

**PROGETTO PER L'AMMODERNAMENTO E MIGLIORE  
SISTEMAZIONE DELL'IMMOBILE ADIBITO A MANGIMIFICIO,  
SITO IN COMUNE DI BAGNARA DI ROMAGNA VIA  
TRUPATELLO 7/a**

Proprietà  
**EUROVO s.r.l.**

Cantiere  
**Via Trupatello 7/a Bagnara di Romagna**

**S.r.2  
(intervento 5)**

**RELAZIONE TECNICA**  
**SILOS SCARTI PULITORI**

*DOCUMENTAZIONE ATTINENTE ALLA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO NECESSARIA PER IL  
RILASCIO DEL PERMESSO DI COSTRUIRE*

Elaborato: **S.r.2 RELAZIONE TECNICA DOCUMENTAZIONE ATTINENTE ALLA RIDUZIONE DEL  
RISCHIO SISMICO NECESSARIA PER IL RILASCIO DEL PERMESSO DI COSTRUIRE**

REVISIONI		Data	Descrizione	Redatto
	D			
	C			
	B			
	A	28/07/2021	Prima emissione	ING. CARLO GUIDUCCI

PROGETTISTA STRUTTURALE  
**ING. GUIDUCCI CARLO**  
Via Dismano n. 4583 Cesena 47522 (FC)  
pec: [carlo.guiducci@ingpec.eu](mailto:carlo.guiducci@ingpec.eu) cell. +39.348.2689040

# SOMMARIO

INDIVIDUAZIONE DEL SITO .....

1.2 INDAGINE GEOLOGICA .....

1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....

2

2

2

**1****INDIVIDUAZIONE DEL SITO**

**LA PRESENTE RELAZIONE È RIFERITA AL PUNTO 5.**

**1.2 INDAGINE GEOLOGICA**

Il sito in esame è situato in pianura a quota di circa 18 m slm, distante dalla costa 37 km circa. L'indagine sismica e geologica dovrà essere redatta ma ci si attende un terreno di categoria C.

**1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Le norme di seguito riportate vengono assunte quale riferimento cogente nello sviluppo della progettazione strutturale.

<b>Legge n° 1086/71</b>	Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato e precompresso ed a struttura metallica.
<b>Legge n° 64/74</b>	Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
<b>DPR n°380/2001</b>	Testo unico sull'edilizia
<b>D.M. 17 gennaio 2018</b>	Nuove Norme tecniche per le costruzioni
<b>Circolare 20/01/2019 n° 7</b>	Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.

**I CONTENUTI DEL CALCOLO SONO ALLEGATI DI SEGUITO**



**AMMODERNAMENTO IMPIANTO PER LA  
PRODUZIONE DI MANGIMI IN OTTICA 4.0  
BAGNARA DI ROMAGNA  
SILOS SCARTI E STRUTTURA**

ing. Antonio Taddei

## **INDICE**

Relazione tecnica illustrativa	page	3
Relazione sui materiali	page	5
Relazione di calcolo	page	6
Silos	page	7
Sottostruttura in acciaio	page	34
Spostamenti orizzontali	page	48
Carichi sulle fondazioni	page	50
Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera	page	52

## **Relazione tecnica illustrativa**

La relazione è relativa al calcolo di una struttura in acciaio per l'ammodernamento di un impianto di produzione mangimi della EUROVO da realizzarsi in località Bagnara di Romagna (Ravenna).

Sulla sommità della struttura poggiano 2 sili a sezione circolare di diametro 2600 e di altezza di 9,5 m comprensivi di gonna e tramoggia, realizzati in lamiera di spessore 30/10.

Il calcolo è stato eseguito supponendo un movimento unico della coppia di sili durante l'evento sismico. Ciò verrà garantito dalle coperture-coperchi dei sili, collegati l'uno con l'altro. Il vincolo renderà comuni gli spostamenti orizzontali mentre dovrà lasciare liberi gli spostamenti verticali vista la richiesta di realizzare "celle di carico".

Lo schema statico della struttura è, in una direzione, un classico "pendolare", mentre nell'altra è un telaio a nodi rigidi per permettere il passaggio degli automezzi, con sovrastante uno schema reticolare.

Alla base delle colonne sarà necessario realizzare un ostacolo per impedire che eventuali macchinari o automezzi in movimento possano impattare accidentalmente contro le colonne stesse.

La struttura si ancora, a mezzo di piastre e tirafondi, ad una appropriata fondazione in c.a., per la quale si rimanda ad apposita relazione. Nella presente saranno ovviamente riportati tutti i carichi trasmessi dalla struttura in acciaio alla sottostante fondazione.

Le normative utilizzate sono:

NTC 2018

Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2018

Eurocodice 1 UNI ENV 1991-4

Eurocodice 8 UNI ENV 1998-4

CECM European Recommendations for Steel Construction: Buckling of Shell

Il codice di calcolo utilizzato per la sottostruttura è il classico SAP 2000.

Per quanto attiene l'azione sismica si è utilizzato il fattore di comportamento  $q=1$  per i sili (obbligatorio secondo gli Eurocodici) mentre per la sottostruttura un fattore  $q=1,33$  in direzione X e  $q=1,5$  in direzione Y (ambedue comportamenti non dissipativi, punto 7.3.1 NTC 2018).

CLASSE DI ESECUZIONE EXC2.

## **Relazione sui materiali**

L'acciaio utilizzato per i sili è

S235 JR UNI EN 10025-2

Per la struttura

S235 JR, S275 JR UNI EN 10025-2

I bulloni sono ad alta resistenza classe 8.8 rispondenti alla norma UNI EN ISO 4016

Le saldature devono rispettare i procedimenti codificati nella norma

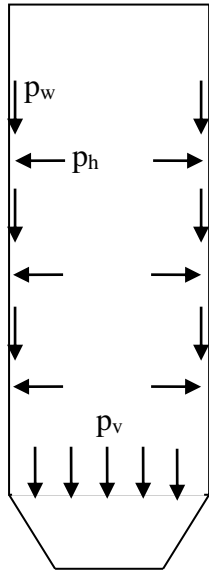
UNI EN ISO 4063

Eventuali saldature in opera dovranno essere controllate secondo metodi e procedure definite dal Collaudatore e dal Direttore dei lavori come indicato nel punto 11.3.4.5 delle NTC 2018.



## **RELAZIONE DI CALCOLO**

## Verifica pareti del mantello cilindrico diam. 2600 mm secondo UNI EN 1991-4



peso specifico materiale insilato  $\gamma = 0,6 \text{ t/m}^3$

coefficiente di attrito tra materiale insilato e pareti

$$\mu = 0,30$$

rapporto  $K$  tra pressione orizzontale e verticale

$$K = p_h / p_v$$

$$K_{\text{riempimento}} = 0,5$$

$$K_{\text{svuotamento}} = 1$$

### **Carichi a profondità infinita**

$$\text{Area} / \text{Perimetro} = A / U = \pi r^2 / 2 \pi r = r / 2 = 0,65 \text{ m}$$

- in fase di riempimento

$$\max \quad p_v = \gamma A / 0,9 K_r 0,9 \mu U = 3,21 \text{ t/m}^2$$

$$\max \quad p_h = \gamma A / 0,9 \mu U = 1,44 \text{ t/m}^2$$

$$\max \quad p_w = \gamma A / U = 0,39 \text{ t/m}^2$$

- in fase di svuotamento ( $C_o = 1,4$ ,  $C_w = 1,1$ )

$$\max \quad p_v = C_o \gamma A / 0,9 K_s 0,9 \mu U = 2,25 \text{ t/m}^2$$

$$\max \quad p_h = C_o \gamma A / 0,9 \mu U = 2,02 \text{ t/m}^2$$

$$\max \quad p_w = C_w \gamma A / U = 0,43 \text{ t/m}^2$$

## Carichi a profondità finita

- in fase di riempimento

$$z_0 \text{ per } p_v = A / 0,9 K_r 0,9 \mu U = 5,35 \text{ m}$$

$$z_0 \text{ per } p_h = A / 1,15 K_r 0,9 \mu U = 4,19 \text{ m}$$

$$z_0 \text{ per } p_w = A / 1,15 K_r 1,15 \mu U = 3,28 \text{ m}$$

z (m)	z/z <sub>0</sub>			c <sub>z</sub> = 1 - e <sup>(-z/z<sub>0</sub>)</sup>			spess. lamiera
	p <sub>v</sub>	p <sub>h</sub>	p <sub>w</sub>	p <sub>v</sub>	p <sub>h</sub>	p <sub>w</sub>	
8	1,50	1,91	2,44	0,78	0,85	0,91	30/10

z (m)	p <sub>v</sub> (t/m <sup>2</sup> )	p <sub>h</sub> (t/m <sup>2</sup> )	p <sub>w</sub> (t/m <sup>2</sup> )
8	2,50	1,22	0,35

- in fase di svuotamento

$$z_0 \text{ per } p_v = A / 0,9 K_s 0,9 \mu U = 2,51 \text{ m}$$

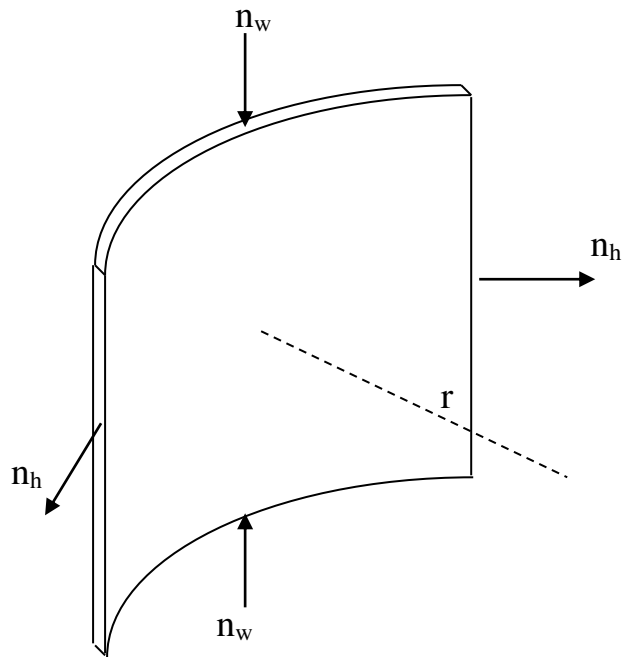
$$z_0 \text{ per } p_h = A / 1,15 K_s 0,9 \mu U = 2,09 \text{ m}$$

$$z_0 \text{ per } p_w = A / 1,15 K_s 1,15 \mu U = 1,64 \text{ m}$$

z (m)	z/z <sub>0</sub>			c <sub>z</sub> = 1 - e <sup>(-z/z<sub>0</sub>)</sup>			spess. lamiera
	p <sub>v</sub>	p <sub>h</sub>	p <sub>w</sub>	p <sub>v</sub>	p <sub>h</sub>	p <sub>w</sub>	
8	3,19	3,83	4,88	0,96	0,98	0,99	30/10

z (m)	p <sub>v</sub> (t/m <sup>2</sup> )	p <sub>h</sub> (t/m <sup>2</sup> )	p <sub>w</sub> (t/m <sup>2</sup> )
8	2,16	1,98	0,43

## Calcolo tensioni (SLU)



$$n_h = 1,5 (p_h r)$$

$\gamma_Q$

$$n_w = 1,5 (\gamma z - p_v) r / 2 + 1,3 (P_C / 2 \pi r + P_M / 2 \pi r)$$

$\gamma_Q$

$\gamma_{G1}$

con  $P_C$  = peso del coperchio

$P_M$  = peso del mantello

$$P_C = 0,400 \pi r^2 = 2,12 \text{ t}$$

$$P_C / 2 \pi r = 0,26 \text{ t/m}$$

z (m)	$P_M / 2 \pi r$ (t/m)
8	0,19

- tensioni in fase di riempimento

z (m)	n <sub>h</sub> (t/m)	n <sub>w</sub> (t/m)
8	2,38	2,83

$$\sigma_{ideale} = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_w^2 - \sigma_h \sigma_w} \quad (kg/cm^2)$$

spessore lamiera	$\sigma_h$	$\sigma_w$	$\sigma_{ideale}$
30/10	23,8/0,3 = 79	-28,3/0,3 = -94	150

- tensioni in fase di svuotamento

z (m)	n <sub>h</sub> (t/m)	n <sub>w</sub> (t/m)
8	4,08	3,16

$$\sigma_{ideale} = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_w^2 - \sigma_h \sigma_w} \quad (kg/cm^2)$$

spessore lamiera	$\sigma_h$	$\sigma_w$	$\sigma_{ideale}$
30/10	40,8/0,3=136	-31,6/0,3= -105	209



### Carico a scacchiera

- in fase di riempimento

$$p_p = 0,2 \beta p_{hf}$$

$$\beta = 1 + 4e_i / d_c = 1 + 4 (0,50 / 2,6) = 1,77$$

$$p_p = 0,35 p_h$$

$$p_{h=8} = 1,22 \text{ t/m}^2 \quad ==> \quad p_p = 0,43 \text{ t/m}^2$$

spessore lamiera	$\sigma_h$	$\sigma_w$	$\sigma_{ideale}$
30/10	$79 + 1,5 \times 4,3 \times 1,3 / 0,3 = 107$	-94	174

- in fase di svuotamento

$$p_p = 0,2 \beta p_{he}$$

$$\beta = 1 + 4e/d_c = 1 + 4 (0,75 / 2,6) = 2,15$$

$$p_p = 0,43 p_h$$

$$p_{h=8} = 1,98 \text{ t/m}^2 \quad ==> \quad p_p = 0,85 \text{ t/m}^2$$

spessore lamiera	$\sigma_h$	$\sigma_w$	$\sigma_{ideale}$
30/10	$136 + 1,5 \times 8,5 \times 1,3 / 0,3 = 191$	-105	260

## Vento

classe di rugosità C categoria III

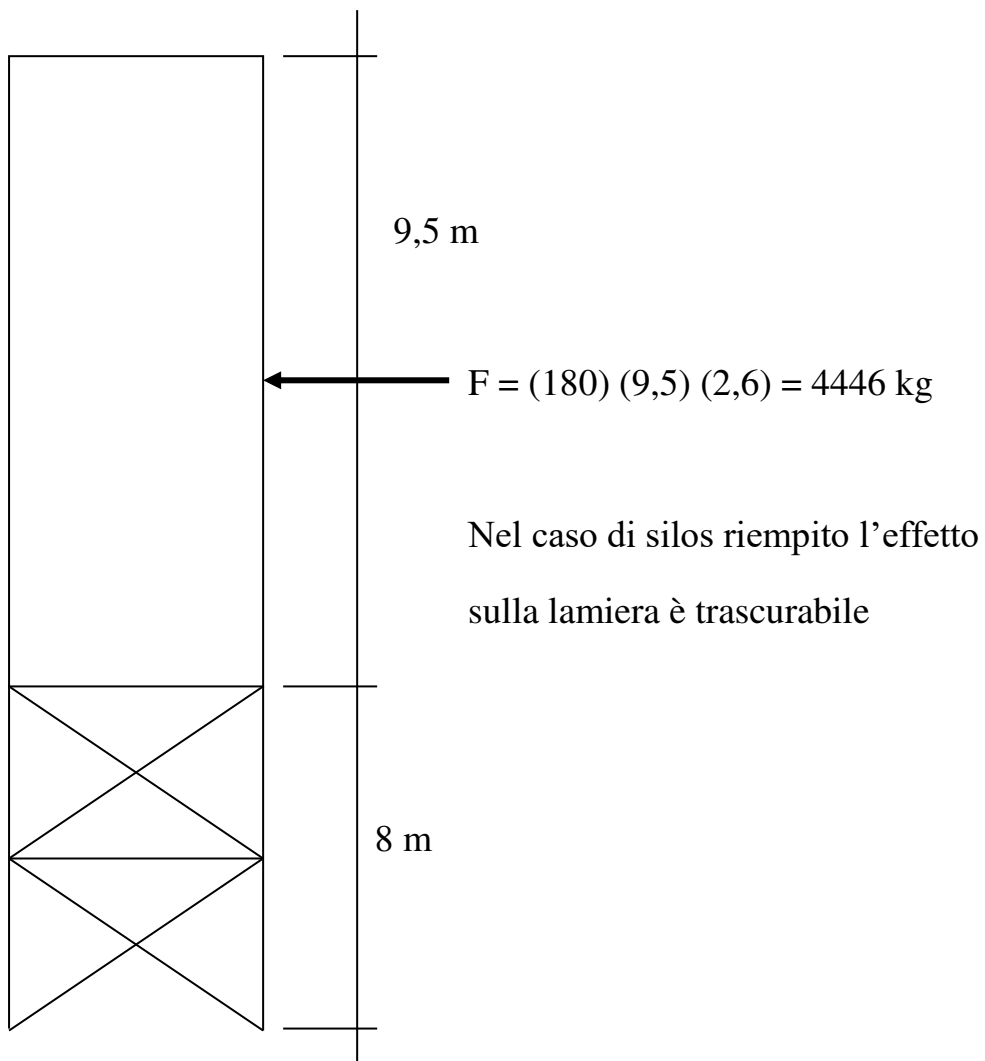
$$v_{b0} = 25 \text{ m/s} \quad q_b = 1,25 (25)^2 / 2 = 391 \text{ N/m}^2 = 40 \text{ kg/m}^2$$

$$k_r = 0,20 \quad z_0 = 0,10 \text{ m} \quad z_{\min} = 5 \text{ m}$$

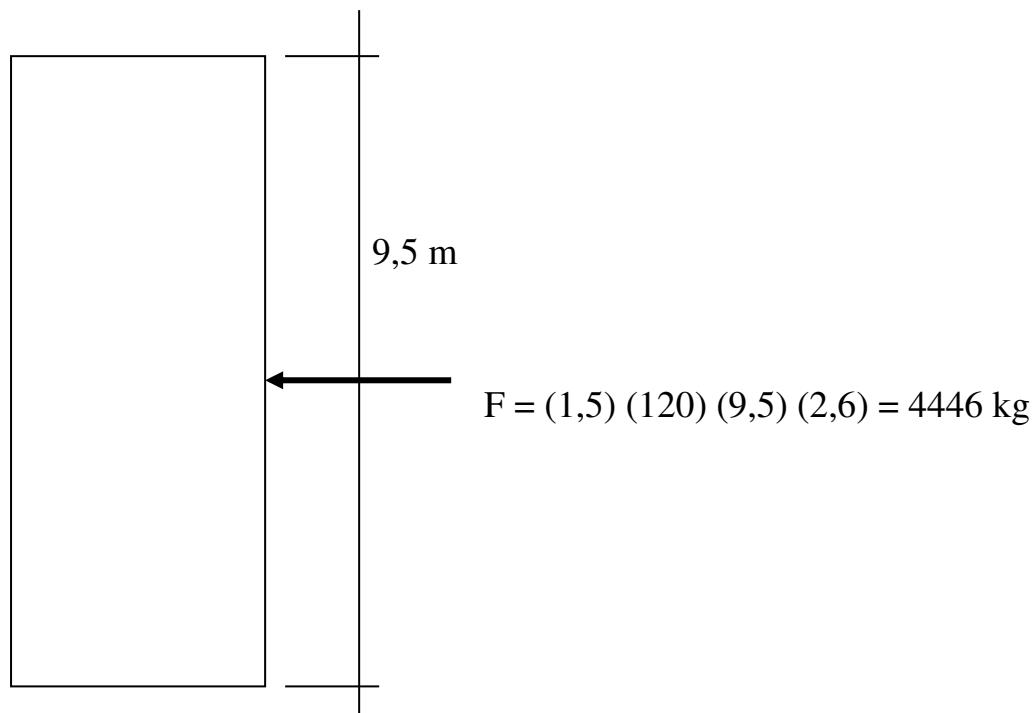
$$c_e = (0,20)^2 \ln(17,5/0,10) [7 + \ln(17,5/0,10)] = 2,51 \quad c_p = 1,2$$

$$p = (40) (2,51) (1,2) = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$p_{SLU} = (120) (1,5) = 180 \text{ kg/m}^2$$



## Effetto sulla lamiera con silos vuoto



$$M = (4,46) (4,75) = 22 \text{ tm}$$

$$W = 2 (\pi/64) (2,6^4 - 2,594^4) / 2,6 = 0,0159 \text{ m}^3$$

$$\sigma = 22 / 0,0159 = 1384 \text{ t/m}^2 = 138 \text{ kg/cm}^2$$

## Effetto locale

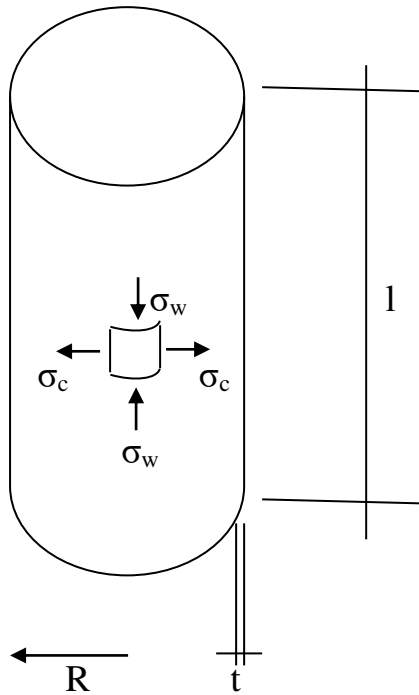
$$p_{\text{SLU}} = (1,5) (40) (2,51) (2,5) = 377 \text{ kg/cm}^2$$

↑  
 $c_p$

$$n_h = (377) (1,3) = 490 \text{ kg/m}$$

$$\sigma_h = 490 / (100 \times 0,3) = 16 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica ad instabilità secondo CECM European Recommendations for Steel**  
**Construction: Buckling of Shell**



spessore 30/10

$$l/R = 8/1,3 = 6,2 < 0,95(R/t)^{1/2} = 0,95(1,3/0,003)^{1/2} = 20$$

$$\sigma_D = 155 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tensione di progetto)}$$

$$\sigma_{CR} = 0,605 E t/R = (0,605) (2100000) (0,3/130) = 2932 \text{ kg/cm}^2$$

(tensione critica elastica ideale)

$$\sigma_R = 2400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tensione di snervamento)}$$

### Compressione assiale e pressione interna

$$R/t = 130/0,3 = 433 > 212$$

$$\alpha_0 = 0,7 / (0,1 + 0,01(130/0,3))^{1/2} = 0,33$$

$$\rho = (191/1,5) (130)^{1/2} / (2100000(0,3)^{1/2}) = 0,0013$$

$$\alpha = 0,33 + (1 - 0,33) (0,0013/(0,0013 + 0,007)) = 0,435$$

$$\alpha \sigma_{CR} = (0,435) (2932) = 1275 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_R/2$$

$$\sigma_K = \sigma_R [1 - 0,4123 (\sigma_R / (\alpha \sigma_{CR}))^{0,6}] = 954 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_D = 155 \text{ kg/cm}^2 < 954 \text{ kg/cm}^2$$

## Compressione assiale e depressione interna

$$\sigma_D = (138 + 16) + 20 = 174 \text{ kg/cm}^2$$

↑                      ↙  
vento                      peso mantello e coperchio

$$\sigma_{CR} = 2932 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_R = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\alpha_0 = 0,7 / (0,1 + 0,01(260/0,3))^{1/2} = 0,24$$

$$\rho = 0$$

$$\alpha = 0,24$$

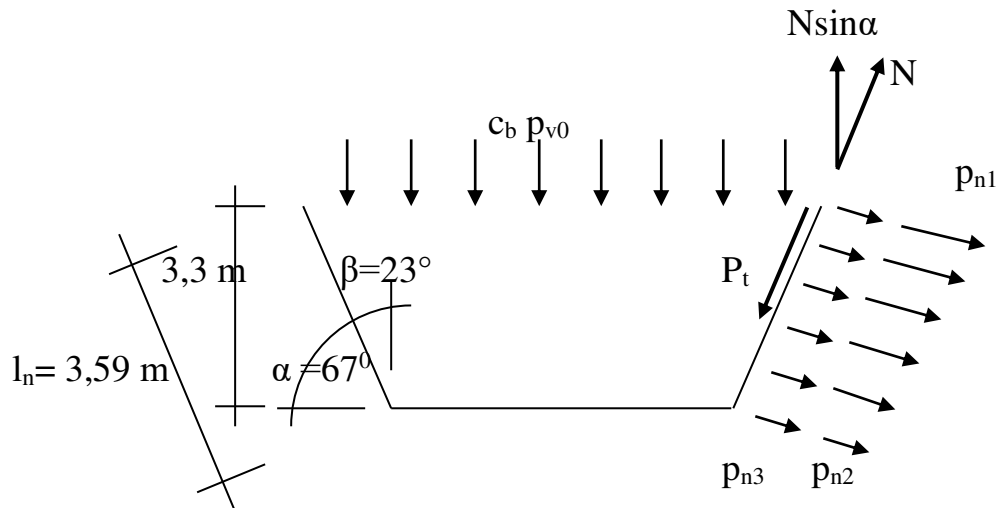
$$\alpha \sigma_{CR} = (0,24) (2932) = 704 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_R/2$$

$$\sigma_K = 3 \alpha \sigma_{CR} / 4 = 3 (704/4) = 352 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_D = 174 \text{ kg/cm}^2 < 352 \text{ kg/cm}^2$$

## Tramoggia

### In fase di riempimento



$$p_{v0} = (\gamma A / (K \mu U)) c_z = (2,50) (1,5) = 3,75 \text{ t/m}^2 \quad c_b = 1,2$$

$$p_{n1} = p_{v0} (c_b \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = 3,83 \text{ t/m}^2$$

$$p_{n2} = c_b p_{v0} \cos^2 \alpha = 0,68 \text{ t/m}^2$$

$$p_{n3} = 3 A \gamma K \sin^2 \alpha \frac{1,5}{(U \mu^{0,5})} = 1,35 \text{ t/m}^2$$

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) x / l_n$$

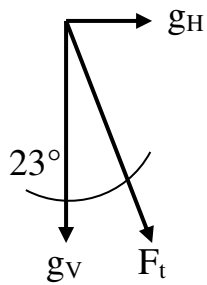
5,18 t/m<sup>2</sup>  
2,03 t/m<sup>2</sup>

$$n_n = (5,18) (1,3) / \cos 23 = 7,32 \text{ t/m}$$

$$\sigma_n = 73/0,3 = 243 \text{ kg/cm}^2$$



$$p_{t \max} = p_{n \max} \cdot \mu = 1,55 \text{ t/m}^2$$



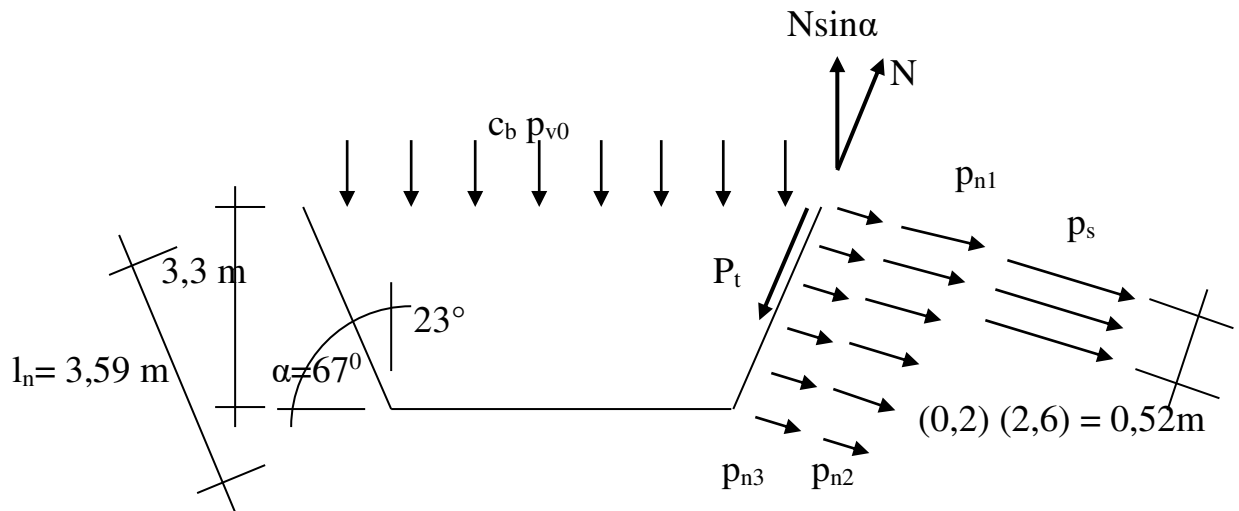
$$g_V = 2,50 \times 1,5 \times 1,2 \pi 1,3^2 / (2 \pi 1,3) + \pi 3,3 (1,3^2 + 0,15^2 + 1,3 \times 0,15) 0,6 \times 1,5 / (3 \times 2 \pi 1,3) + 1,5 \times 0,26 \text{ (coperchio)} + 1,3 \times 0,19 \text{ (mantello)} + 1,3 \times 0,08 \text{ (tramoggia)} + 1,55 \times 3,59 \times \cos 23 \text{ (componente } p_t \text{ sovrastimata)} = 10,45 \text{ t/m}$$

$$F_t = 10,45 / \cos 23 = 11,35 \text{ t/m}$$

$$\sigma_w = 114 / 0,3 = 380 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ideale} = (243^2 + 380^2 - 243 \times 380)^{0,5} = 333 \text{ kg/cm}^2$$

In fase di svuotamento



$$p_{v0} = (\gamma A / (K \mu U)) c_z = (2,16)(1,5) = 3,24 \text{ t/m}^2 \quad c_b = 1,2$$

$$p_{n1} = p_{v0} (c_b \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = 3,30 \text{ t/m}^2$$

$$p_{n2} = c_b p_{v0} \cos^2 \alpha = 0,58 \text{ t/m}^2$$

$$p_{n3} = 3 \text{ A } \gamma \text{ K } \sin^2 \alpha \text{ 1,5/(U } \mu^{0,5}) = 2,69 \text{ t/m}^2$$

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \cdot x / l_n \begin{cases} 5,99 \text{ t/m}^2 \\ 3,27 \text{ t/m}^2 \end{cases}$$

pressione di contraccolpo

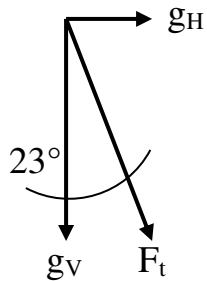
$$p_s = 2 \, p_{h0} = 2 \, (1,22) \, (1,5) = 3,66 \, \text{t/m}^2$$

$$n_n = (5,99+3,66) 1,3/\cos (23) = 13,63 \text{ t/m}$$

$$\sigma_n = 136/0,3 = 453 \text{ kg/cm}^2$$

$$p_{t \max} = p_{n \max} \cdot \mu = 1,80 \text{ t/m}^2$$

$$p_{t \text{ contraccolpo}} = p_{n \text{ contraccolpo}} \cdot \mu = 1,10 \text{ t/m}^2$$



$$g_V = 2,16 \times 1,5 \times 1,2 \pi 1,3^2 / (2 \pi 1,3) + \pi 3,3 (1,3^2 + 0,15^2 + 1,3 \times 0,15) 0,6 \times 1,5 / (3 \times 2 \pi 1,3) + 1,5 \times 0,26 \text{ (copertura)} + 1,3 \times 0,19 \text{ (mantello)} + 1,3 \times 0,08 \text{ (tramoggia)} + 1,80 \times 3,59 \times \cos 23 \text{ (componente } p_t \text{ sovrastimata)} + 1,10 \times 0,52 \times \cos 23 \text{ (componente } p_t \text{ contraccolpo)} = 8,75 \text{ t/m}$$

$$F_t = 8,75 / \cos 23 = 9,51 \text{ t/m}$$

$$\sigma_w = 95/0,3 = 317 \text{ kg/cm}^2$$

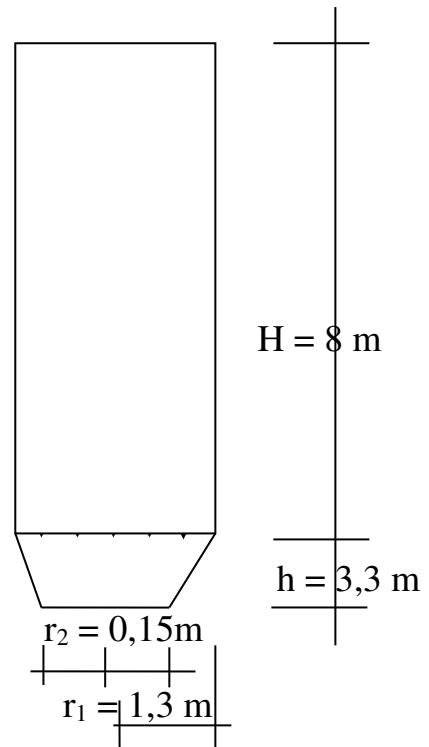
$$\sigma_{ideale} = (453^2 + 317^2 - 453 \times 317)^{0,5} = 401 \text{ kg/cm}^2$$

## Sisma

massa materiale insilato

$$\pi r_1^2 H \gamma + \pi h (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2) \gamma / 3$$

$$= 24 \text{ ton}$$



massa struttura

$$3 \text{ ton}$$

$$a_g = 0,193 \text{ g}$$

$$F_0 = 2,403$$

$$S = 1,421$$

$$\eta = 1$$

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO		0,060	2,437	0,261
SLD	50	0,077	2,419	0,271
SLV	475	0,193	2,403	0,307
SLC	975	0,246	2,441	0,317

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,193 g
$F_o$	2,403
$T_C^*$	0,307 s
$S_S$	1,421
$C_C$	1,550
$S_T$	1,000
$q$	1,330

#### Parametri dipendenti

$S$	1,421
$\eta$	0,752
$T_B$	0,159 s
$T_C$	0,476 s
$T_D$	2,373 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Punti dello spettro di risposta

	$T$ [s]	$S_e$ [g]
	0,000	0,275
$T_B \leftarrow$	0,159	0,496
$T_C \leftarrow$	0,476	0,496
	0,566	0,417
	0,657	0,360
	0,747	0,316
	0,837	0,282
	0,928	0,255
	1,018	0,232
	1,108	0,213
	1,199	0,197
	1,289	0,183
	1,379	0,171
	1,470	0,161
	1,560	0,151
	1,650	0,143
	1,741	0,136
	1,831	0,129
	1,921	0,123
	2,012	0,117
	2,102	0,112
	2,192	0,108
	2,283	0,104
$T_D \leftarrow$	2,373	0,100
	2,450	0,093
	2,528	0,088
	2,605	0,083
	2,683	0,078
	2,760	0,074
	2,838	0,070

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,193 g
$F_o$	2,403
$T_C^*$	0,307 s
$S_S$	1,421
$C_C$	1,550
$S_T$	1,000
$q$	1,500

### Parametri dipendenti

$S$	1,421
$\eta$	0,667
$T_B$	0,159 s
$T_C$	0,476 s
$T_D$	2,373 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,275
$T_B \leftarrow$	0,159	0,440
$T_C \leftarrow$	0,476	0,440
	0,566	0,370
	0,657	0,319
	0,747	0,280
	0,837	0,250
	0,928	0,226
	1,018	0,206
	1,108	0,189
	1,199	0,175
	1,289	0,163
	1,379	0,152
	1,470	0,143
	1,560	0,134
	1,650	0,127
	1,741	0,120
	1,831	0,114
	1,921	0,109
	2,012	0,104
	2,102	0,100
	2,192	0,096
	2,283	0,092
$T_D \leftarrow$	2,373	0,088
	2,450	0,083
	2,528	0,078
	2,605	0,073
	2,683	0,069
	2,760	0,065
	2,838	0,062

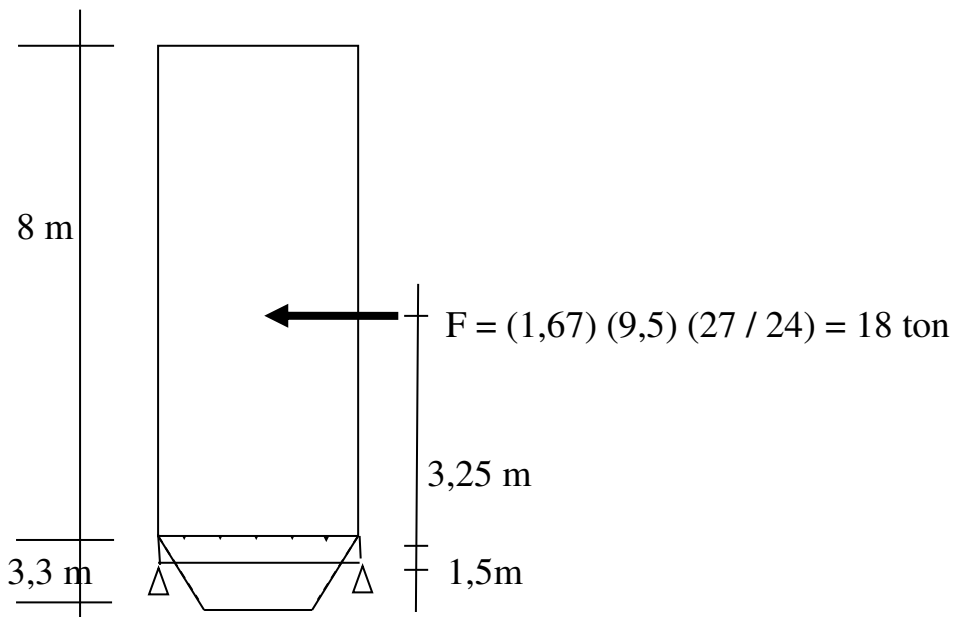
$$a = a_g S \eta F_0 = 6,47 \text{ m/s}^2$$

pressione locale uniforme lungo l'altezza

$$p_{h,s} = 1,3 \times 0,6 \times 0,8 \times 6,47 / 9,81 = 0,41 \text{ t/m}^2$$

forza di taglio sismica

$$p_{h,s} = \pi \times 1,3^2 \times 0,6 \times 0,8 \times 6,47 / 9,81 = 1,67 \text{ t/m}$$



$$M_{\text{max}} \text{ sulla lamiera 30/10 e sull'appoggio} = 18 \times 4,75 = 86 \text{ tm}$$

Considerato che l'effetto globale del sisma è trascurabile in virtù del fatto che il materiale insilato si comporta come un tutt'uno con la lamiera del silos, vengono considerati solo gli effetti della pressione locale  $p_{h,s} = 0,41 \text{ t/m}^2$ .

Le tensioni massime  $p_h$  e  $n_w$ , già calcolate, vanno ridotte escludendo il coefficiente  $\gamma=1,5$  ed introducendo il coefficiente  $\psi=0,8$ .

Nel contempo vanno incrementate del coefficiente 1,85 ricavato dal prospetto 2.1 delle sovrappressioni dinamiche indicate nell'ENV 1998-4.

Si esegue la verifica con le sovrappressioni dinamiche sopra menzionate

$$n_h = 4,08 \times 0,8 \times 1,85 / 1,5 + 0,41 \times 1,3 = 4,56 \text{ t/m}^2$$

$$n_w = 3,16 \times 0,8 \times 1,85 / 1,5 = 3,12 \text{ t/m}^2$$

resistenza

$$\sigma_h = 45,6 / 0,3 = 152 \text{ kg/cm}^2$$

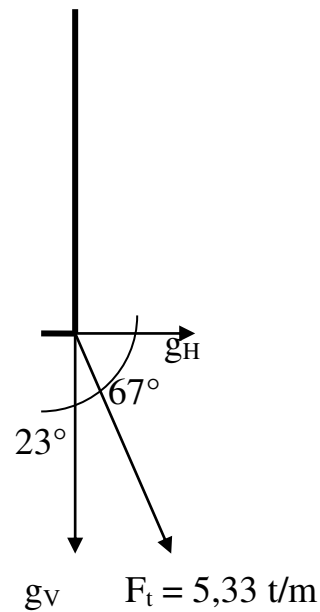
$$\sigma_w = -31,2 / 0,3 = -104 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ideale} = 223 \text{ kg/cm}^2$$

la verifica di stabilità risulta superflua.



### Anello di base (tra mantello e tramoggia)



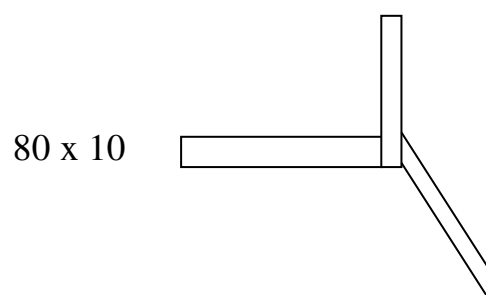
$$g_v = 2,50 \times 1,5 \times 1,2 \pi 1,3^2 / (2 \pi 1,3) + \pi 3,3 (1,3^2 + 0,15^2 + 1,3 \times 0,15) 0,6 \times 1,5 / (3 \times 2 \pi 1,3) + 1,5 \times 0,26 \text{ (coperchio)} + 1,3 \times 0,19 \text{ (mantello)} + 1,3 \times 0,08 \text{ (tramoggia)} = 5,33 \text{ t/m}$$

$$F_t = 5,33 / \cos 23 = 5,79 \text{ t/m}$$

$$g_H = 5790 \cdot \cos 67 = 2262 \text{ kg/m}$$

$$N_{\text{compression in the ring}} = 2262 \cdot 1,3 = 2941 \text{ kg}$$

profilo adottato



$$\text{Area} = 8 \cdot 1 + 8 \cdot 0,3 = 10,4 \text{ cm}^2$$

$$y_G = (8 \cdot 1 \cdot 4 + 8 \cdot 0,3 \cdot 10) / 10,4 = 5,4 \text{ cm}$$

$$J_{xx} = 1 \cdot 8^3/12 + 8 \cdot 1 \cdot (5,4 - 4)^2 + 8 \cdot 0,3^3/12 + 8 \cdot 0,3 \cdot (10 - 5,4)^2 = 109 \text{ cm}^3$$

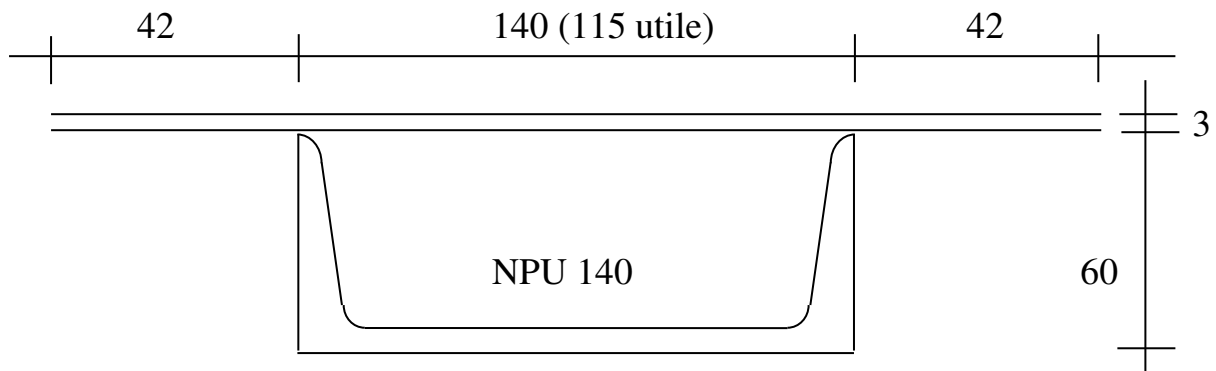
$$p = 1,5 \times 2941/130 \cdot 4/3 = 45 \text{ kg/cm}$$

$$p_n = 3 \cdot 2100000 \cdot 109 / 130^3 = 313 \text{ kg/cm}$$

$$\sigma_n = 45 \cdot 130 / 10,4 + 2100000 \cdot 8 / 130 \cdot 0,015 \cdot 45 / (313 - 45) = 513 \text{ kg/cm}^2$$

### Rinforzi gonna (APPOGGI)

Da prolungare per 1500 mm sulla prima virola del mantello in modo da “instradare” le sollecitazioni verso i punti di appoggio



$$y_G = (20,4 \times 1,75 + 6 \times 6,15) / 26,4 = 2,75 \text{ cm}$$

$$J_x = 62,7 + 20,4 \times (2,75 - 1,75)^2 + 6 \times (6,15 - 2,75)^2 = 152 \text{ cm}^4$$

$$i_x = (152 / 26,4)^{0,5} = 2,4 \text{ cm}$$

semincastro

$$\lambda = 0,7 \times 150 / 2,4 = 44 \quad 1 / \chi = 1,16$$

Verifica supponendo reagenti alla flessione 1 + 1 dei 4 rinforzi

$$\begin{aligned} & 24 \cdot 1,85 + 3 \\ & \downarrow \\ & (47400 / (4 \times 26,4) + 8600000 / (270 \times 26,4)) \times 1,16 = 1920 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

N.B.

Il calcolo è a vantaggio della sicurezza in quanto si trascurano tutti i piatti radiali di spessore 40/10 che collegano la gonna alla tramoggia, disposti ogni 45°.

## **Bulloni**

### **Bulloni per anello di collegamento tra virola e gonna con tramoggia (nel caso in cui si decida di non realizzare in monoblocco mantello e tramoggia)**

bulloni M 12 classe 8.8 passo 200 mm

attacco costituito da piatti 80 x 10 con costole da 5 mm a passo 400 mm

$$\sigma_b = 10450 / (5 \times 0,84) = 2488 \text{ kg/cm}^2 < 5760 \text{ kg/cm}^2$$

### **Bulloni per NPU 140** **piastra da 15 mm**

n° 2 bulloni M 24 classe 8.8 per ogni NPU

oppure n° 4 bulloni M20 classe 8.8

$$\sigma_b = 8600000 / (270 \times 2 \times 3,53) - 25622 / (8 \times 3,53) = 3604 \text{ kg/cm}^2 < 5760 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b = 18000 / (4 \times 3,53) = 1274 \text{ kg/cm}^2 < 3840 \text{ kg/cm}^2$$

(solo 2 celle di carico su 4 sono in grado di portare il taglio)

$$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / (1,4 \times F_{t,Rd}) = 0,78$$

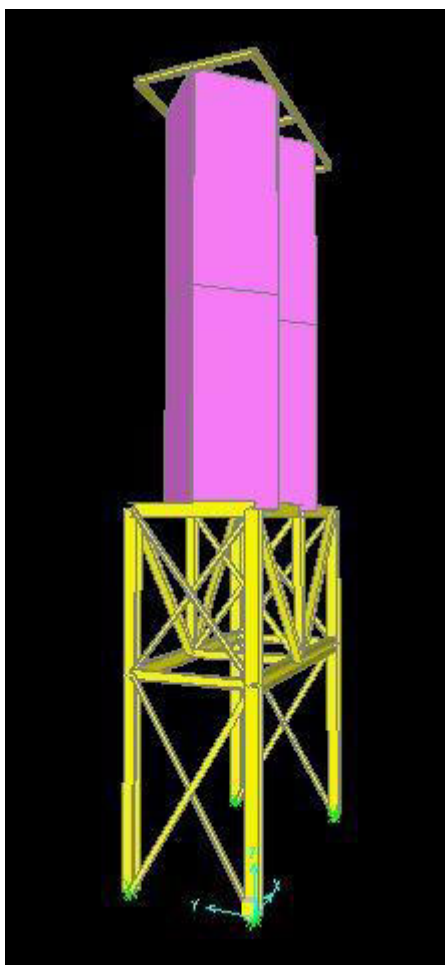
N.B.

Le celle di carico devono essere in grado di trasferire una compressione di 45 ton, una trazione di 25 ton, ed un taglio di 9 ton.

Al caso, sarà necessario disporre opportuno “cannotto” atto ad impedire la flessione parassita nel tirante antiribaltamento della cella di carico.

## **SOTTOSTRUTTURA IN ACCIAIO**

I listati di output del SAP2000 sono allegati in files Excel.



**Eurovo2-deformazioni** (spostamenti dei nodi)

**SLU**

carichi verticali SLU

**SLUVENTOX**

carichi verticali + vento in direzione X SLU

**SLUVENTOY**

carichi verticali + vento in direzione Y SLU

(per avere gli spostamenti effettivi è necessario dividere i risultati per 1,45)

**COMBSLVX1**

carichi verticali SLV + analisi dinamica sismica  
dir X + 0,3 dir Y

(per avere gli spostamenti effettivi è necessario moltiplicare i risultati per 1,33)

**COMBSLVY1** carichi verticali SLV + analisi dinamica sismica  
dir Y + 0,3 dir X

(per avere gli spostamenti effettivi è necessario moltiplicare i risultati per 1,5)

**Eurovo2-sollecitazioni** (sollecitazioni nelle aste)

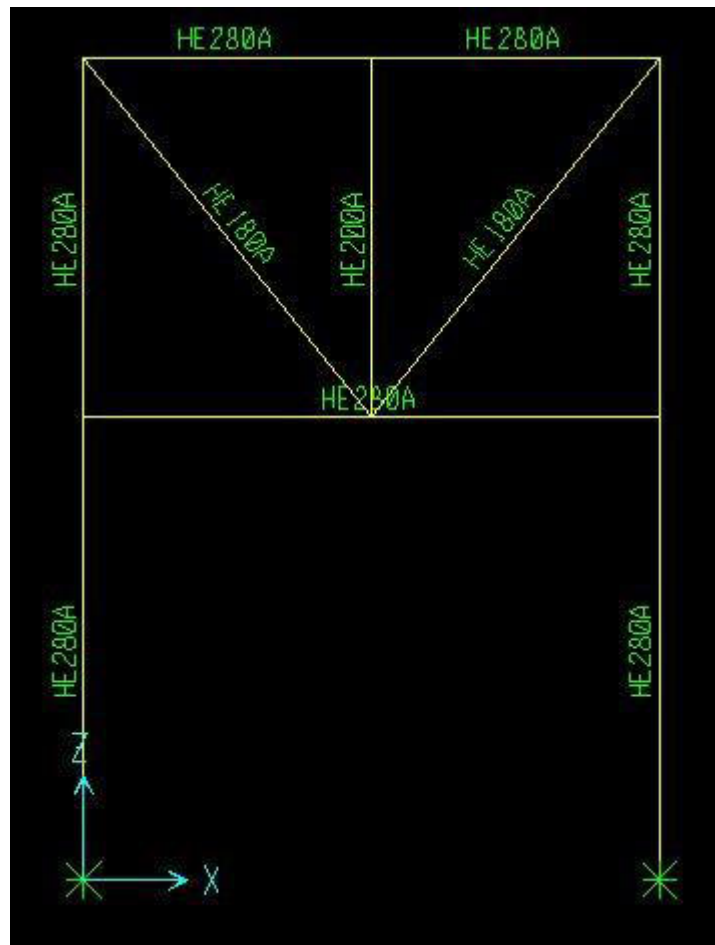
**SLU** carichi verticali SLU

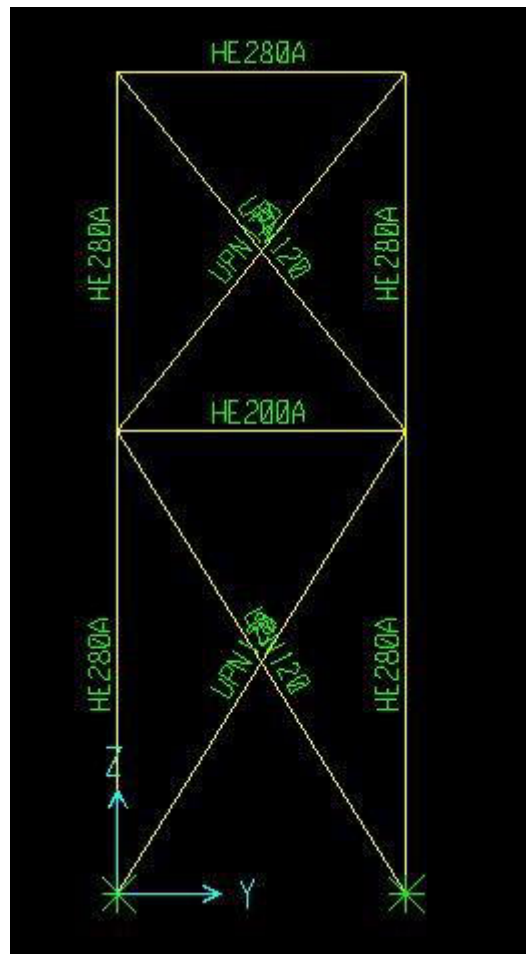
**SLUVENTOX** carichi verticali + vento in direzione X SLU

**SLUVENTOY** carichi verticali + vento in direzione Y SLU

**COMBSLVX1** carichi verticali SLV + analisi dinamica sismica  
dir X + 0,3 dir Y

**COMBSLVY1** carichi verticali SLV + analisi dinamica sismica  
dir Y + 0,3 dir X





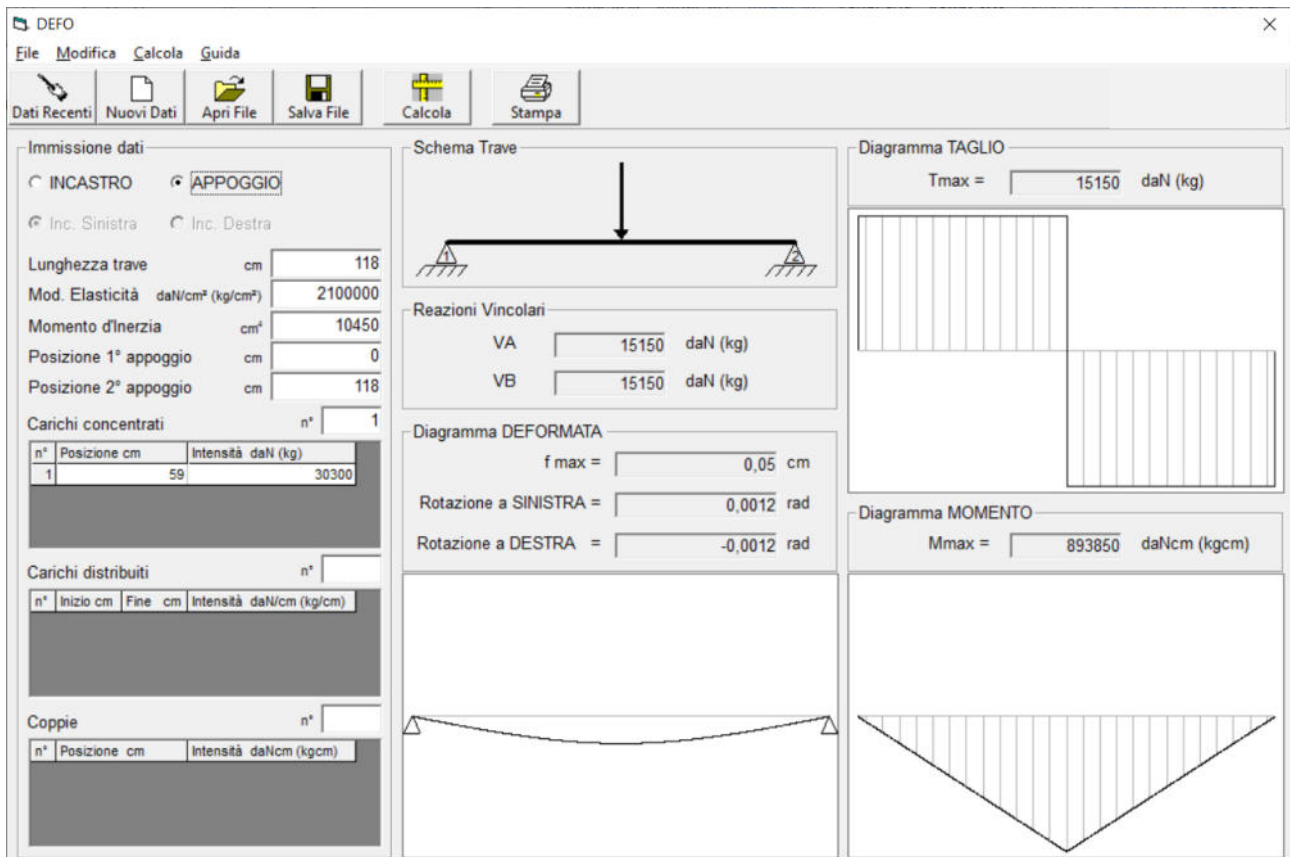
## MASSE PARTECIPANTI

Modal Participating Mass Ratios									
File View Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted									
Modal Participating Mass Ratios									
	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
►	MODAL	Mode	1	0,604892	9,261E-16	0,94	0	9,261E-16	0,94
	MODAL	Mode	2	0,604879	1	8,781E-16	0	1	0,94
	MODAL	Mode	3	0,271616	0	0	0	1	0,94
	MODAL	Mode	4	0,115064	0	0,05659	0	1	1
	MODAL	Mode	5	0,092906	0,004978	0	0	1	1
	MODAL	Mode	6	0,025074	0	0,000003145	0	1	1
	MODAL	Mode	7	0,015661	0	0	0	1	1
	MODAL	Mode	8	0,010605	0	0,0000009347	0	1	1
	MODAL	Mode	9	0,009733	0	0	0	1	1
	MODAL	Mode	10	0,008255	0	0	0	1	1
	MODAL	Mode	11	0,008184	0	0,000000205	0	1	1
	MODAL	Mode	12	0,007922	0	0	0	1	1



## Trave obliqua HEA 260 S275 a quota 8000 mm

La trave è stata studiata con un programma per travi isostatiche redatto dallo scrivente.



SLV

$$M_x = 894000 \text{ kgcm}$$

$$T = 15200 \text{ kg}$$

$$E_d / R_d = 0,64$$

attacco con 4 M20 classe 8.8      piatto spessore 15 mm

$$E_d / R_d = 0,41 \quad \text{spostamento trascurabile}$$

## Trave HEA 280 S275 a quota 8000 mm

DEFO

File Modifica Calcola Guida

Dati Recenti Nuovi Dati Apri File Salva File Calcola Stampa

Immissione dati

☐ INCASTRO ☒ APPOGGIO

☒ Inc. Sinistra ☐ Inc. Destra

Lunghezza trave cm 280

Mod. Elasticità daN/cm<sup>2</sup> (kg/cm<sup>2</sup>) 2100000

Momento d'inerzia cm<sup>4</sup> 13670

Posizione 1° appoggio cm 0

Posizione 2° appoggio cm 280

Carichi concentrati n° 2

n°	Posizione cm	Intensità daN (kg)
1	68	11800
2	212	11800

Carichi distribuiti n°

n°	Inizio cm	Fine cm	Intensità daN/cm (kg/cm)
----	-----------	---------	--------------------------

Copie n°

n°	Posizione cm	Intensità daNcm (kgcm)
----	--------------	------------------------

Schema Trave

Reazioni Vincolari

VA 11800 daN (kg)

VB 11800 daN (kg)

Diagramma DEFORMATA

f max = 0,25 cm

Rotazione a SINISTRA = 0,00296 rad

Rotazione a DESTRA = -0,00296 rad

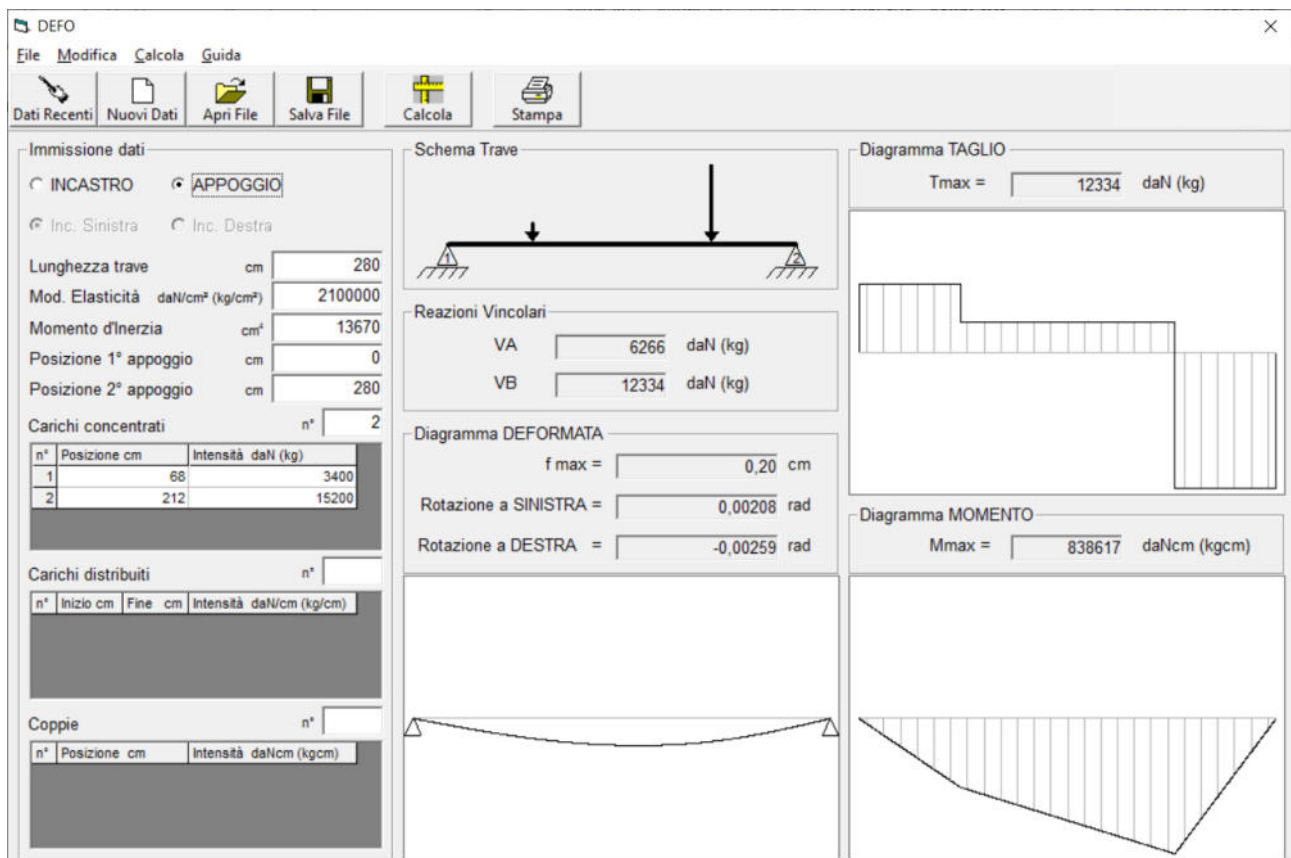
Diagramma TAGLIO

Tmax = 11800 daN (kg)

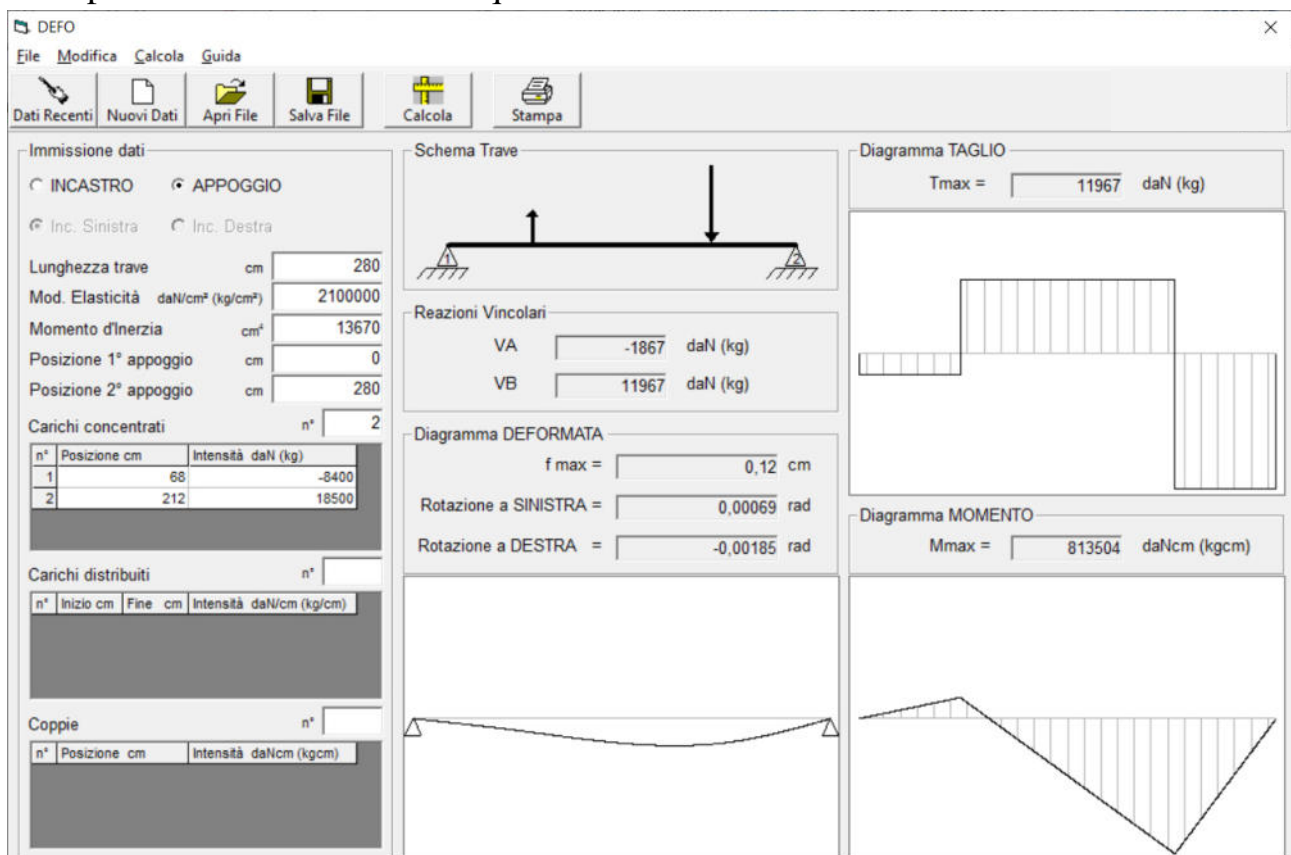
Diagramma MOMENTO

Mmax = 802400 daNcm (kgcm)

SLV per sisma in dir Y



SLV per sisma in direzione obliqua su trave in dir X



SLV per sisma in direzione obliqua su trave in dir Y

$$M_x = 839000 \text{ kgcm}$$

$$T = 12300 \text{ kg}$$

$E_d / R_d = 0,51$  (le sollecitazioni restituite dal modello SAP2000 risultano sovrastimate in quanto fanno agire i carichi in mezzeria)

attacco con 6 M20 classe 8.8      piatto spessore 15 mm  
(o 4 M20 classe 8.8 quando appoggiato sulla colonna)

$$E_d / R_d = 0,22$$

spostamento trascurabile

### **Trave HEA280 S275 del telaio a nodi rigidi**

$$M_x = 896000 \text{ kgcm}$$

$$T = 3600 \text{ kg}$$

$$N = 8700 \text{ kg}$$

resistenza  $E_d / R_d = 0,34$

stabilità  $E_d / R_d = 0,38$

attacco con 8 M20 classe 8.8      piatto spessore 20 mm

$$E_d / R_d = 0,74$$

### **Puntone HEA200 S275**

$$N = 32000 \text{ kg}$$

$$\text{resistenza } E_d / R_d = 0,22$$

$$\text{stabilità } E_d / R_d = 0,33$$

attacco con 4+4 M16 classe 8.8    2 piatti spessore 12 mm  
(o 4 M20 piatto spessore 12 mm quando il puntone è orizzontale)

$$E_d / R_d = 0,66$$

### **Diagonale HEA180 S275**

$$N = 21300 \text{ kg}$$

$$\text{resistenza } E_d / R_d = 0,18$$

$$\text{stabilità } E_d / R_d = 0,39$$

attacco con 4+4 M16 classe 8.8    2 piatti spessore 12 mm

$$E_d / R_d = 0,44$$

**Croce di sant'Andrea UPN120 S275 + rinforzo spessore 8 mm in corrispondenza dei fori**

$$N = 27600 \text{ kg}$$

$$\text{resistenza } E_d / R_d = 0,62$$

attacco con 6 M16 classe 8.8    piatto spessore 15 mm

$$E_d / R_d = 0,76$$

**Orditura tubolare 100x100x3 S235**

$$\text{Vento } 80 \text{ kg/m}^2$$

$$M = 15200 \text{ kgcm}$$

$$\text{resistenza } E_d / R_d = 0,17$$

attacco con 1 M12 classe 8.8 con angolare 70x6 S235

$$\text{resistenza } E_d / R_d = \text{trascurabile}$$

## **Colonna HEA280 S275**

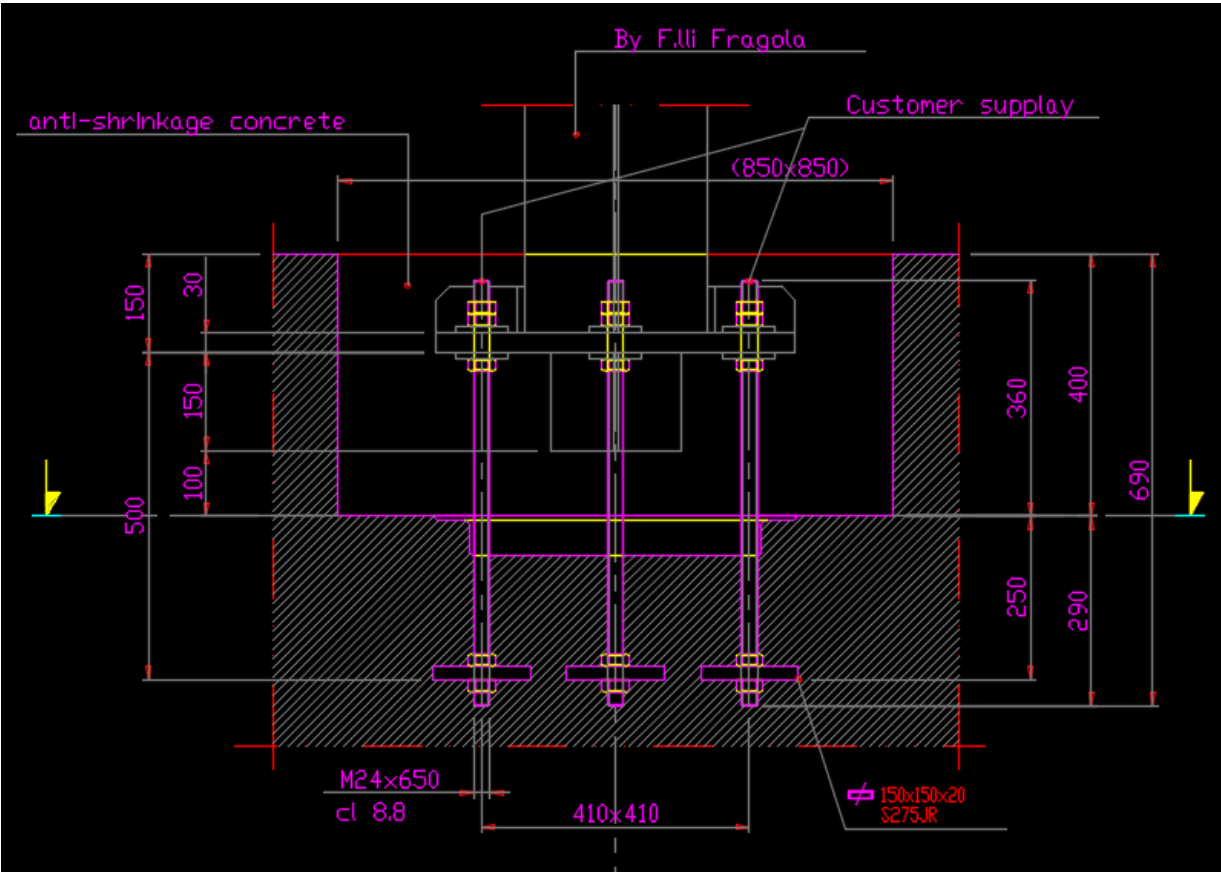
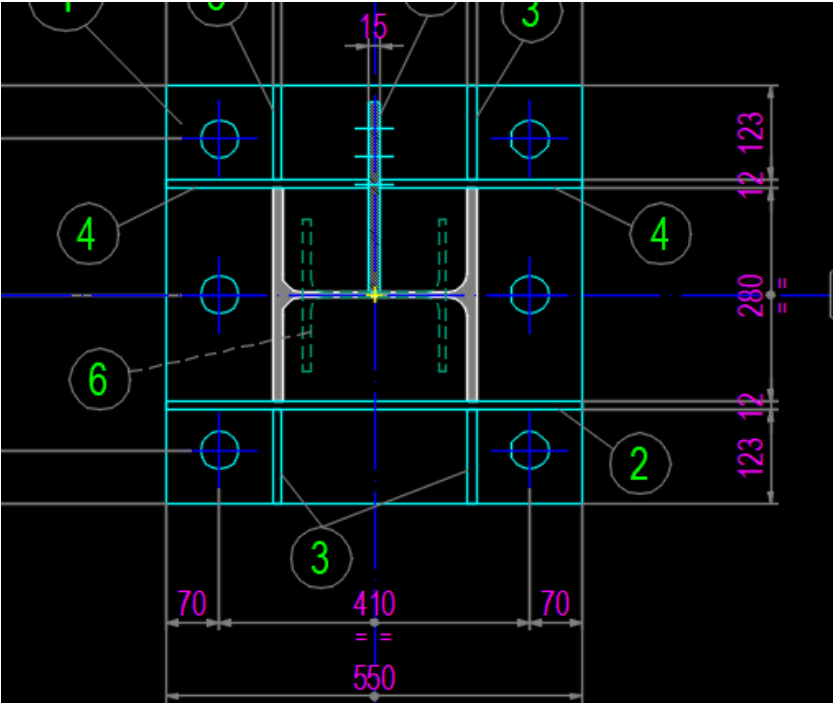
$$M_x = 1753000 \text{ kgcm}$$

$$N = 43500 \text{ kg}$$

$$\text{resistenza } E_d / R_d = 0,77$$

$$\text{stabilità } E_d / R_d = 0,73$$

PIASTRA DI BASE S275 PER COLONNA HEA 280





$$M_x = 1753000 \text{ kgcm}$$

$$N = 47000 \text{ kg (11000 kg di trazione)}$$

$$M_x = 500000 \text{ kgcm}$$

$$N = 42000 \text{ kg di trazione}$$


NOTA

Il taglio è contrastato dal profilo saldato sotto la piastra di base


**tirafondi M24 classe 8.8**


$$E_d / R_d = 0,78$$


## Piastra di base


 BARIC
 ×


File Modifica Calcola Guida


 Dati Recenti


 Nuovi Dati

 Apri File

 Salva File

 Profilarlo

 Calcola

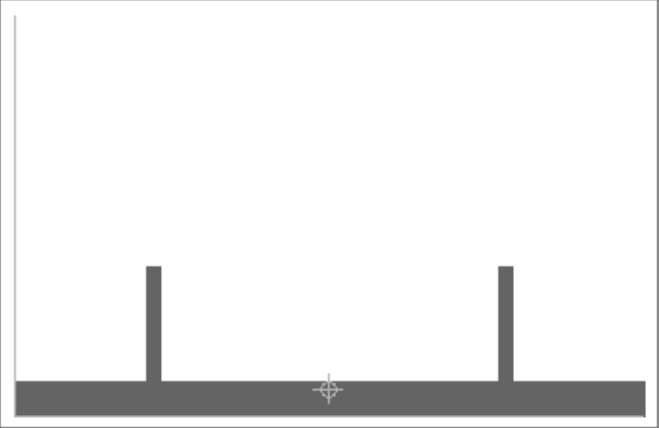
 Star

Coordinate Figure Elementari

n°	R/T	+/-	XA	YA	XB	YB	XC	YC
1	R	+	0	3	55	0	0	0
2	R	+	11,5	13	12,7	3	0	0
3	R	+	42,3	13	43,5	3	0	0
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								

Risultato

A = 189,00  
 XG = 27,50  
 YG = 2,33  
 JX = 1208,99  
 JY = 47288,47  
 WXSUP = 113,26  
 WXINF = 519,91  
 WYSIN = 1719,58  
 WYDES = 1719,58

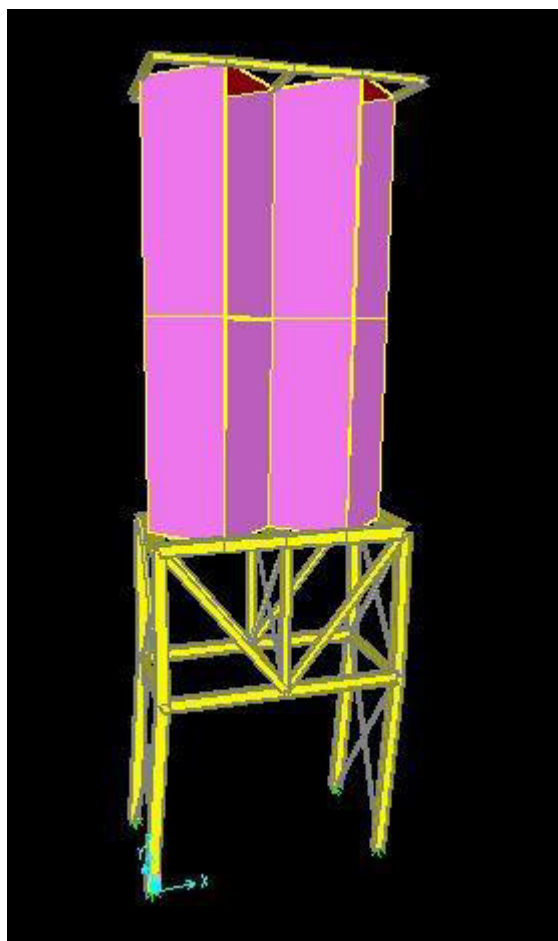


☒ Completo
 ☐ Poligoni +
 ☐ Poligoni -

$$M_{SLU \text{ limite}} = 780000 \text{ kgcm}$$

$$E_d / R_d = 0,59$$

## SPOSTAMENTI ORIZZONTALI



2,8 cm x 1,33 a 4500 mm

3 cm x 1,33 a 8000 mm

## EFFETTI DELLE NON LINEARITÀ GEOMETRICHE (punto 7.3.1 NTC 2018)

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

$$\theta = \frac{P \cdot d_{Er}}{V \cdot h} \quad [7.3.3]$$

dove:

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

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

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

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

Gli effetti delle non linearità geometriche:

- possono essere trascurati, quando  $\theta$  è minore di 0,1;

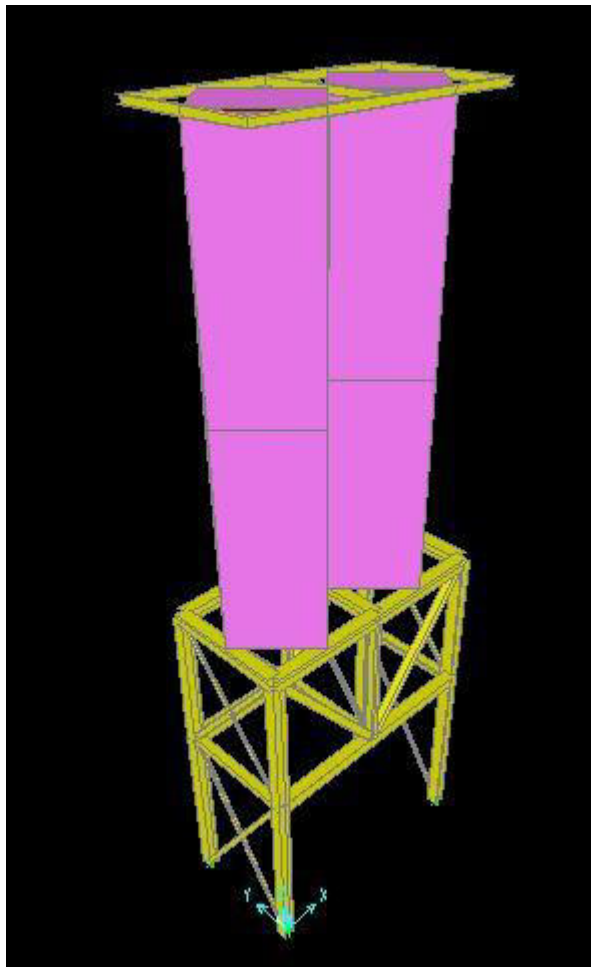
$$\theta_{4500} = 0,034$$

$$\theta_{8000} = 0,003$$

## CARICHI SULLE FONDAZIONI

Calcoli eseguiti con SAP 2000 (forze kg, momenti kgcm)

### Silos scarti



**SLU**

carichi verticali SLU

**COMBSLVX1**

carichi verticali SLV + analisi dinamica sismica  
dir X + 0,3 dir Y

**COMBSLVY1**

carichi verticali SLV + analisi dinamica sismica  
dir Y + 0,3 dir X

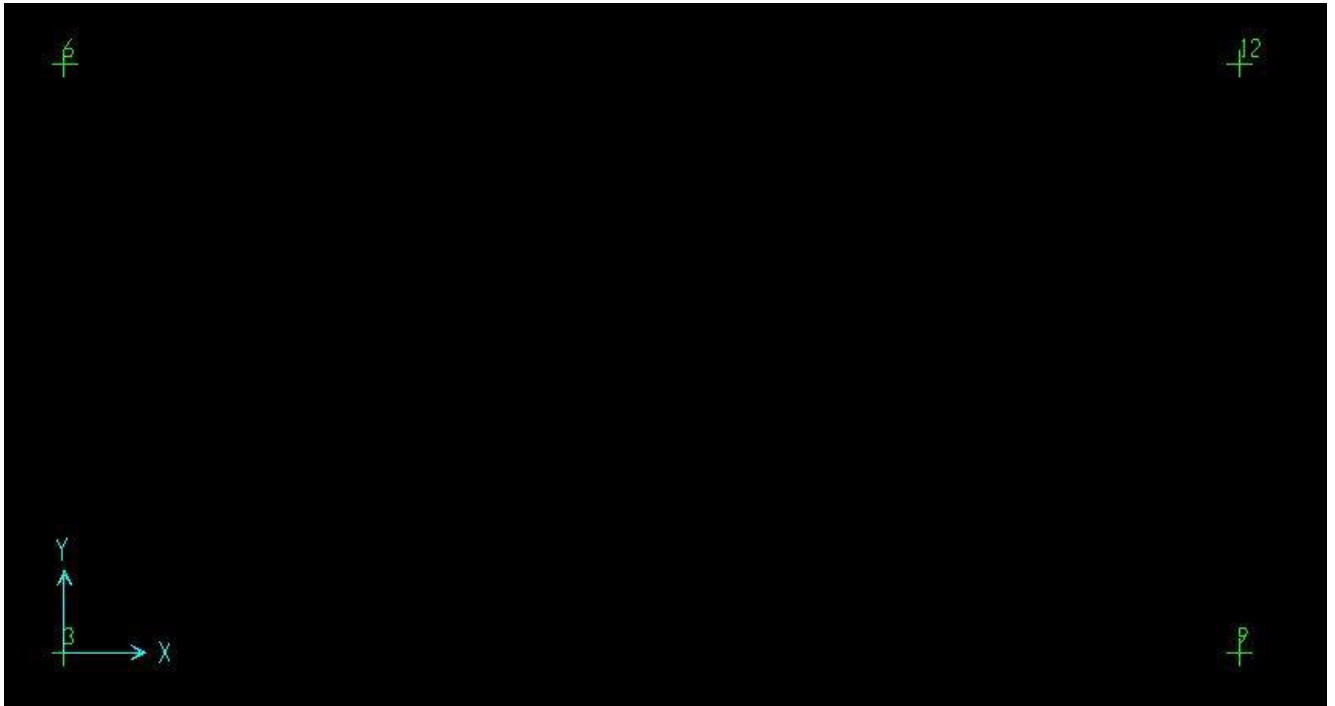
**SLUVENTOX**

carichi verticali + vento in direzione X SLU

## SLUVENTOY

carichi verticali + vento in direzione Y SLU

I carichi in fondazione sono trasmessi in files Excel riferiti alla seguente numerazione di nodi in pianta.



L'analisi sismica è riferita a un'accelerazione di 0,193g e una Categoria di sottosuolo C (Struttura non dissipativa  $q=1,33$  in dir X e  $q=1,5$  in dir Y)

## **PIANO DI MANUTENZIONE DELLA PARTE STRUTTURALE DELL'OPERA**

### **Relazione descrittiva**

La manutenzione è relativa ad una struttura in acciaio che sostiene 2 sili per le nuove linee di “scarti” dello stabilimento della EUROVO in località Bagnara di Romagna (Ravenna).

I sili sono in acciaio verniciato, con lamiere saldate e bullonate tra di loro.

Le sottostrutture dei sili sono saldate in officina ed assemblate in opera a mezzo di bulloni ad alta resistenza.

Le sottostrutture sono protette con un ciclo di zincatura.

### **Manuale d'uso**

Le strutture dovranno essere utilizzate secondo i carichi previsti a progetto, compresa l'ordinaria manutenzione.

Dovranno essere effettuate periodicamente tutte le operazioni elencate nel manuale di manutenzione secondo la tempistica del manuale e del programma di manutenzione.

### **Manuale di manutenzione**

Le strutture sono in parte zincate ed in parte verniciate.

Necessitano di un controllo programmato per verificare lo stato di protezione.

Attenzione dovrà essere prestata alle connessioni dei vari elementi assemblati, verificando:

- visivamente lo stato di conservazione delle protezioni verniciate e zincate
- con chiavi dinamometriche lo stato di serraggio della bulloneria (si raccomanda il ricorso a ditte specializzate).

### **Programma di manutenzione**

Ogni **cinque anni** effettuare le seguenti operazioni di controllo ed eventuali interventi di manutenzione:

- controllo visivo dei singoli componenti della struttura metallica zincata e verniciata: in caso di riscontro di difetti di ossidazione, intervenire con opportuni utensili per ripulire le parti difettate e ripristinare la protezione con zincanti a freddo o idonee vernici
- controllo con chiavi dinamometriche del serraggio dei bulloni.