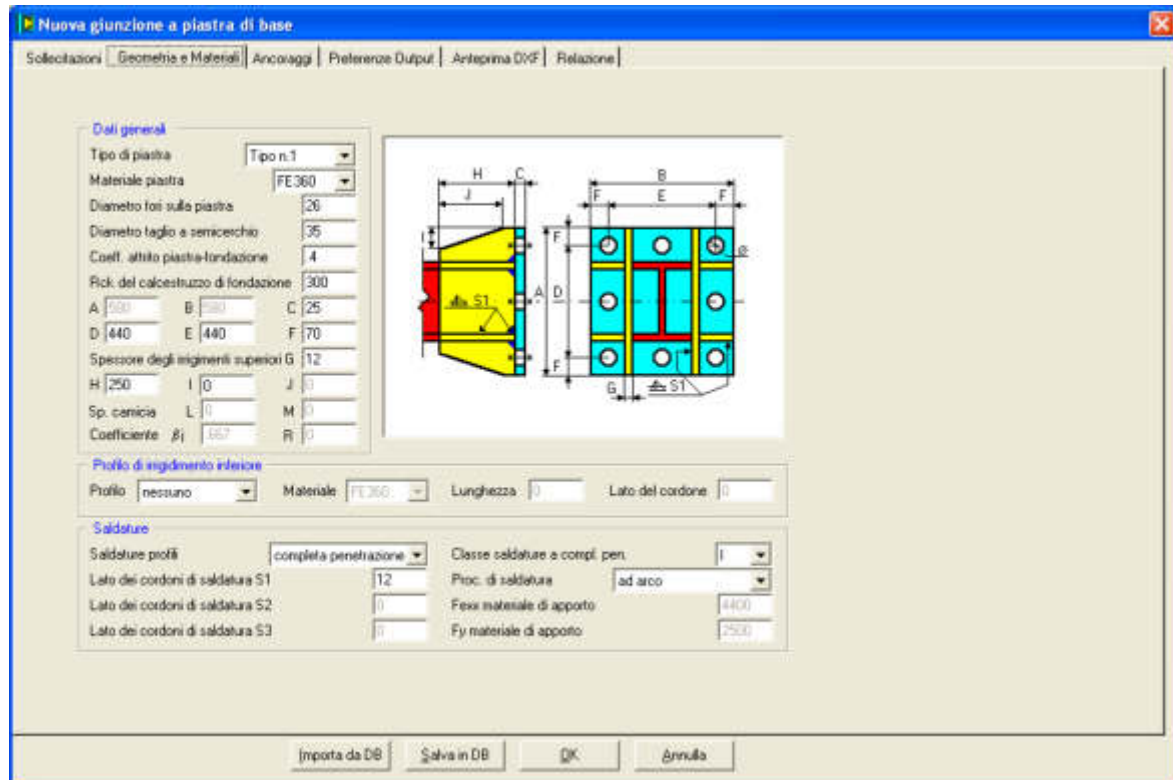
Quarto punto: M_x e T_x e N

$$\sigma_{\text{ideale}} = (\sigma_{\text{max}}^2 + 3 \tau_x^2)^{1/2} = 1668.86 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ideale}} = 1668.86 \text{ daN/cm}^2$$

8.8 Verifica di piastra di base

8.8.1. Verifica di piastra di base



Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Piastra di base Colonna in acciaio tronco Livello 1-Livello 0 filo 1

Normativa di calcolo: CNR10011 - tensioni ammissibili

Colonna: HEA280 materiale Fe360

Materiale piastra FE430

Tirafondi sollecitati nelle sezioni non filettate

Tirafondi diametro nominale 24 mm materiale FE430; resistenti a compressione

Diametro dei fori sulla piastra 26.0 mm

Saldature a completa penetrazione dei profili classe 1

Cordoni di saldatura per gli irrigidimenti superiori lato 12.0 mm

Tipo di ancoraggio: aderenza semplice

Verifica dei tirafondi

Trazione:

smx trazione condizione I = 245.5 daN/cm² < samm condizione I = 1600.0 daN/cm²

comb. 1 N -5.601E+03 daN Tx 1.7000E+01 daN Ty 2.7090E+03 daN Mx -2.405E+05 daN*cm My -1.739E+03 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

Taglio assorbito dall'attrito fondazione-piastra in condizione I

Trazione:

smx trazione condizione I+II = 245.5 daN/cm² < samm condizione I+II = 1800.0 daN/cm²

comb. 1 N -5.601E+03 daN Tx 1.7000E+01 daN Ty 2.7090E+03 daN Mx -2.405E+05 daN*cm My -1.739E+03 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

Taglio assorbito dall'attrito fondazione-piastra in condizione I+II

Verifica di resistenza della piastra

sid.max condizione I = 266.1 daN/cm² < samm condizione I = 1900.0 daN/cm²

comb. 1 N -5.601E+03 daN Tx 1.7000E+01 daN Ty 2.7090E+03 daN Mx -2.405E+05 daN*cm My -1.739E+03 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

Verifica di resistenza della piastra:

sid.max condizione I+II = 266.1 daN/cm² < samm condizione I+II = 2137.5 daN/cm²

comb. 1 N -5.601E+03 daN Tx 1.7000E+01 daN Ty 2.7090E+03 daN Mx -2.405E+05 daN*cm My -1.739E+03 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

Verifica dell'ancoraggio: aderenza semplice

tad.max condizione I = 0.78 daN/cm² < tad.amm = 9.00 daN/cm²

comb. 1 N -5.601E+03 daN Tx 1.7000E+01 daN Ty 2.7090E+03 daN Mx -2.405E+05 daN*cm My -1.739E+03 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

Verifica dell'ancoraggio: aderenza semplice

tad.max condizione I+II = 0.78 daN/cm² < tad.amm = 9.00 daN/cm²

comb. 1 N -5.601E+03 daN Tx 1.7000E+01 daN Ty 2.7090E+03 daN Mx -2.405E+05 daN*cm My -1.739E+03 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

profondita' d'infissione dei tirafondi sufficiente

8.8.2. Verifica manuale di piastra di base

Calcolo delle sollecitazioni sulla piastra e sui tirafondi

Coordinate dei tirafondi (rispetto all'asse della colonna)

T1 (0,0)
 T2 (-22,22)
 T3 (0,22)
 T4 (22,22)
 T5 (-22,-22)
 T6 (0,-22)
 T7 (22,-22)
 T8 (-22,0)
 T9 (22,0)

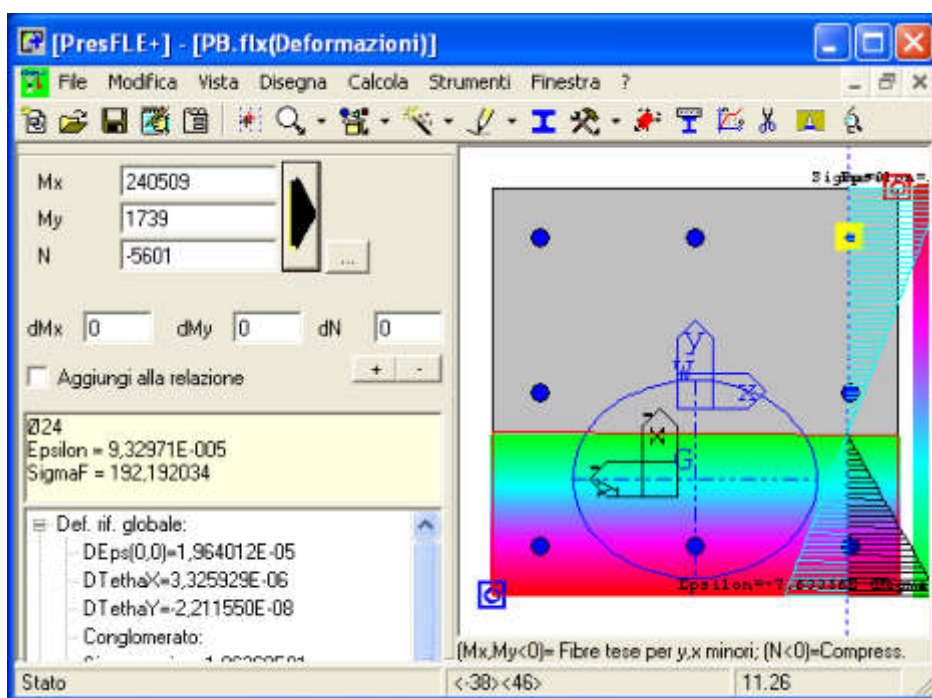
Coordinate dei vertici della piastra

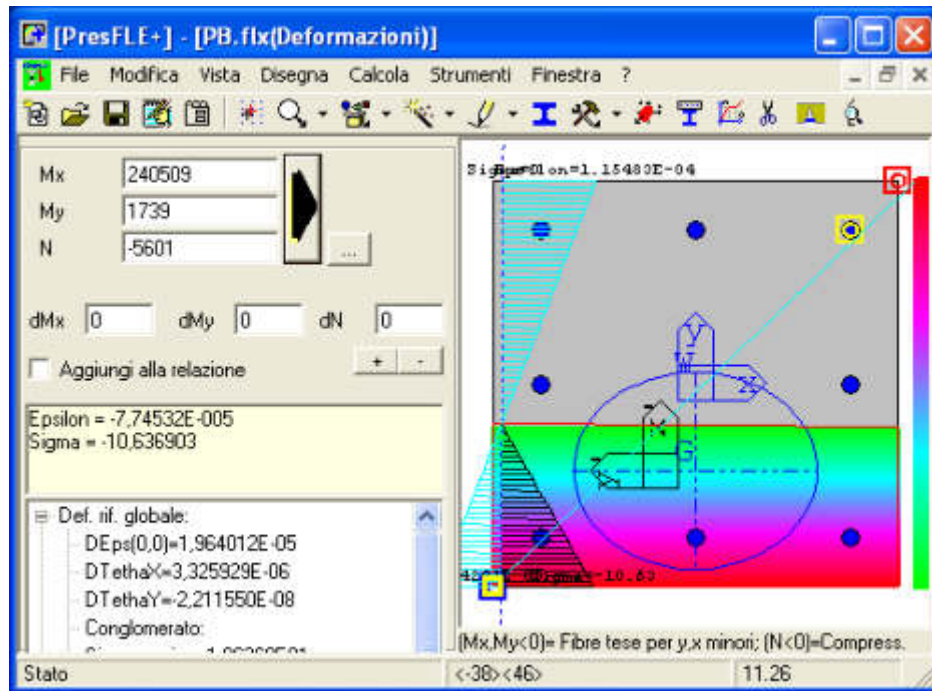
P1 (-29,-29)
 P2 (-29,29)
 P3 (29,29)
 P4 (29,-29)

Sollecitazioni agenti:

N = -5601
 Tx = -17
 Ty = -2709
 Mx = -240509
 My = 1739

Con il programma PresFle calcolo le tensioni sul cls sui 4 vertici della piastra e le tensioni sui tirafondi.





$$\sigma_{cls} = -10.64 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{acciaio} = 192.19 \text{ daN/cm}^2$$

Effettuo la verifica in una sezione a filo colonna: considero una porzione di piastra e applicando alla stessa le curvature e la epsilon calcolate con il PresFle calcolo le sollecitazioni sulla sezione di verifica.

Coordinate dei 4 vertici della porzione di piastra.

V1 (29,29)

V2 (29,0)

V3 (13.5,0)

V4 (13.5,29)

Sollecitazioni ricavate:

N = - 3186 DaN

Mx = - 46291 daNcm

My = 71859 daNcm

ex = - My / N = 22.56 cm

ey = Mx / N = 14.53 cm

braccioy = ey - V4y = 9.06 cm

br = 8.5 cm

Sollecitazioni sulla sezione di verifica:

Mom = N * braccioy + (s_{acciaio1} * area_{acciaio1} + s_{acciaio2} / 2 * area_{acciaio2}) * br = - 35161 daNcm

Taglio = N + (s_{acciaio1} * area_{acciaio1} + s_{acciaio2} / 2 * area_{acciaio2}) = - 3928.1 daN

Caratteristiche geometriche della sezione di verifica:

W = 252.5 cm³

Area = 30 cm²

Tensioni sulla piastra

σ = Mom / W = - 139.2 daN/cm²

τ = Taglio / Area = - 130.9 daN/cm²

$\sigma_{ideale} = (\sigma_{max}^2 + 3 \tau^2)^{1/2} = 266.1 \text{ daN/cm}^2$

Verifica di attrito

taglio = (t_x² + t_y²)^{1/2}

Compressione sui tirafondi:

Comp_{tirafondi} = - 496 - 492 - 487 = 1475 daN

Traz_{tirafondi} = 858 + 862 + 867 + 181 + 190 = 2957 daN

Compressioni interessanti la trasmissione del taglio per attrito

comp = N - Traz_{tirafondi} + Comp_{tirafondi} = - 10034 daN

Risulta che taglio < .Coeff_{attrito} * comp e quindi il taglio è assorbito tutto dall'attrito piastra-cl. I tirafondi, quindi, non assorbono taglio.

Verifica dei tirafondi

moltiplico la tensione dei tirafondi per il rapporto tra area lorda e area netta del tirafondo dal momento che la sezione resistente del tirafondo è quella filettata.

$$\sigma_{\text{tira}} = \sigma_{\text{acciaio}} * \text{AreaLorda}_{\text{tirafondi}} / \text{AreaFiletto}_{\text{tirafondi}} = 245.5 \text{ daN/cm}^2$$

Verifica di aderenza

Lo sforzo normale sui tirafondi risulta:

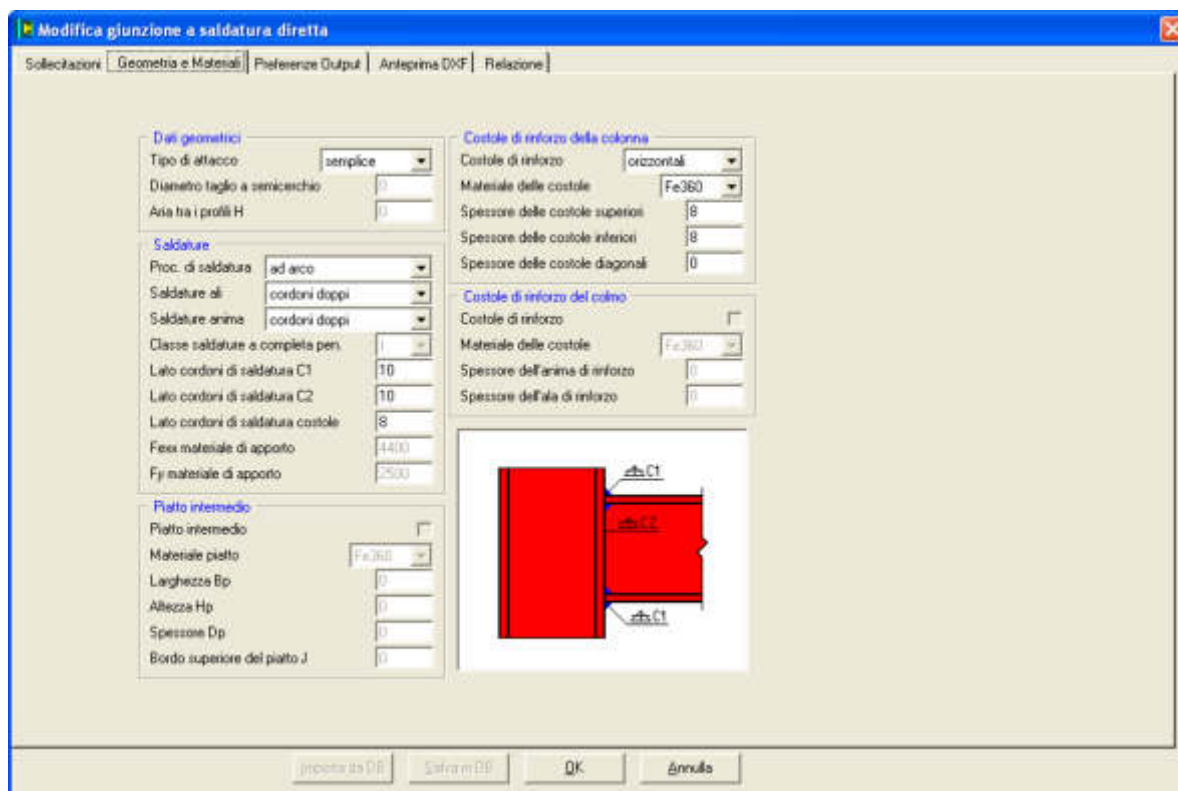
$$N_{\text{tirafondi}} = \sigma_{\text{acciaio}} * \text{AreaLorda}_{\text{tirafondi}} = 867 \text{ daN}$$

Lunghezza dei tirafondi:

$$L_{\text{tirafondi}} = H_{\text{tirafondi}} + \text{Diametro}_{\text{tirafondi}} = 148 \text{ cm}$$

$$\tau_{\text{aderenza}} = N_{\text{tirafondi}} / (\pi * \text{Diametro}_{\text{tirafondi}} * L_{\text{tirafondi}}) = 0.777 \text{ daN/cm}^2$$

8.9 Verifica di saldatura diretta trave-colonna



Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Saldatura Trave in acciaio livello Livello 1 fili 3-4-Colonna in acciaio tronco Livello 1-Livello 0 filo 3

Normativa di calcolo: CNR10011 - tensioni ammissibili

Tipo di collegamento: giunzione di ala trave-colonna

Profilo portante: HEA280 materiale Fe360

Profilo portato: IPE180 materiale Fe360

Tipo di attacco: semplice

Cordoni di saldatura sulle ali lato 10.0 mm

Cordoni di saldatura sull'anima lato 10.0 mm

Costole di rinforzo non necessarie

Verifica di resistenza delle saldature

samm condizione I = 1600.0 daN/cm² samm condizione I+II = 1800.0 daN/cm²

a cordoni d'angolo:

verifica V3 (so, tp oppure to, tp):

sid.max condizione I = 2777.5 daN/cm² > samm.rid condizione I = 1360.0 daN/cm²

comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

a cordoni d'angolo:

verifica V3 (so, tp oppure to, tp):

sid.max condizione I+II = 2777.5 daN/cm² > samm.rid condizione I+II = 1530.0 daN/cm²

comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

8.9.1. Verifica manuale delle saldature

Coordinate degli assi delle 8 saldature presenti.

Le coordinate sono riferite al punto di applicazione delle forze.

1	(-4.55, 9.35)(4.55, 9.35)
2	(-4.55, - 9.35)(4.55, - 9.35)
3	(-4.55, 7.85)(-1.165, 7.85)
4	(1.165, 7.85)(4.55, 7.85)
5	(-4.55, -7.85)(-1.165, -7.85)
6	(1.165, -7.85)(4.55, -7.85)
7	(-0.62 -7.3)(-0.62, 7.3)
8	(0.62 -7.3)(0.62, 7.3)

Lunghezza e area di ciascuna saldatura:

L = 9.1	Area = 6.43 cm ²
L = 9.1	Area = 6.43 cm ²
L = 3.385	Area = 2.39 cm ²
L = 3.385	Area = 2.39 cm ²
L = 3.385	Area = 2.39 cm ²
L = 3.385	Area = 2.39 cm ²
L = 14.6	Area = 10.32 cm ²
L = 14.6	Area = 10.32 cm ²

Dati complessivi delle saldature:

$$\begin{aligned} J_t &= 2268 \text{ cm}^4 \\ J_{xTot} &= 2083 \text{ cm}^4 \\ J_{yTot} &= 185 \text{ cm}^4 \\ A_{tx} &= 22.44 \text{ cm}^2 \\ A_{ty} &= 20.65 \text{ cm}^2 \\ A_{tot} &= 43.09 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sollecitazioni agenti:

$$\begin{aligned} T_y &= 5316 \text{ daN} \\ M_x &= - 604558 \text{ daN*cm} \\ N &= - 2709 \text{ daN} \end{aligned}$$

Tensioni sulle saldature:

$$\begin{aligned} 1 \quad \text{sig} &= N / A_{tot} + M_x * y / J_x = 2776.51 \text{ daN/cm}^2 \\ 2 \quad \text{sig} &= N / A_{tot} + M_x * y / J_x = 2650.79 \text{ daN/cm}^2 \\ 3 \quad \text{sig} &= N / A_{tot} + M_x * y / J_x = 2341.17 \text{ daN/cm}^2 \\ 4 \quad \text{sig} &= N / A_{tot} + M_x * y / J_x = 2341.17 \text{ daN/cm}^2 \\ 5 \quad \text{sig} &= N / A_{tot} + M_x * y / J_x = 2215.45 \text{ daN/cm}^2 \\ 6 \quad \text{sig} &= N / A_{tot} + M_x * y / J_x = 2215.45 \text{ daN/cm}^2 \\ 7 \quad \text{tau} &= T_y / A_{ty} = 257.43 \text{ daN/cm}^2 \\ \text{sig1} &= N / A_{tot} + M_x * y / J_x = 2055.82 \text{ daN/cm}^2 \\ \text{sig2} &= N / A_{tot} + M_x * y / J_x = -2181.54 \text{ daN/cm}^2 \\ \text{sig}_{idealeMAX} &= (\sigma_{max}^2 + \tau^2)^{1/2} = 2196.68 \text{ daN/cm}^2 \\ 8 \quad \text{tau} &= T_y / A_{ty} = 257.43 \text{ daN/cm}^2 \\ \text{sig1} &= N / A_{tot} + M_x * y / J_x = 2055.82 \text{ daN/cm}^2 \\ \text{sig2} &= N / A_{tot} + M_x * y / J_x = -2181.54 \text{ daN/cm}^2 \\ \text{sig}_{idealeMAX} &= (\sigma_{max}^2 + \tau^2)^{1/2} = 2196.68 \text{ daN/cm}^2 \end{aligned}$$

Tensione massima: 2776.51 daN/cm²

8.10 Verifica di flangia trave-colonna

Modifica giunzione a flangia

Sollecitazioni | Geometria e Materiali | Preferenze Output | Anteprima DWF | Relazione

Dati generali

Tipo di flangia: Tipo n.1
 Tipo di attacco: semplice
 Materiale flangia: Fe360
 Classe bulloni: 8.8
 Diametro bulloni: 24
 Tipo di lavoro bulloni: sul filetto
 Diametro taglio a semicerchio: 35
 Dp: 25 Bp: 140 Hp: 200
 W1: 85 W2: U: 10
 E2: E3: 100 AT: 40

Saldature

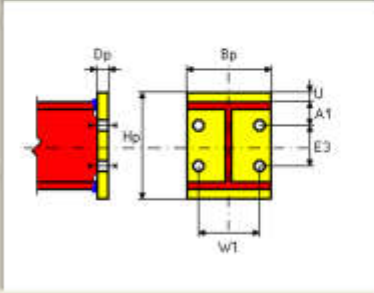
Proc. di saldatura: ad arco
 Saldature al: completa penetrazione
 Saldature anima: completa penetrazione
 Classe saldature a compl. pen.: I
 Lato dei cordoni di saldatura C1: 0
 Lato dei cordoni di saldatura C2: 0
 Lato cordoni sald. delle costole: 0
 Fexx materiale di apporto: 1400
 Fy materiale di apporto: 2500

Costole di rinforzo della colonna

Costole di rinforzo: non richieste
 Materiale delle costole: Fe360
 Spessore costole superiori: 0
 Spessore costole inferiori: 0
 Spessore costole diagonali: 0

Costole di rinforzo del colmo

Costole di rinforzo: ☐
 Materiale delle costole: Fe360
 Spessore dell'anima di rinforzo: 0
 Spessore dell'ala di rinforzo: 0



Importa da DB Salva in DB OK Annulla

Modifica giunzione a piastra di base

Sollecitazioni | Geometria e Materiali | Ancoraggi | Preferenze Output | Anteprima DWF | Relazione

Tralordi

Tipo di tralordi: profilati
 Materiale dei tralordi: Fe430
 Tipo di lavoro tralordi: sul gambo
 Diametro dei tralordi: 24
 Diametro minimo dei tralordi: 0
 Altezza dei tralordi H: 1000
 Tensione ammissibile dei tralordi: 1600
 Tralordi attivi a compressione: ☒ Sì ☐ No

Aderenza e risette

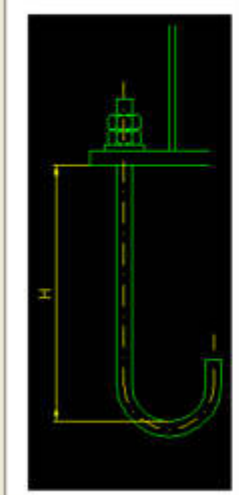
Materiale risetta: S235
 Lato della risetta A: 200
 Spessore della risetta B: 25
 Lato del cordone C: 25

Traverse a contatto

Profilo traverse:
 Materiale traverse: S235
 Distanza fra le traverse C: 41
 Lunghezza totale delle traverse: 540
 Materiale mantello: S235
 Larghezza del mantello A: 60
 Lunghezza del mantello B: 150
 Spessore del mantello SP: 20
 Lato del cordone C: 20

Ancoraggio

Tipo: aderenza semplice



Importa da DB Salva in DB OK Annulla

Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Flangia Trave Colonna

Normativa di calcolo: CNR10011 - tensioni ammissibili
 Tipo di collegamento: giunzione di ala trave-colonna
 Profilo portante: HEA280 materiale Fe360
 Profilo portato: IPE180 materiale Fe360
 Tipo di attacco: semplice
 Spessore flangia 2.5 cm
 Materiale flangia Fe360

Bulloni M 24 classe 8.8
 Bulloni sollecitati nelle sezioni filettate
 Saldature a completa penetrazione classe 1

Verifica a taglio + sforzo assiale dei bulloni
 tamm condizione I = 2640.0 daN/cm² tamm condizione I+II = 2970.0 daN/cm²
 sforzo assiale bulloni superiori:
 smax trazione condizione I = 6104.6 daN/cm² > samm condizione I = 3730.0 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm
 sforzo assiale bulloni superiori:
 smax trazione condizione I+II = 6104.6 daN/cm² > samm condizione I+II = 4196.3 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm
 trazione + taglio:
 (smax/samm)^2+(tmax/tamm)^2 condizione I = 2.699 > 1
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm
 trazione + taglio:
 (smax/samm)^2+(tmax/tamm)^2 condizione I+II = 2.132 > 1
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm
 taglio:
 tmax condizione I = 376.5 daN/cm² < tamm condizione I = 2640.0 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm
 taglio:
 tmax condizione II = 376.5 daN/cm² < tamm condizione II = 2970.0 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

Verifiche a rifollamento
 rifollamento per il profilo portante:
 smax rif. condizione I = 426.0 daN/cm² < samm rif. condizione I = 4000.0 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm
 rifollamento per la piastra:
 smax rif. condizione I = 221.5 daN/cm² < samm rif. condizione I = 3333.3 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm
 rifollamento per il profilo portante:
 smax rif. condizione I+II = 426.0 daN/cm² < samm rif. condizione I+II = 4500.0 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm
 rifollamento per la piastra:
 smax rif. condizione I+II = 221.5 daN/cm² < samm rif. condizione I+II = 3750.0 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

Verifica di resistenza della piastra:
 sid.max condizione I = 13703.3 daN/cm² > samm condizione I = 1600.0 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm
 Verifica di resistenza della piastra:
 sid.max condizione I+II = 13703.3 daN/cm² > samm condizione I+II = 1800.0 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

Verifica di resistenza delle saldature
 samm condizione I = 1600.0 daN/cm² samm condizione I+II = 1800.0 daN/cm²
 a completa penetrazione (classe 1):
 sid.max condizione I = 4804.4 daN/cm² > samm.rid condizione I = 1600.0 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm
 a completa penetrazione (classe 1):
 sid.max condizione I+II = 4804.4 daN/cm² > samm.rid condizione I+II = 1800.0 daN/cm²
 comb. 1 N -2.709E+03 daN Tx 0.0000E+00 daN Ty 5.3160E+03 daN Mx -6.046E+05 daN*cm My 0.0000E+00 daN*cm Mt 0.0000E+00 daN*cm

8.10.1. Verifica manuale

Verifica dei bulloni

Coordinate dei bulloni:

- 1 (-4.25, 5)
- 2 (4.25, 5)
- 3 (-4.25, -5)
- 4 (4.25, -5)

Taglio agente:

Ty = 5316 daN

Azione tagliante agente su ciascun bullone:

Tyb = 1329 daN

Trazione sui bulloni dovuta a N:

Traz_N = -677.25 daN

Trazione totale:

Nbull1 = Traz_N + Mx/br/2 = -677.25 – 604558/13.6/2 = 21549 daN

$$N_{bull2} = Traz_N - M_x/br/2 = -677.25 - 604558/13.6/2 = -22904 \text{ daN}$$

La tensione dovuta a T_y risulta:

$$\tau = 1329 / 3.53 = 376.49 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{adm} = 2640 \text{ daN/cm}^2$$

La tensione dovuta alla trazione risulta:

$$\sigma = 21549 / 3.53 = 6105 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{adm} = 3730 \text{ daN/cm}^2$$

$$Coeff_{trazione+taglio} = ((\tau/\tau_{adm})^2 + (\sigma/\sigma_{adm})^2)^{1/2} = 2.70$$

Verifica delle saldature

Si omette la verifica delle saldature in quanto già trattata nel collegamento saldato.

Verifica della flangia

La flangia viene verificata considerando la stessa come una mensola incastrata in prossimità dei bulloni e caricata con un carico concentrato in prossimità dell'ala della trave.

Il carico concentrato è pari a:

$$esse = M_x/braccio + N/2 = 604558/17.2 + 2709/2 = 33794 \text{ daN}$$

$$M_{incastrato} = esse * (A1 - Sp_{ala_trave}/2) = 33794 * (4 - 0.4) = 121659 \text{ daN*cm}$$

Modulo elastico della sezione forata:

$$W_f = 9.27 \text{ cm}^3$$

Area della piastra forata:

$$A_{pf} = 22.25 \text{ cm}^2$$

Tensioni sulla piastra:

$$\sigma_{piastra} = M_{incastrato} / W_f = 121659 / 9.27 = 13123.95 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{piastra} = 1.5 * esse / A_{pf} = 2278.24 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{ideale} = (3 * \tau_{piastra}^2 + \sigma_{piastra}^2)^{1/2} = 13704.35 \text{ daN/cm}^2$$

Verifica a rifollamento

$$\tau_{rif_flangia} = T / D_{bull} / Sp_{flangia} = 221.5 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{rif_portante} = T / D_{bull} / Sp_{alaportante} = 425.96 \text{ daN/cm}^2$$

8.11 Riepilogo dei risultati

Sollecitazioni e tensioni delle travi:

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
Ripartizione carichi	15 daN/cm	15 daN/cm	0.0 %
Peso proprio trave	0.188 daN/cm	0.188 daN/cm	0.0 %
Peso proprio colonna	0.764 daN/cm	0.764 daN/cm	0.0 %
Sforzo normale N nella colonna	-5601 - -5363 daN	-5601 - -5363 daN	0.0%
Momento flettente M3 trave 700cm	325714– -604558 daNcm	328152 - -602113 daNcm	0.7 %
Momento flettente M3 trave 500cm	2280 – -3598 daNcm	2270 - -3605 daNcm	0.4 %
Verifica di resistenza trave 700cm	$\sigma_{ideale} = 4241 \text{ daN/cm}^2$	$\sigma_{ideale} = 4254 \text{ daN/cm}^2$	0.3 %

Verifica del collegamento a squadretta:

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
Taglio profilo portato	2573.9 daN/cm ²	2573.89 daN/cm ²	0.0 %
Rifollamento profilo portato	9530.7 daN/cm ²	9530.66 daN/cm ²	0.0 %
Taglio profilo portante	1973.5 daN/cm ²	1973.25 daN/cm ²	0.0 %
Rifollamento profilo portante	1489.6 daN/cm ²	1489.42 daN/cm ²	0.0%
Verifica profilo forato	1234.4 daN/cm ²	1234.38 daN/cm ²	0.0 %
Resistenza squadrette sul portato	1970.1 daN/cm ²	1970.1 daN/cm ²	0.0 %

Rifollamento squadrette sul portato	3157.1 daN/cm ²	3157.03 daN/cm ²	0.0 %
Resistenza squadrette sul portante	1668.9 daN/cm ²	1668.9 daN/cm ²	0.0 %
Rifollamento squadrette sul portante	2420.6 daN/cm ²	2420.15 daN/cm ²	0.0 %

Verifica della piastra di base:

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
Trazione dei tirafondi	245.5 daN/cm ²	245.5 daN/cm ²	0.0 %
Resistenza della piastra	266.1 daN/cm ²	266.1 daN/cm ²	0.0 %
Verifica dell'ancoraggio	0.78 daN/cm ²	0.78 daN/cm ²	0.0 %

Verifica del collegamento con saldature:

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
Verifica delle saldature a cordone	2777.5 daN/cm ²	2776.51 daN/cm ²	0.0 %

Verifica del collegamento a flangia:

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
Bulloni: c.s. trazione + taglio	2.7	2.70	0.0 %
Verifica della flangia	13703 daN/cm ²	13704.35 daN/cm ²	0.0 %
Rifollamento sulla flangia	221.5 daN/cm ²	221.5 daN/cm ²	0.0 %
Rifollamento sulla colonna	426 daN/cm ²	425.96 daN/cm ²	0.0 %

9. Lastra rettangolare appoggiata al contorno

E' stata condotta una verifica per controllare la correttezza dei risultati di SismiCad 11.7.

A questo scopo, si è deciso di studiare una struttura semplice risolvendola sia con SismiCad 11.7 sia con metodi di calcolo manuali.

9.1 Scopo dell'esempio

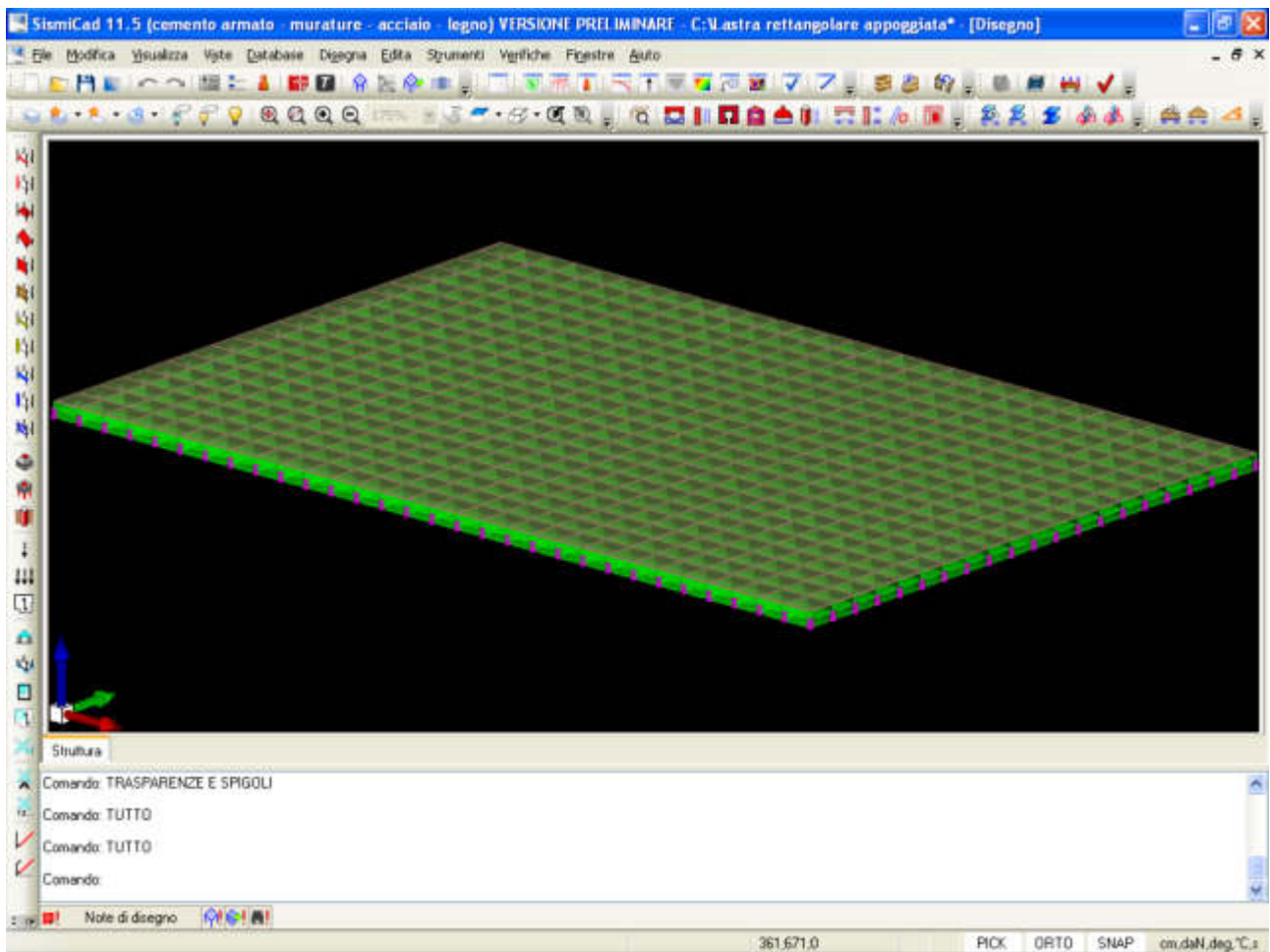
Con questo esempio si vuole verificare l'affidabilità dei risultati di SismiCad 11.7 nei riguardi dello studio di una lastra piana uniformemente caricata e appoggiata al contorno.

9.2 File associati all'esempio

La directory della commessa di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura è *Lastra rettangolare appoggiata* presente nella cartella "*\Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esempi\Casi prova valutazione affidabilita*" del profilo utente. I risultati sono stati controllati con le formulazioni proposte dalla teoria delle *lastre piane*.

9.3 Descrizione della struttura

L'esempio si riferisce ad una lastra piana di dimensione di 400 cm x 600 cm, dello spessore di 10 cm semplicemente appoggiata alle estremità ($u_x, u_y, u_z, 0, 0, 0$) e caricata uniformemente ($q_z = -1000 \text{ daN/m}^2$). Le caratteristiche meccaniche della lastra sono: $E=2060000 \text{ da/cm}^2$ $\nu=0.3$.



9.3.1. Dimensioni degli elementi strutturali

Proprietà	
Piastra C.A.	
Quota	Fondazione
Spessore	10
Punti	4 punti
Estradosso	0
Materiale	Materiale Lastra
Carico superficiale	<input checked="" type="checkbox"/> carico
Carico potenziale	<input type="checkbox"/> Nessuno
Variazione termica	<input type="checkbox"/> Nessuno
Sovraresistenza	0
Sisma Z	No
Forma	Superficie + Solido
Fondazione	No
Dimensione mesh	Default
Tipo mesh	Default
Punti FEM	4 punti
Cerniere	Nessuno

Quota
Quota di inserimento esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. Il valore è espresso in cm.

Dimensioni lastra: $a=600\text{ cm}$, $b=400\text{ cm}$, $s=10\text{ cm}$

9.3.2. Materiale

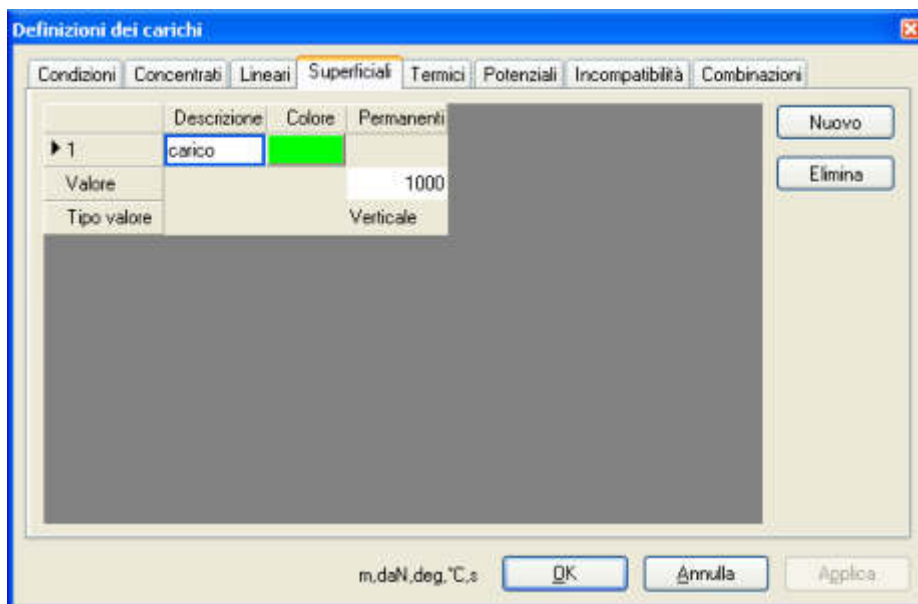
Si definisce un materiale *Materiale Lastra* con le seguenti proprietà:

- Modulo elastico $E=2060000\text{ daN/cm}^2$
- Coeff. Poisson $\nu=0.3$
- Peso proprio $\gamma=0\text{ daN/cm}^3$

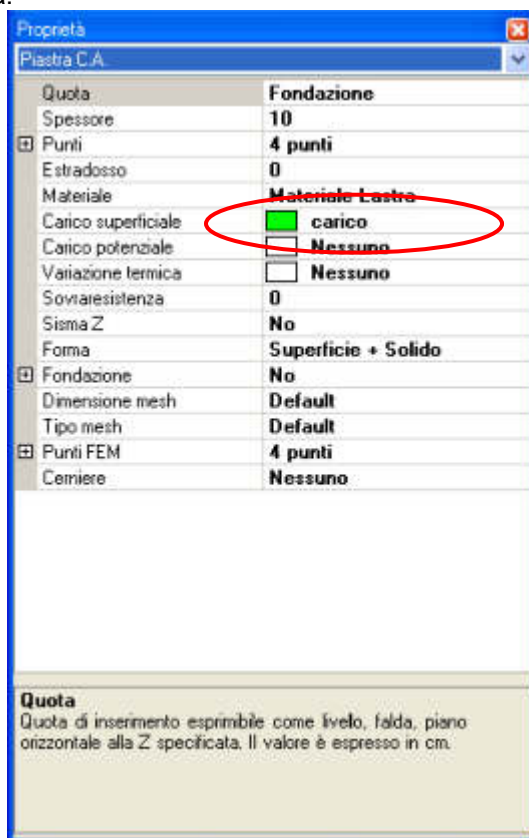
Calcestruzzo	
Descrizione: Materiale Lastra	
E	daN/cm ² 2060000.00
Poisson	0.30
Gamma	daN/cm ³ 0.000000
Alfa	°C ⁻¹ 0.000010
Rick	daN/cm ² 300
Curva Saenz (25 pts.)	Modifica ▼
Descrizione o nome assegnato all'elemento.	
OK Annulla	

9.3.3. Analisi dei carichi

Viene definito un carico superficiale uniforme $q=1000\text{ daN/cm}^2$ con direzione coincidente con l'asse z e verso contrario.



Esso viene attribuito alla piastra.



9.4 Valutazione della freccia

9.4.1. Freccia valutata con le formulazioni proposte dalla teoria

I riferimenti bibliografici si possono trovare sul libro *Scienza delle costruzioni vol.3– Odone Belluzzi-Zanichelli*.

$$b=600\text{cm}$$

$$a=400\text{cm}$$

$$s=10\text{cm}$$

$$v=0.3$$

$$E=2060000 \text{ daN/cm}^2$$

$$q=1000 \text{ daN/m}^2=0.1 \text{ daN/cm}^2$$

$$B=1/12 * s^3 * E / (1 - \nu^2) = 1/12 * 10^3 * 2060000 / (1 - 0.3^2) = 188644688.6 \text{ daNcm}$$

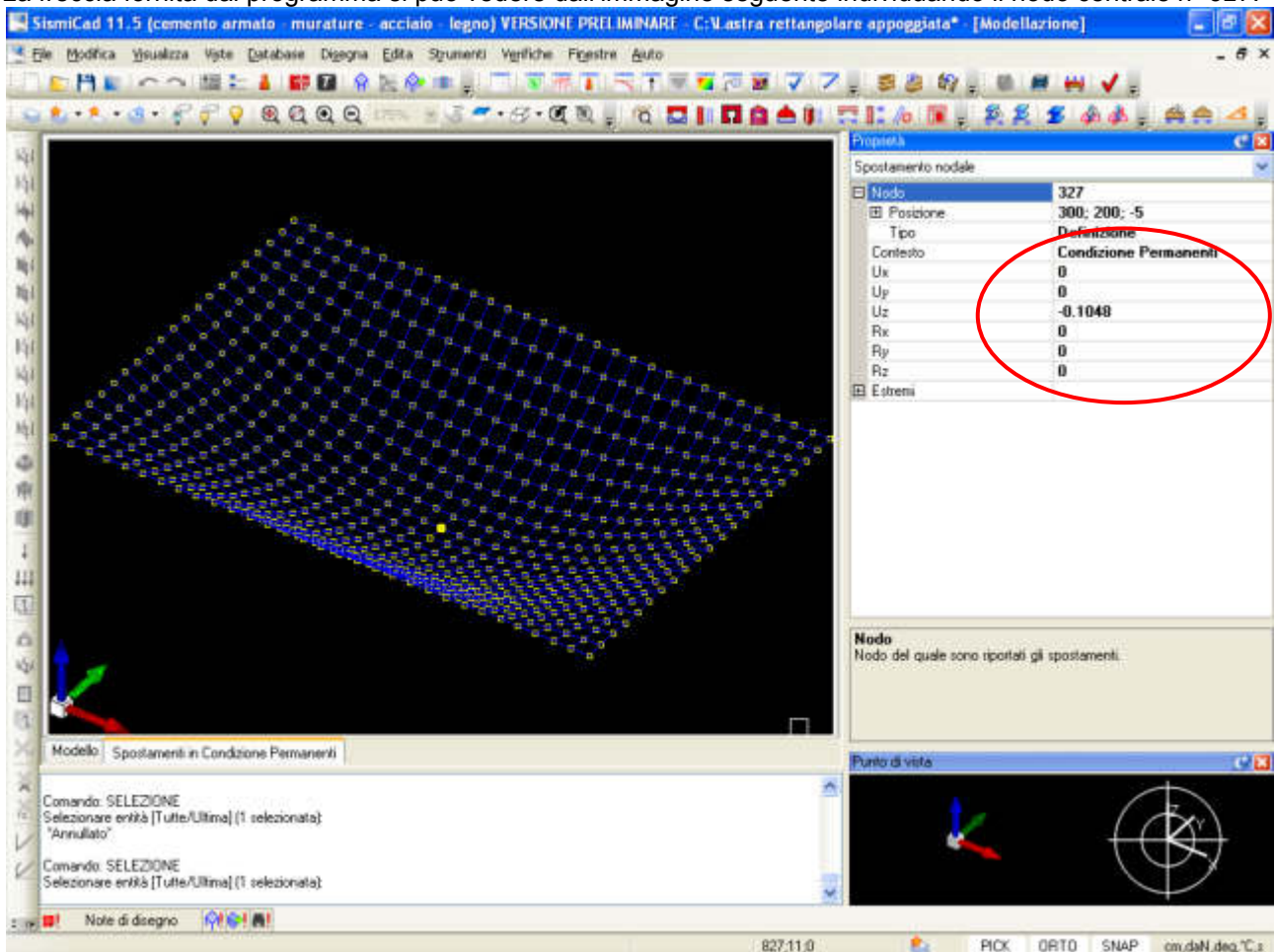
$$c_f = c_f(b/a) = 0.00775$$

il valore di c_f è dipendente dal rapporto tra le dimensioni della lastra ($b/a = 1.5$). I valori di questo parametro sono proposti in *Theory of plates and shells* – S. Timoshenko - New York McGraw-Hill – (1940).

$$f = c_f * q * a^4 / B = 0.00775 * 0.1 * 400^4 / 188644688.6 = 0.10476 \text{ cm}$$

9.4.2. Freccia valutata con il programma

La freccia fornita dal programma si può vedere dall'immagine seguente individuando il nodo centrale $n=327$.



La freccia fornita è praticamente la stessa di quella calcolata con la teoria classica delle lastre piane ($f=0.1048 \text{ cm}$).

9.5 Valutazione dei momenti m_x , m_y

9.5.1. Momenti valutati con le formulazioni proposte dalla teoria

I momenti flettenti per unità di lunghezza al centro della lastra m_x , m_y possono essere calcolati in dipendenza del rapporto tra i lati della lastra b/a .

$$b=600 \text{ cm}$$

$$a=400 \text{ cm}$$

$$s=10 \text{ cm}$$

$$\nu=0.3$$

$$E=2060000 \text{ daN/cm}^2$$

$$q=1000 \text{ daN/m}^2=0.1 \text{ daN/cm}^2$$

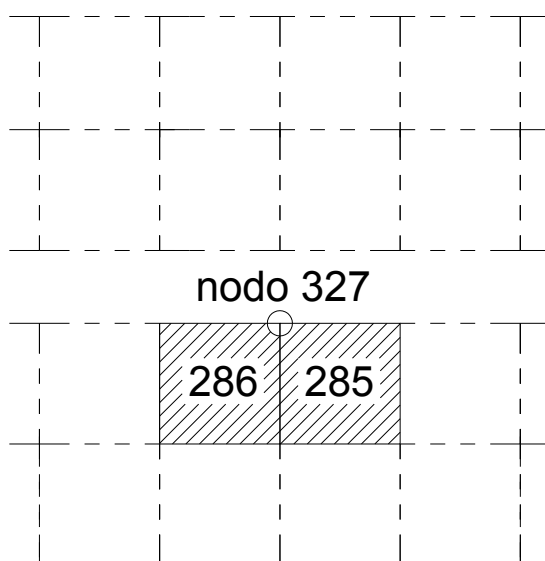
$$m_x = (c_1 + c_2 * v) * q * a^2 = (0.0728 + 0.3 * 0.0280) * 0.1 * 400^2 = 1299.2 \text{ daNcm/cm}$$

$$m_y = (c_2 + c_1 * v) * q * a^2 = (0.0280 + 0.3 * 0.0728) * 0.1 * 400^2 = 797.4 \text{ daNcm/cm}$$

I valori di c_1 e c_2 sono dipendenti dal rapporto b/a ($=1.5$). Essi si trovano nella teoria classica delle lastre piane (*Il carico della lastra piana rettangolare con carico uniformemente ripartito* – M. Salvati – Bari, Accolti (1936))

9.5.2. Momenti valutati dal programma

Si deve individuare il nodo centrale della lastra $n=327$. Per il momento m_x si ipotizza di sezionare la piastra con un segmento parallelo all'asse x e passante per il nodo $n=327$. In questo modo la lastra viene suddivisa in due parti. Si prenda in considerazione una delle due parti e si individuano le shell che interessano il nodo $n=327$. Esse hanno indice 285 e 286.



Interrogando queste due shell si possono ricavare i momenti M_x^{327} ($shell=285$) e M_x^{327} ($shell=286$).

Proprietà		Proprietà	
Risultati guscio		Risultati guscio	
Guscio	285	Guscio	286
Contesto	Condizione Permanenti	Contesto	Condizione Permanenti
Risultato	Forze	Risultato	Forze
Nodo	Nodo L (327)	Nodo	Nodo J (327)
Fx	0	Fx	0
Fy	0	Fy	0
Fz	-10	Fz	-10
Mx	12988	Mx	12988
My	7953	My	-7953
Mz	0	Mz	0
Estremi		Estremi	
Nodo Nodo a cui sono sono riferiti i risultati visualizzati. E' possibile richiedere anche il valore nodale medio.		Nodo Nodo a cui sono sono riferiti i risultati visualizzati. E' possibile richiedere anche il valore nodale medio.	

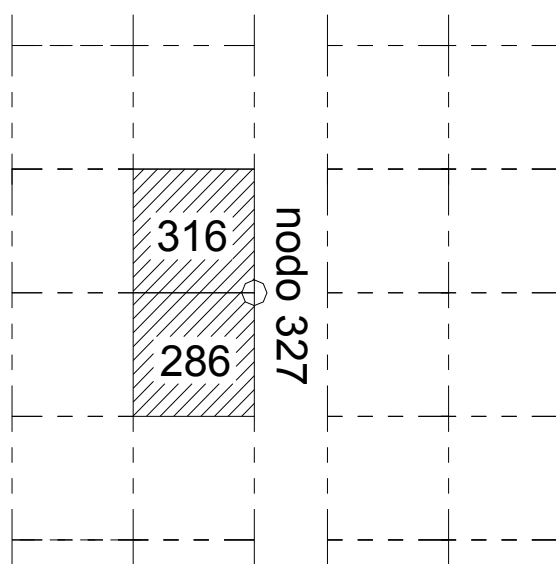
Il momento complessivo del nodo 327 sarà dato dalla somma algebrica dei due momenti:

$$M_x^{327} = M_x^{327} (shell=285) + M_x^{327} (shell=286) = 12988 + 12988 = 25976 \text{ daNcm}$$

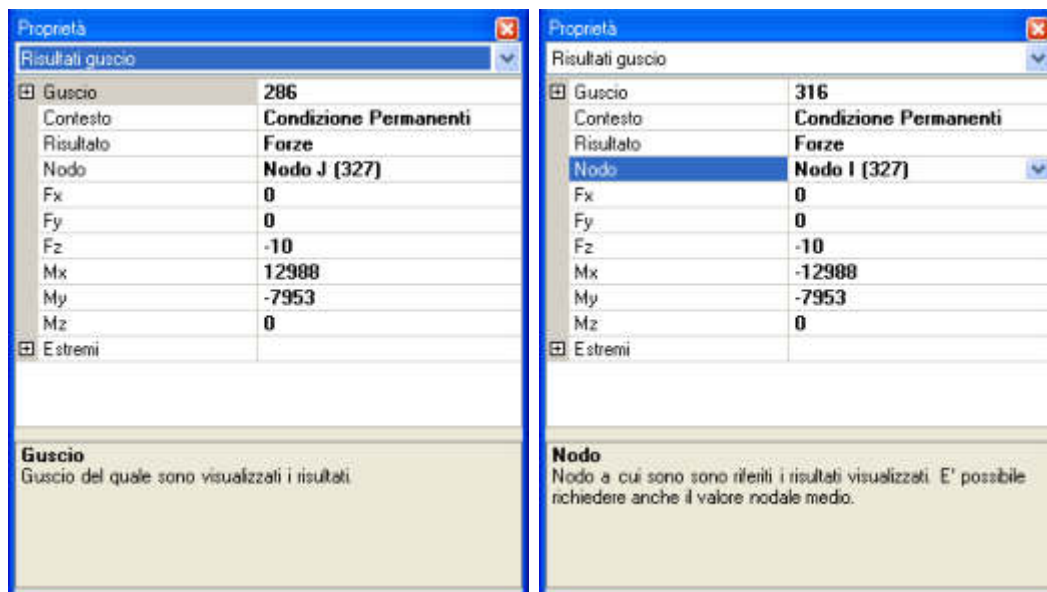
Essendo le dimensioni delle shell pari a 20 cm allora il momento per unità di lunghezza sarà:

$$m_x^{327} = M_x^{327} / 20 = 1298.8 \text{ daNcm/cm}$$

Per il momento m_y si ipotizza di sezionare la piastra con un segmento parallelo all'asse y e passante per il nodo $n=327$. In questo modo la lastra viene suddivisa in due parti. Si prende in considerazione una delle due parti e si individuano le shell che interessano il nodo $n=327$. Esse hanno indice 286 e 316.



Interrogando queste due shell si possono ricavare i momenti $M_y^{327} (shell=286)$ e $M_y^{327} (shell=316)$.



Il momento complessivo del nodo 327 sarà la somma algebrica dei due momenti:

$$M_y^{327} = M_y^{327} (shell=286) + M_y^{327} (shell=316) = 7953 + 7953 = 15906 \text{ daNcm}$$

Essendo le dimensioni delle shell pari a 20 cm allora il momento per unità di lunghezza sarà:

$$m_y^{327} = M_y^{327} / 20 = 795.3 \text{ daNcm/cm}$$

Come si può notare i momenti calcolati sono praticamente gli stessi di quelli ottenuti dal programma. Infatti l'errore relativo del momento x è (0.031%) mentre per il momento y risulta (0.263%)

9.6 Riepilogo dei risultati

	SismiCad	Analitico	Scarto
Freccia f	0.1048 cm	0.1048 cm	0.0 %
Momento m_x	1298.8 daNcm/cm	1299.2 daNcm/cm	0.031 %
Momento m_y	795.3 daNcm/cm	797.4 daNcm/cm	0.263 %

10. Modellazione non lineare di un portale in c.a.

E' stata condotta una verifica per controllare la correttezza dei risultati di SismiCad 11.7.

A questo scopo, si è deciso di studiare una struttura semplice risolvendola con SismiCad 11.7 e calcolando a mano le caratteristiche dell'oscillatore bilineare equivalente come descritto nell'Ordinanza 3431

10.1 Scopo dell'esempio

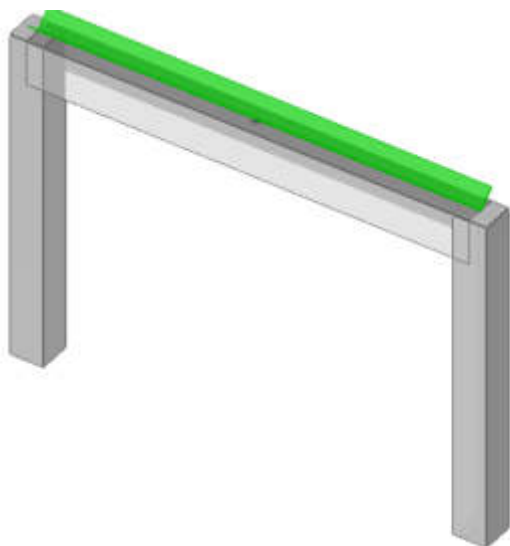
Con questo esempio si vuole verificare l'affidabilità dei risultati di SismiCad 11.7 nei riguardi della modellazione non lineare di elementi in calcestruzzo armato.

10.2 File associati all'esempio

La directory della commessa di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura è *Portale SNL* presente nella cartella "*Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esempi\Casi prova valutazione affidabilita*" del profilo utente.

10.3 Descrizione della struttura

Si consideri un portale di altezza 300 cm e larghezza di 400 cm caricato da un carico lineare di 1200 daN/m.



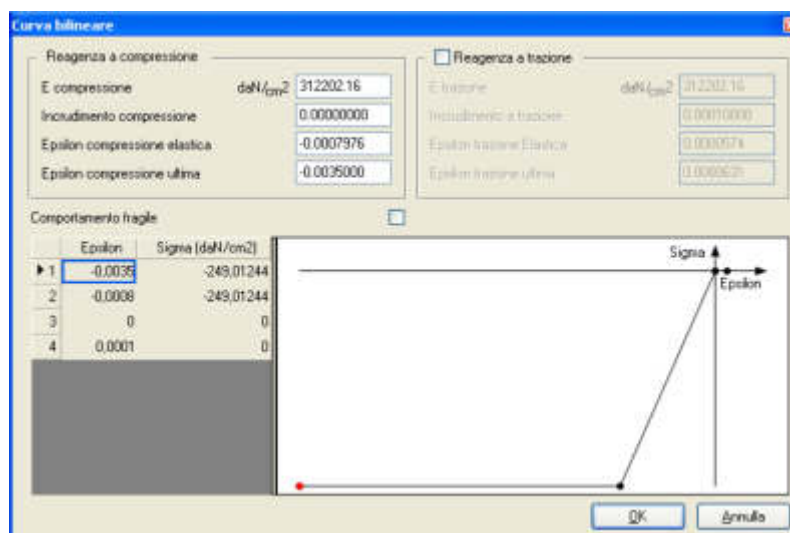
Sezione del pilastro



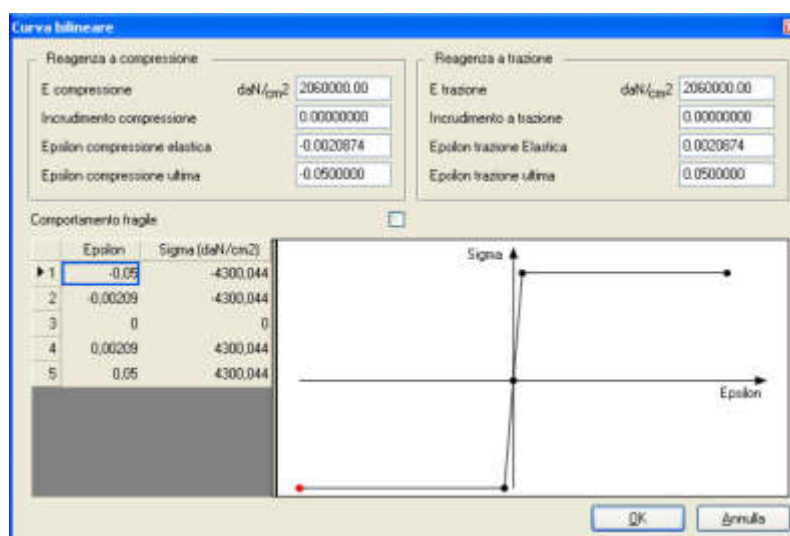
Sezione della trave

10.3.1. Materiale

La trave e i pilastri sono di calcestruzzo armato con peso proprio nullo. Il comportamento di questo materiale è definito dalla curva di compressione monoassiale rappresentata in questo caso da una bilineare.



Di seguito viene riportata la curva del materiale acciaio

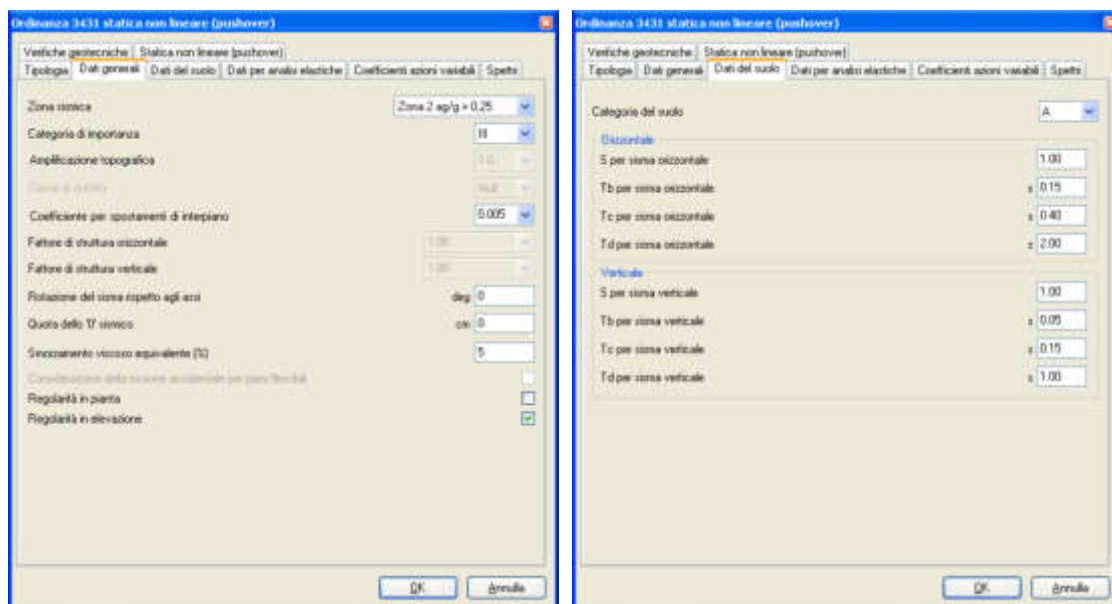


10.3.2. Analisi dei carichi

Il portale viene caricato con un carico lineare $q=1200$ daN/m.

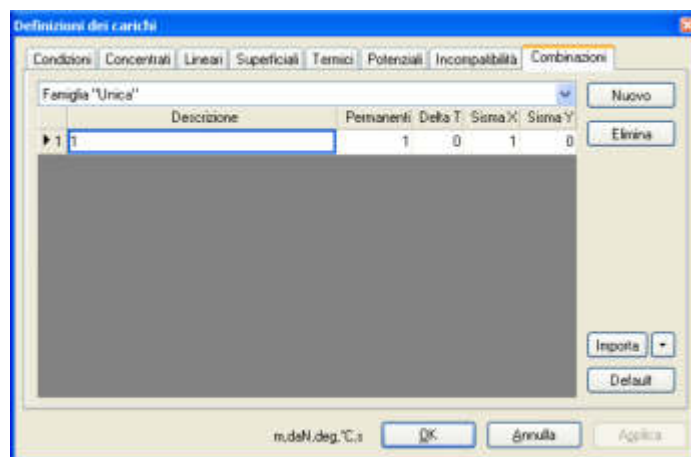
10.4 Analisi statica non lineare

Si effettua una analisi statica non lineare secondo Ordinanza 3431. Le impostazioni sono le seguenti



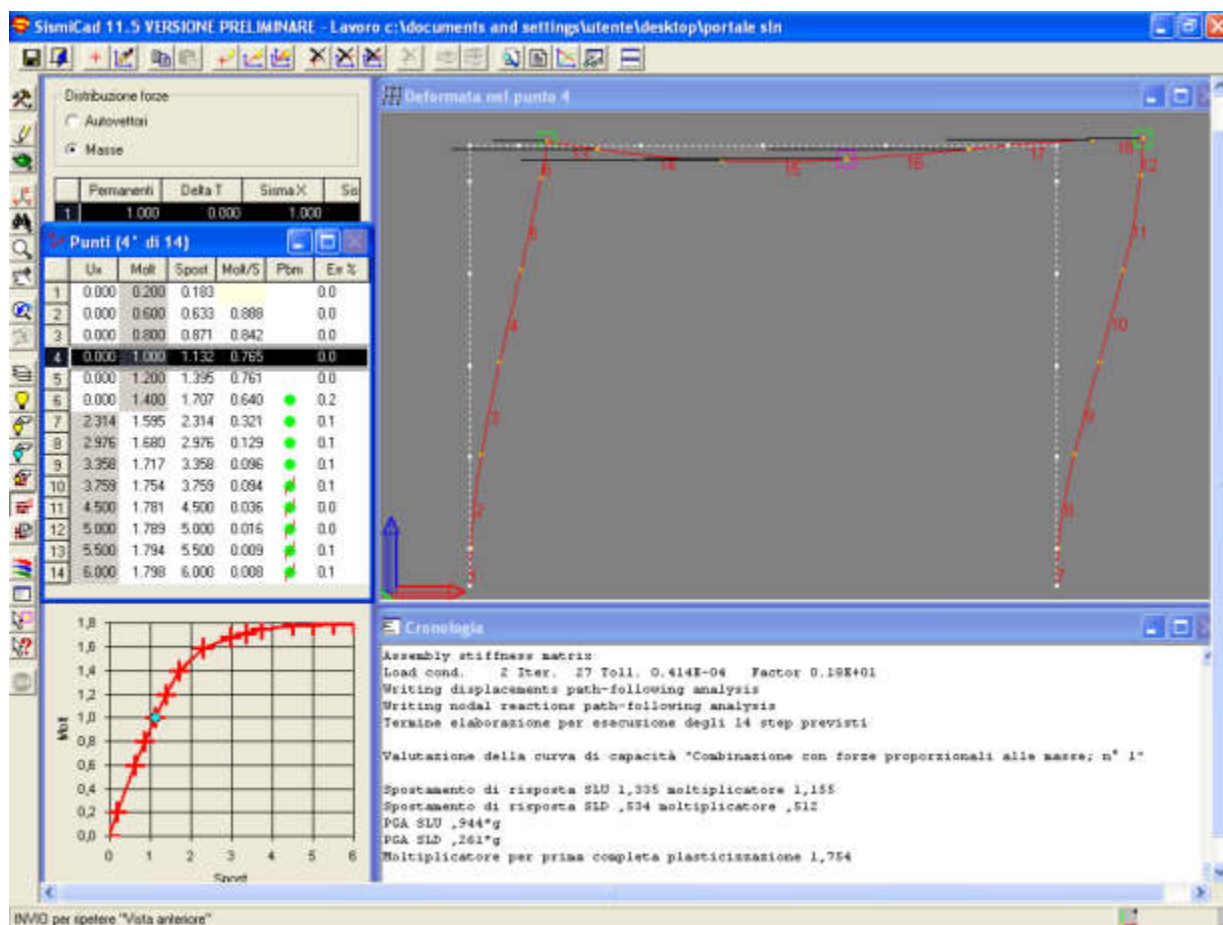
10.5 Combinazioni di carico

Si considera la sola combinazione di carico con sisma agente in direzione x.



10.6 Curva di capacità

Dopo aver modellato la struttura si entra nell'ambiente pushover e si crea la curva di capacità.

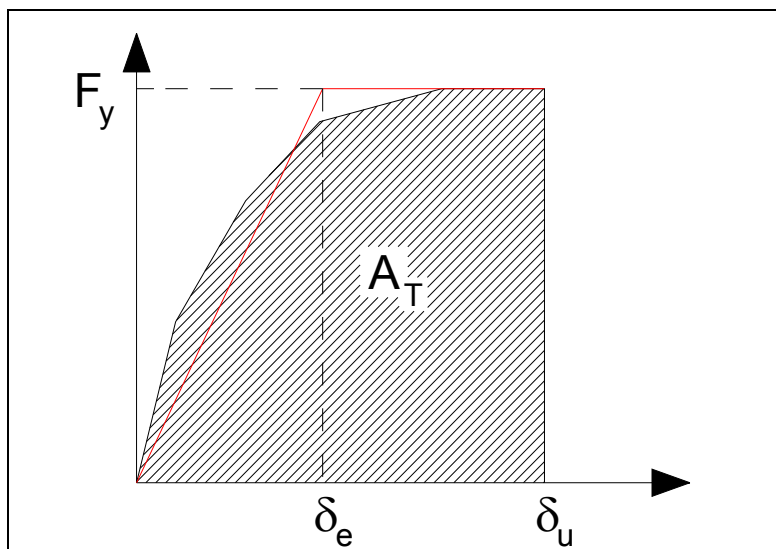


10.7 Calcolo dell'oscillatore bilineare equivalente

Si riporta di seguito la tabella relativa alla curva di capacità. Nella tabella viene indicata l'area sottesa dalla curva di capacità.

molt	taglio daN	d cm	Area parziale daNcm
0	0	0	0
0,2	600	0,183	54,9
0,6	1800	0,633	594,9
0,8	2400	0,871	1094,7
1	3000	1,132	1799,4
1,2	3600	1,395	2667,3
1,4	4200	1,707	3884,1
1,595	4785	2,314	6611,0475
1,68	5040	2,976	9863,1225
1,717	5151	3,358	11809,6035
1,754	5262	3,759	13897,41
1,781	5343	4,5	17826,5625
1,789	5367	5	20504,0625
1,794	5382	5,5	23191,3125
1,798	5394	6	25885,3125

Mediante l'uguaglianza delle aree (uguaglianza dell'energia) si può passare alla definizione di una curva bi-lineare.



Costruzione grafica oscillatore bi-lineare equivalente

$$A_T = 25885.3125 \text{ daNcm}$$

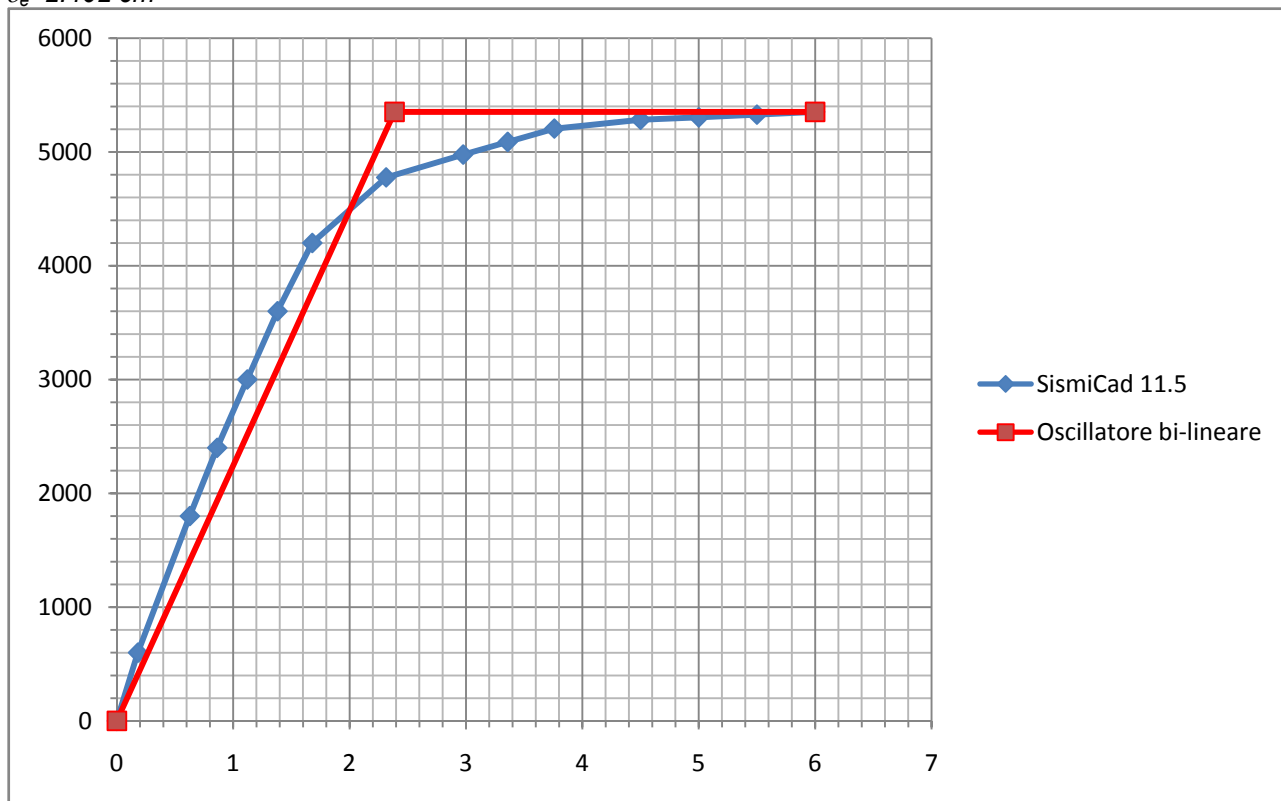
$$\delta_u = 6.0 \text{ cm}$$

$$F_y = 5394 \text{ daN}$$

$$A_T = F_y \delta_e 0.5 + F_y (\delta_u - \delta_e)$$

da cui si ricava il valore di δ_e

$$\delta_e = 2.402 \text{ cm}$$



Curva di capacità: Taglio alla base[daN] in funzione dello spostamento del punto di controllo [cm]

Il valore della forza di snervamento dell'oscillatore è:

$$F_y^* = V_{max} / I = 5394 \text{ daN}$$

Il valore della rigidezza k^* dell'oscillatore è:

$$K^* = F_y^* / \delta_e^* = (F_y / I) / (\delta_e / I) = F_y / \delta_e = 5394 / 2.402 = 2245.62 \text{ daN/cm}$$

Il periodo dell'oscillatore risulta:

$$T^* = 2\pi(m^*/k^*)^{1/2} = 2\pi(4.9/2245.62)^{1/2} = 0.293 \text{ s}$$

I valori dati da SismiCad sono i seguenti:

Somma($M_i \cdot F_i$) 4,9 (daN*s²/cm)

Coefficiente di partecipazione 1,000

Periodo di vibrazione dell'oscillatore bilineare equivalente 0,293 s

K^* (rigidezza dell'oscillatore bilineare) 2247,187 daN/cm

F_y^* 5392,693 daN



Per visualizzarli nel programma è necessario, all'interno dell'ambiente Pushover, aprire la relazione con l'apposito tasto.

Come si può notare i valori ottenuti da SismiCad sono praticamente gli stessi ottenuti dal calcolo manuale.

10.8 Calcolo della domanda di spostamento

Nel caso di Ordinanza 3431 lo spettro di risposta elastico risulta dato dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left(1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1)\right)$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

Con $T_B=0.15 \text{ s}$, $T_C=0.40 \text{ s}$ e $T_D=2.0 \text{ s}$ in quanto terreno di tipo A

10.8.1. Domanda SLU

Essendo $T^* = 0.293 \text{ s} \in [T_B, T_C]$ allora:

$$S_e(T^*) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 = 0.25 \cdot 981 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2.5 = 613.125 \text{ cm/s}^2$$

L'equivalente per lo spostamento sarà:

$$S_{De}(T^*) = S_e(T^*) \cdot (T^*/2\pi)^{1/2} = 613.125 \cdot (0.293/2\pi)^{1/2} = 1.3346 \text{ cm}$$

$$q^* = S_e(T^*) \cdot m^* / F_y^* = 613.125 \cdot 4.9 / 5394 = 0.557$$

Essendo $T^* < T_C$ e $q^* < 1$ la risposta massima del sistema anelastico è assunta uguale a quella del sistema elastico di pari periodo:

$$d_{max}^* = d_{e,max}^* = S_{De}(T^*) = 1.335 \text{ cm}$$

$$d_{max} = d_{max}^* \cdot I = 1.335 \text{ cm}$$

I valori dati da SismiCad sono i seguenti:

Q^* SLU 0,556

Spostamento di risposta SLU 1,335

Come si può notare i valori ottenuti da SismiCad sono praticamente gli stessi ottenuti dal calcolo manuale.

10.8.2. Domanda SLD

Essendo $T^* = 0.293 \text{ s} \in [T_B, T_C]$ allora:

$$S_e(T^*) = a_g \cdot S^* \cdot \eta^{2.5} = 0.25/2.5 \cdot 981 \cdot 1 \cdot 1^{2.5} = 245.3 \text{ cm/s}^2$$

L'equivalente per lo spostamento sarà:

$$S_{De}(T^*) = S_e(T^*) \cdot (T^*/2\pi)^{1/2} = 245.3 \cdot (0.293/2\pi)^{1/2} = 0.534 \text{ cm}$$

$$q^* = S_e(T^*) \cdot m^*/F_y^* = 245.3 \cdot 4.9 / 5394 = 0.223$$

Essendo $T^* < T_C$ e $q^* < 1$ la risposta massima del sistema anelastico è assunta uguale a quella del sistema elastico di pari periodo:

$$d_{max}^* = d_{e,max}^* = S_{De}(T^*) = 0.534 \text{ cm}$$

$$d_{max} = d_{max}^* \cdot I = 0.534 \text{ cm}$$

I valori dati da SismiCad sono i seguenti:

Q* SLD 0,223

Spostamento di risposta SLD 0,534

Come si può notare i valori ottenuti da SismiCad sono praticamente gli stessi ottenuti dal calcolo manuale.

10.9 Calcolo della capacità di spostamento

10.9.1. Capacità SLU

Si vuole determinare l'accelerazione massima al suolo che l'edificio riesce a sopportare prima del raggiungimento dello SLU. La capacità di spostamento SLU è pari a $d_{max} = 6 \text{ cm}$.

Essendo $T^* < T_C$ e non conoscendo a priori per questo spostamento il valore di q^* , dipendente dalla accelerazione, la soluzione al problema deve essere condotta per via iterativa.

Se $q^* < 1$

$$d_{e,SLU}^* = d_{SLU}^* \cdot q^* / [1 + (q^* - 1) \cdot T_C / T^*]$$

$$q^* = S_e(T^*) \cdot m^* / F_y^*$$

$$S_e(T^*) = S_{De}(T^*) \cdot (2\pi / T^*)^2$$

Altrimenti

$$d_{e,SLU}^* = d_{SLU}^*$$

Mediante iterazione si ottiene $a_g / g = 0.944$

Questo valore è lo stesso calcolato da SismiCad

PGA SLU 0,944*g

10.9.2. Capacità SLD

Si vuole determinare l'accelerazione massima al suolo che l'edificio riesce a sopportare prima del raggiungimento dello SLD. La capacità di spostamento SLD è pari a $d_{max} = 1.395 \text{ cm}$.

Essendo $T^* < T_C$ e non conoscendo a priori per questo spostamento il valore di q^* , dipendente dalla accelerazione, la soluzione al problema deve essere condotta per via iterativa.

Se $q^* < 1$

$$d_{e,SLU}^* = d_{SLU}^* \cdot q^* / [1 + (q^* - 1) \cdot T_C / T^*]$$

$$q^* = S_e(T^*) \cdot m^* / F_y^*$$

$$S_e(T^*) = S_{De}(T^*) * (2\pi/T^*)^2$$

Altrimenti

$$d_{e,SLU}^* = d_{SLU}^*$$

Mediante iterazione si ottiene $a_g/g = 0.261$

Questo valore è lo stesso calcolato da SismiCad.

PGA SLD 0,261*g

10.10 Riepilogo dei risultati

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
Periodo oscillatore	0.293 s	0.293 s	0.000 %
Rigidezza dell'oscillatore	2247.187 daN/cm	2245.62 daN/cm	0.069 %
Domanda SLU	1,335 cm	1.335 cm	0.000 %
Q* SLU	0,556	0.556	0.000 %
Domanda SLD	0,534 cm	0.534 cm	0.000 %
Q* SLD	0,223	0.223	0.000 %
a_g/g SLU	0, 944	0. 944	0.000 %
a_g/g SLD	0, 261	0. 261	0.000 %

11. Esempio di determinazione di a_g , F_o e T_c^* secondo DM 14-01-08

11.1 Scopo dell'esempio

Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare i valori di a_g , F_o e T_c^* secondo DM 14-01-08 calcolati dal programma.

11.2 File associati all'esempio

Non ci sono file associati all'esempio ma è sufficiente creare dei lavori nuovi come indicato nel seguito.

11.3 Edificio ordinario con normale affollamento

Si vogliono determinare i parametri spettrali (a_g , F_o , T_c^*) per i vari stati limite di una costruzione di tipo ordinario (tipo 2) ubicata a Padova (long.=11.853 ; latit.=45. 424).

Dalla tabella 2.4.I si ricava la vita nominale $V_N=50$ anni, mentre il coefficiente d'uso per un edificio di classe II è pari a $C_U=1.0$ (tabella 2.4.II).

Viene preliminarmente valutato il periodo di riferimento della costruzione:

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1.0 = 50 \text{ anni}$$

Si ricava poi, per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R il periodo di ritorno T_R del sisma.

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$$

Stati Limite		PVR	TR (anni)
SLE	SLO	81%	$30 \approx 0,6 * V_R$
	SLD	63%	$50 \approx V_R$
SLU	SLV	10%	$475 \approx 9,50 * V_R$
	SLC	5%	$975 \approx 19,50 * V_R$

La norma fornisce, per 10751 punti del reticolo di riferimento in cui è stata suddivisa l'Italia e per 9 valori del periodo di ritorno T_R i valori dei parametri a_g (espressa in g/10), F_o , T_c^* . I punti del reticolo sono definiti in termini di latitudine e longitudine. Nel seguito sono riportati i valori relativi a Padova.

			30 anni			50 anni			72 anni			101 anni			140 anni			201 anni			475 anni			975 anni			2475 anni		
ID	LON	LAT	ag	Fo	TC*	ag	Fo	TC*	ag	Fo	TC*	ag	Fo	TC*	ag	Fo	TC*	ag	Fo	TC*	ag	Fo	TC*	ag	Fo	TC*	ag	Fo	TC*
12742	11,853	45,424	0,31	2,53	0,21	0,38	2,56	0,25	0,43	2,54	0,28	0,5	2,52	0,29	0,56	2,54	0,31	0,63	2,65	0,31	0,89	2,6	0,33	1,15	2,55	0,35	1,54	2,62	0,35

E riportando quelli utilizzati anche dal programma:

Stati Limite		PVR	TR (anni)	ag/g	Fo	Tc*
SLE	SLO	81%	30	0,031	2,53	0,21
	SLD	63%	50	0,038	2,56	0,25

SLU	SLV	10%	475	0,089	2,6	0,33
	SLC	5%	975	0,115	2,55	0,35

Per ottenere gli stessi risultati è sufficiente creare un lavoro nuovo, aprire le preferenze di analisi del DM 2008 andando su *Database >> Preferenze >> Dettagli DM 14-01-08* e nella scheda generali impostare il tipo di costruzione 2, la vita nominale lasciare quella di default (50), la classe d'uso II; si ottiene quanto riportato sulla finestra seguente nella tabellina riepilogativa.

Stato limite	Pvr(%)	Tr(anni)	A_g/g	F_o	$T_c^*(sec)$
SLO	81	30	0.0311	2.53	0.21
SLD	63	50	0.0377	2.56	0.25
SLV	10	475	0.0887	2.6	0.33
SLC	5	975	0.115	2.55	0.35

11.4 Edificio di importanza strategica

Si consideri una struttura di importanza strategica (tipo 3 e classe d'uso IV).

In questo caso il periodo di riferimento risulta $V_R = C_U \cdot V_N = 2 \cdot 100 = 200$ anni. Analogamente a quanto fatto in precedenza si calcolano per ciascun Stato Limite il tempo di ritorno T_R .

Stati Limite		PVR	TR (anni)
SLE	SLO	81%	$120 \approx 0,6 \cdot V_R$
	SLD	63%	$201 \approx V_R$
SLU	SLV	10%	$1898 \approx 9,50 \cdot V_R$
	SLC	5%	$19,50 \cdot V_R (=3900) \leq 2475$

Per un qualunque periodo di ritorno diverso dai 9 previsti nella pericolosità sismica, i valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* ad esso corrispondenti potranno essere ricavati per interpolazione, a partire dai dati relativi a T_R previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \log^{-1}\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right) \quad [\text{CA. [2] Istruzioni per l'applicazione delle NTC}]$$

Dove:

p è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo T_R

T_{R1}, T_{R2} sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone di p_1, p_2 del generico parametro p

Si determina il valore di $p=a_g/g$.

Stati Limite		PVR	TR	TR1	p1	TR2	p2	p
SLE	SLO	81%	120	101	0,0495	140	0,056	0,0528313
	SLD	63%	201	-	-	-	-	0,063
SLU	SLV	10%	1898	975	0,115	2475	0,1535	0,1413754
	SLC	5%	2475	-	-	-	-	0,1535

Si determina il valore di $p=F_o$.

Stati Limite		PVR	TR	TR1	p1	TR2	p2	p
SLE	SLO	81%	120	101	2,52	140	2,54	2,5305383
	SLD	63%	201	-	-	-	-	2,65
SLU	SLV	10%	1898	975	2,55	2475	2,62	2,5998606
	SLC	5%	2475	-	-	-	-	2,62

Si determina il valore di $p=T_c^*$.

Stati Limite		PVR	TR	TR1	p1	TR2	p2	p
SLE	SLO	81%	120	101	0,29	140	0,31	0,3003917
	SLD	63%	201	-	-	-	-	0,31
SLU	SLV	10%	1898	975	0,35	2475	0,35	0,35
	SLC	5%	2475	-	-	-	-	0,35

Riassumendo:

Stati Limite		PVR	TR (anni)	a_g/g	F_o	T_c^*
SLE	SLO	81%	120	0,0528	2,5305	0,30
	SLD	63%	201	0,063	2,65	0,31
SLU	SLV	10%	1898	0,1413	2,5998	0,35
	SLC	5%	2475	0,1535	2,62	0,35

Per ottenere gli stessi risultati è sufficiente creare un lavoro nuovo, aprire le preferenze di analisi del DM 2008 andando su *Database >> Preferenze >> Dettagli DM 14-01-08* e nella scheda generali impostare il tipo di costruzione 3, la vita nominale lasciare quella di default (100), la classe d'uso IV; inoltre si clicchi sul tasto *Dettagli* e si imposti la latitudine e la longitudine secondo quanto indicato subito sotto:

si ottiene quanto riportato sulla finestra seguente nella tabellina riepilogativa.

Stato limite	Pv(%)	Tf(anni)	A_g/g	F_0	$T_c^*(sec)$
SLD	81	120	0.0529	2.531	0.301
SLD	63	201	0.063	2.65	0.31
SLV	10	1898	0.1414	2.6	0.35
SLC	5	2475	0.1535	2.62	0.35

11.5 Riepilogo dei risultati

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
a_g/g SLO Edificio ordinario	0,0311	0,031	0.000 %
a_g/g SLD Edificio ordinario	0,0377	0,038	0.000 %
a_g/g SLV Edificio ordinario	0,0887	0,089	0.000 %
a_g/g SLC Edificio ordinario	0,115	0,115	0.000 %

F ₀ SLO Edificio ordinario	2,53	2,53	0.000 %
F ₀ SLD Edificio ordinario	2,56	2,56	0.000 %
F ₀ SLV Edificio ordinario	2,6	2,6	0.000 %
F ₀ SLC Edificio ordinario	2,55	2,55	0.000 %
T _c [*] SLO Edificio ordinario	0,21	0,21	0.000 %
T _c [*] SLD Edificio ordinario	0,25	0,25	0.000 %
T _c [*] SLV Edificio ordinario	0,33	0,33	0.000 %
T _c [*] SLC Edificio ordinario	0,35	0,35	0.000 %
a _g /g SLO Edificio di importanza	0,0529	0,0528313	0.1 %
a _g /g SLD Edificio di importanza	0,063	0,063	0.000 %
a _g /g SLV Edificio di importanza	0,1414	0,1413754	0.017 %
a _g /g SLC Edificio di importanza	0,1535	0,1535	0.000 %
F ₀ SLO Edificio di importanza	2,531	2,5305383	0.018 %
F ₀ SLD Edificio di importanza	2,65	2,65	0.000 %
F ₀ SLV Edificio di importanza	2,6	2,5998606	0.005 %
F ₀ SLC Edificio di importanza	2,62	2,62	0.000 %
T _c [*] SLO Edificio di importanza	0,301	0,3003917	0.2%
T _c [*] SLD Edificio di importanza	0,31	0,31	0.000 %
T _c [*] SLV Edificio di importanza	0,35	0,35	0.000 %
T _c [*] SLC Edificio di importanza	0,35	0,35	0.000 %

12. Esempio di calcolo di taglio alla base con applicazione dello spettro

12.1 Scopo dell'esempio

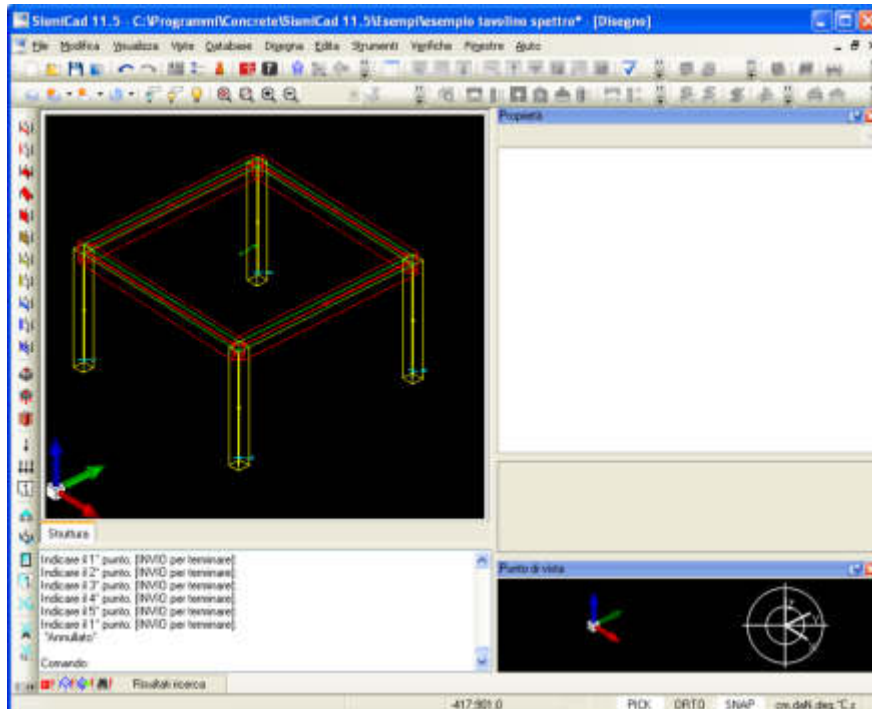
Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare determinare l'azione sismica individuata dal programma.

12.2 File associati all'esempio

La directory della commessa di SismiCad 11.7 relativa a questa struttura è *Esempio applicazione spettro* presente nella cartella "*Documenti\Concrete\SismiCad 11.7\Esemp\ Casi prova valutazione affidabilita*" del profilo utente.

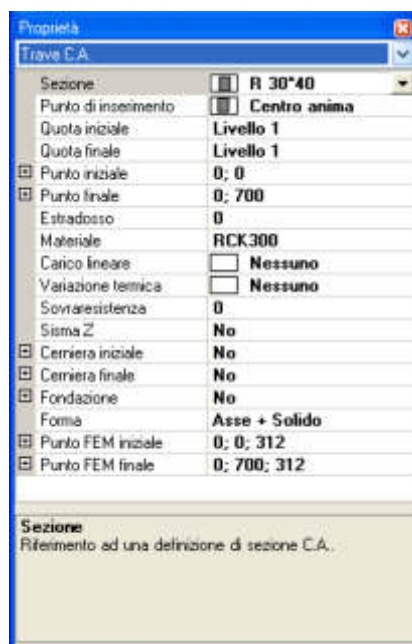
12.3 Descrizione della struttura

La struttura è a pianta quadrata (500 x 500) ed è costituita da quattro pilastri e quattro travi, come riportato nell'immagine sotto.



12.3.1. Dimensioni degli elementi strutturali

Proprietà delle travi

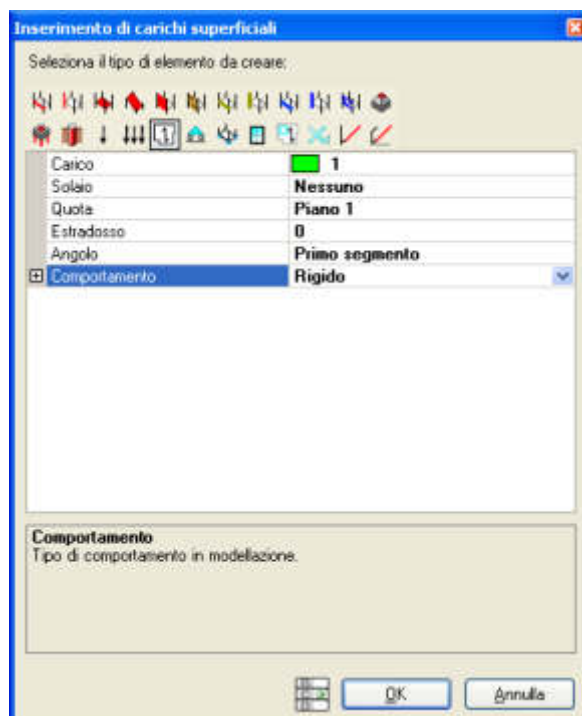


Lunghezza travi $l_1 = 500$ cm
 $l_2 = 500$ cm

Proprietà dei pilastri
 Sezione dei pilastri: 30 x 30 cm
 Altezza pilastri $h = 308$ cm

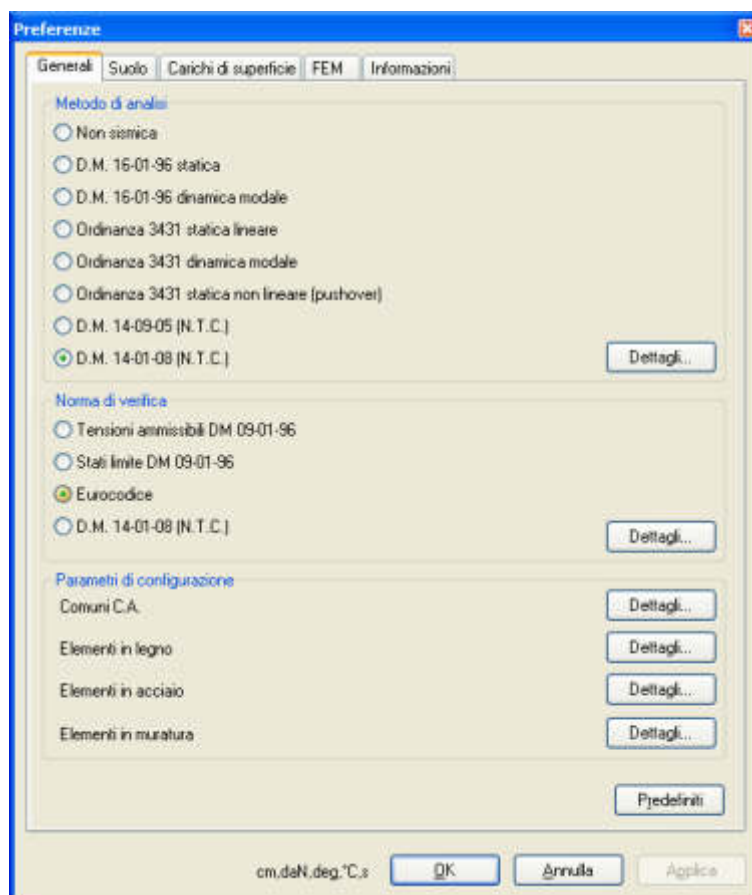
12.3.2. Analisi dei carichi

Il carico superficiale a piano primo è a comportamento **Rigido**

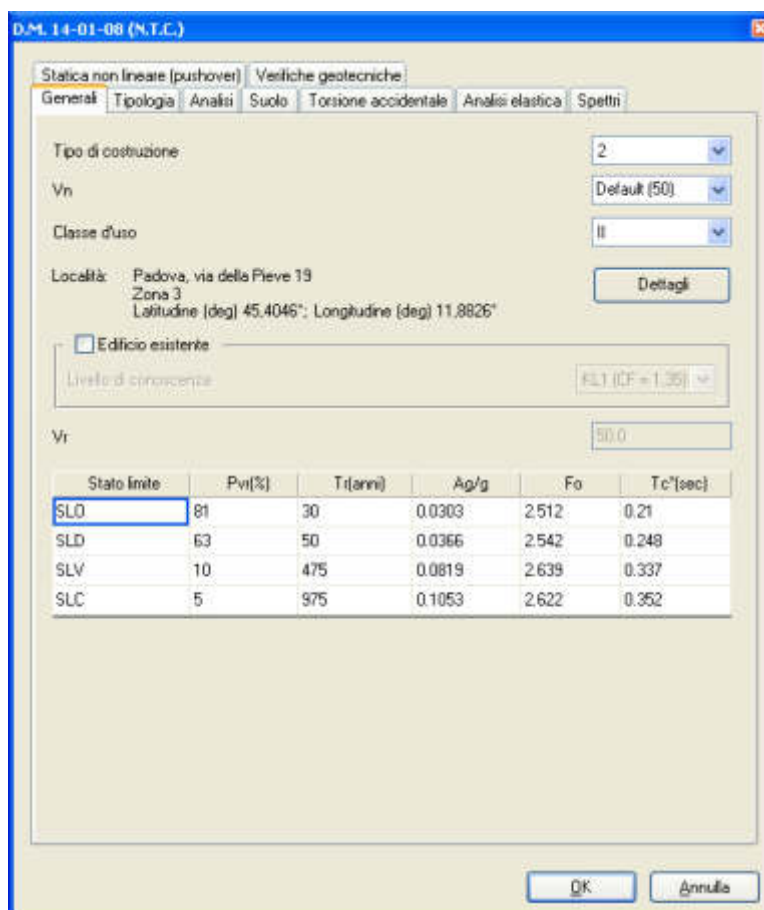


E il valore del carico superficiale è pari a 1000 daN/mq.

Le impostazioni relative all'analisi sismica sono le seguenti:
 in **Database>>Preferenze** settiamo Norma di analisi DM 14-01-08 nei Dettagli della norma di analisi



Si ha:



Alla voce **Tipologia** si è scelta la regolarità in pianta ed in elevazione

D.M. 14-01-08 (N.T.C.)

Statica non lineare (pushover) Verifiche geotecniche

Generali Tipologia Analisi Suolo Torsione accidentale Analisi elastica Spettri

Classe di duttilità CD "B"

Regolarità in pianta ☒

Regolarità in elevazione ☒

☒ Edificio C.A.

Tipologia Strutture a telaio $q_0=3.0 \cdot \alpha_U / \alpha_{A1}$

α_U / α_{A1} Strutture a telaio di un piano $\alpha_U / \alpha_{A1}=1.1$

Kw 0.500

☐ Edificio acciaio

Tipologia a) Strutture intelaiate $q_0=4.0$

α_U / α_{A1}

☐ Edificio muratura

Tipologia Costruzioni in muratura ordinarie $q_0=2.0 \cdot \alpha_U / \alpha_{A1}$

α_U / α_{A1} Costruzioni in muratura ordinarie ad un piano $\alpha_U / \alpha_{A1}=1.4$

Regolarità in elevazione.

OK Annulla

D.M. 14-01-08 (N.T.C.)

Statica non lineare (pushover) Verifiche geotecniche

Generali Tipologia Analisi Suolo Torsione accidentale Analisi elastica Spettri

Tipo di analisi Lineare dinamica

Rotazione del sisma deg 0

Quota dello "0" sismico cm 0

Smorzamento viscoso (%) 5

Limite spostamenti interpiano Default (0.005)

Moltiplicatore sisma X per combinazioni di default Default (1.000)

Moltiplicatore sisma Y per combinazioni di default Default (1.000)

Fattore di struttura per sisma X Default (3.30)

Fattore di struttura per sisma Y Default (3.30)

Fattore di struttura per sisma Z Default (1.50)

Regolarità in elevazione.

OK Annulla

D.M. 14-01-08 (N.T.C.)

Statica non lineare (pushover) Verifiche geotecniche

Generali Tipologia Analisi Suolo Torsione accidentale Analisi elastica Spettri

Categoria del suolo A

SLD

Ss orizzontale SLD Default (1.00)

Tb orizzontale SLD Default (0.070)

Tc orizzontale SLD Default (0.210)

Td orizzontale SLD Default (1.721)

SLV

Ss orizzontale SLV Default (1.00)

Tb orizzontale SLV Default (0.112)

Tc orizzontale SLV Default (0.337)

Td orizzontale SLV Default (1.928)

SLC

Ss orizzontale SLC Default (1.00)

Tb orizzontale SLC Default (0.117)

Tc orizzontale SLC Default (0.252)

Td orizzontale SLC Default (2.621)

Verifiche

Ss verticale Default (1.00)

Tb verticale Default (0.050)

Tc verticale Default (0.150)

Td verticale Default (3.000)

Categoria topografica T1

St Default (1.00)

Regolarità in elevazione.

OK Annulla

D.M. 14-01-08 (N.T.C.)

Statica non lineare (pushover) Verifiche geotecniche

Generali Tipologia Analisi Suolo Torsione accidentale Analisi elastica Spettri

Torsione accidentale per piani flessibili

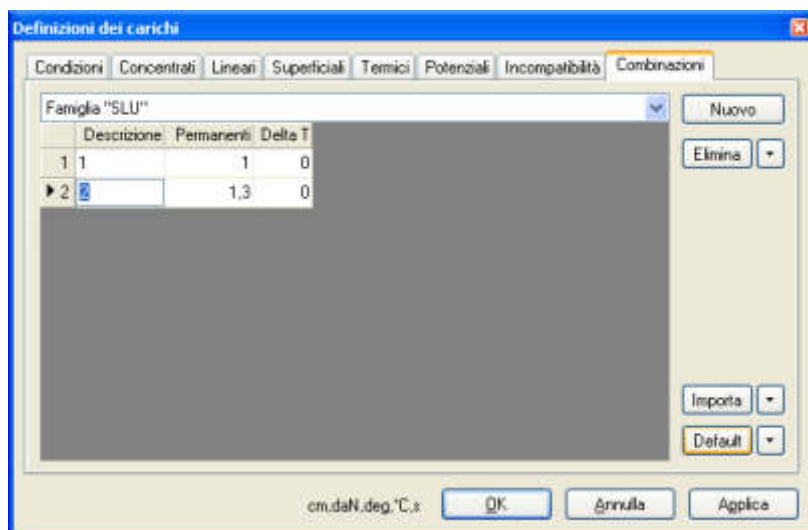
Livello	Eccentricità X (per sisma Y)	Eccentricità Y (per sisma X)
Fondazione	Default (Non disponibile)	Default (Non disponibile)
Piano 1	Default (25)	Default (25)

Torsione accidentale semplificata

Baricentro geometrico X cm Default (250.0) Y cm Default (250.0)

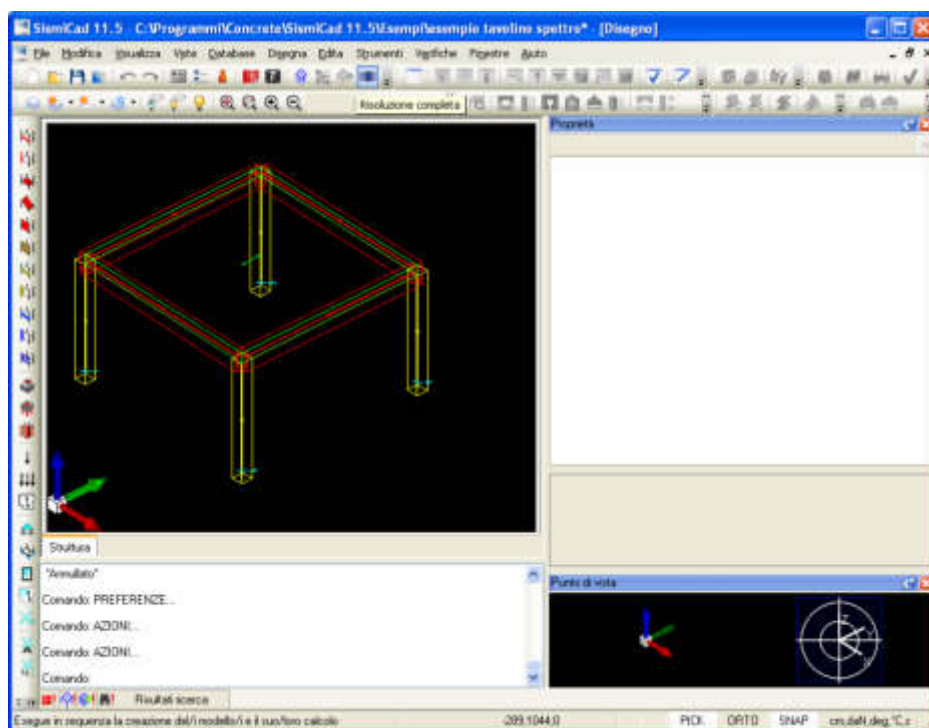
OK Annulla

E le combinazioni sono quelle di default

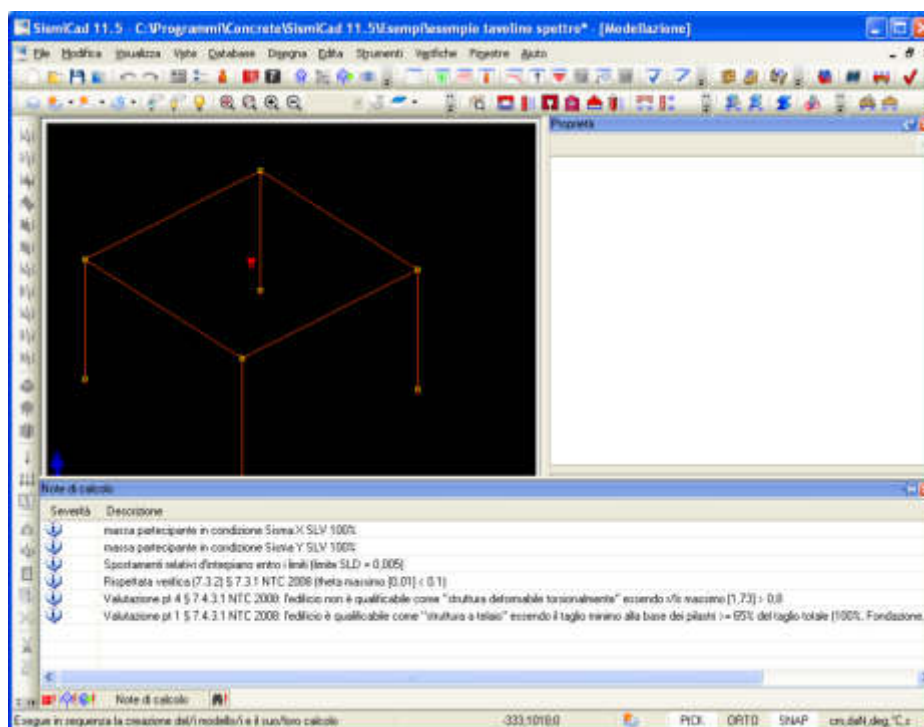


12.4 Valutazione delle azioni sismiche

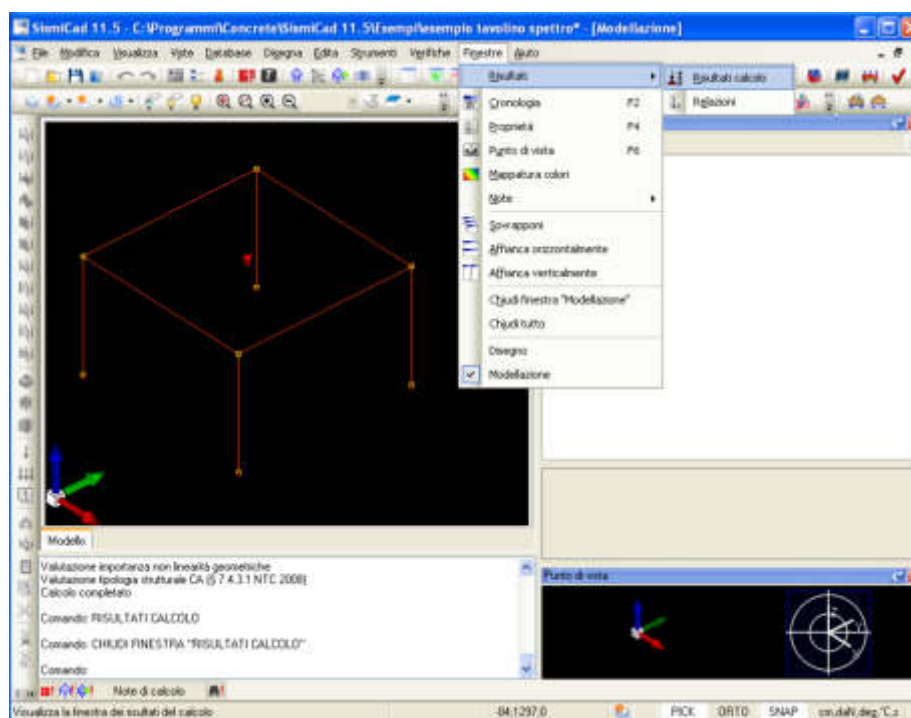
Procedendo con la risoluzione completa



Si ottiene l'immagine seguente:



Attraverso *Finestre>>Risultati>>Risultati di calcolo* otteniamo



Alla voce equilibrio delle forze il valore della azione sismica applicata al primo piano:

Bilancio in condizione di carico: Sisma X SLD

Contributo	Ex	Ey	Ez	Mx	My	Mz
Applicate	3016	0	0	0	868500	-753900
Reazioni	-3016	0	0	0	-868500	753900
PDelta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma X SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Applicate	2779	0	0	0	800200	-694600
Reazioni	-2779	0	0	0	-800200	694600
PDelta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Essa vale 3016 daN per il sisma SLD e 2779 daN per il sisma SLV.

Alla voce risposta modale leggiamo il periodo proprio di vibrazione che vale 0.216 s.

Modo	Periodo	Massa X	Massa Y	Massa Z	Massa rot X	Massa rot Y	Massa rot Z
1	0.215937	1	0	0	0	1	0.25003
2	0.215937	0	1	0	1	0	0.24997
3	0.215574	0	0	0	0	0	0.5

Il peso dell'edificio totale lo leggiamo nel bilancio dei permanenti e vale 33770 daN.

Bilancio in condizione di carico: Pesi strutturali

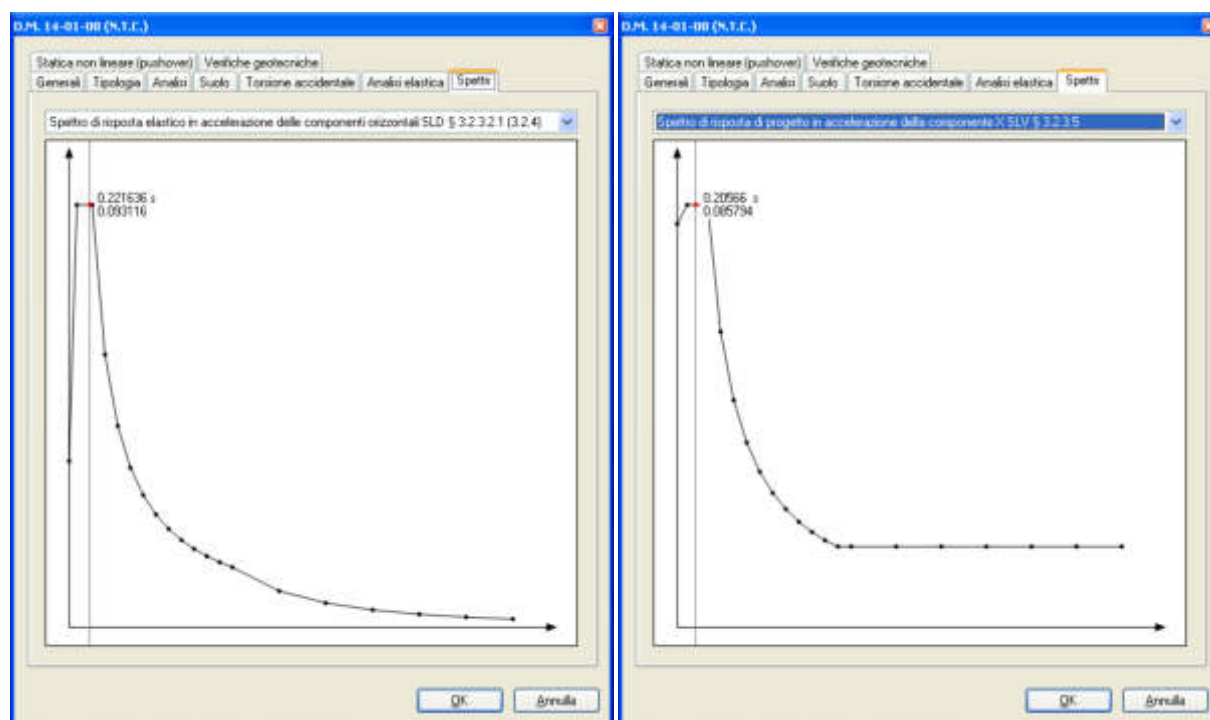
Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Applicate	0	0	-33770	-8443000	8443000	0
Reazioni	0	0	33770	8443000	-8443000	0
PDelta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Tale peso deriva da:

Pilastrì: $4 \times .3 \times .3 \times 3.08 \times 2500 = 2772 \text{ daN}$
 Travi: $4 \times .3 \times .4 \times 5 \times 2500 = 6000 \text{ daN}$
 Carico di superficie $5 \times 5 \times 1000 = 25000 \text{ daN}$
 Peso totale 33772 daN

Non tutto il peso è massa sismica poiché il peso dei pilastri è per metà trasmesso direttamente in fondazione. Il peso della massa sismica è di $33770 - 1.54 \times 4 \times .3 \times .3 \times 2500 = 32384 \text{ daN}$

Rientrando nei Dettagli della norma di analisi DM 14-01-08 alla voce spettri si nota che il periodo proprio di vibrazione è contenuto nel tratto orizzontale dello spettro nel quale il valore della accelerazione SLD vale 0.093116 g mentre la accelerazione di progetto SLV vale 0.085794 g



Moltiplicando il peso sismico per la accelerazione trovata si ottiene:

per SLD $32384 \times 0.093116 = 3015.4 \text{ daN}$;

per SLV $32384 \times 0.085794 = 2778.3 \text{ daN}$.

12.5 Riepilogo dei risultati

	<i>SismiCad</i>	Analitico	Scarto
Peso strutturale	33770 daN	33772 daN	0.005 %
Sisma X SLD	3016 daN	3015.4 daN	0.020 %
Sisma X SLV	2779 daN	2778.3 daN	0.025 %

13. Bibliografia

Prontuario Le Monnier

Giovanni Falchi Delitala, Calcolo delle sezioni in cemento armato, Ed Hoepli

L.Petrini, R.Pinho, G.M.Calvi, Criteri di progettazione antisismica degli edifici, Iuss Press

Odone Belluzzi, Scienza delle costruzioni vol.3, Zanichelli