

**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

RELAZIONE TECNICA

SILOS CARBONATI

*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 cell. +39.348.2689040

SOMMARIO

INDIVIDUAZIONE DEL SITO

2

1.3 *NORMATIVA DI RIFERIMENTO*

2

1**INDIVIDUAZIONE DEL SITO**

LA PRESENTE RELAZIONE È RIFERITA AL PUNTO 4.

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.

Legge n° 1086/71	Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato e precompresso ed a struttura metallica.
Legge n° 64/74	Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
DPR n°380/2001	Testo unico sull'edilizia
D.M. 17 gennaio 2018	Nuove Norme tecniche per le costruzioni
Circolare 20/01/2019 n° 7	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 CARBONATI 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	37
Spostamenti orizzontali	page	51
Carichi sulle fondazioni	page	53
Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera	page	55

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 4 sili a sezione circolare di diametro 2600 e di altezza di 13,5 m comprensivi di gonna e tramoggia, realizzati in lamiera di spessore 30/10 e 40/10.

Il calcolo è stato eseguito supponendo un movimento unico della batteria di sili durante l'evento sismico. Ciò verrà garantito dalle coperture-coperchi dei sili, collegati l'uno con l'altro.

Lo schema statico della struttura è un classico "pendolare", ma con tipologie di controventi differenti nelle due direzioni.

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 e classe 10.9 rispondenti alla norma UNI EN ISO 4016

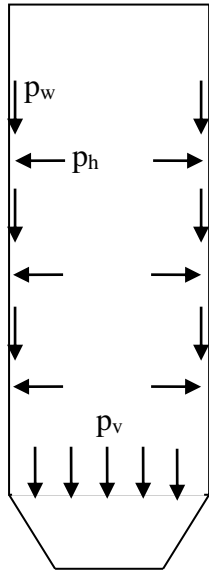
Le saldature devono rispettare i procedimenti codificati nella norma

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 $\gamma = 1,2 \text{ t/m}^3$

coefficiente di attrito tra materiale insilato e pareti

$$\mu = 0,40$$

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

$$\max \quad p_v = \gamma A / 0,9 K_r 0,9 \mu U = 4,81 \text{ t/m}^2$$

$$\max \quad p_h = \gamma A / 0,9 \mu U = 2,17 \text{ t/m}^2$$

$$\max \quad p_w = \gamma A / U = 0,78 \text{ t/m}^2$$

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

$$\max \quad p_v = C_o \gamma A / 0,9 K_s 0,9 \mu U = 3,37 \text{ t/m}^2$$

$$\max \quad p_h = C_o \gamma A / 0,9 \mu U = 3,03 \text{ t/m}^2$$

$$\max \quad p_w = C_w \gamma A / U = 0,86 \text{ t/m}^2$$

Carichi a profondità finita

- in fase di riempimento

$$z_0 \text{ per } p_v = A / 0,9 K_r 0,9 \mu U = 4,01 \text{ m}$$

$$z_0 \text{ per } p_h = A / 1,15 K_r 0,9 \mu U = 3,14 \text{ m}$$

$$z_0 \text{ per } p_w = A / 1,15 K_r 1,15 \mu U = 2,46 \text{ m}$$

z (m)	z/z ₀			c _z = 1 - e ^(-z/z₀)			spess. lamiera
	p _v	p _h	p _w	p _v	p _h	p _w	
9	2,24	2,87	3,66	0,89	0,94	0,97	30/10
12	2,99	3,82	4,88	0,95	0,98	0,99	40/10

z (m)	p _v (t/m ²)	p _h (t/m ²)	p _w (t/m ²)
8	4,28	2,04	0,76
12	4,57	2,13	0,77

- in fase di svuotamento

$$z_0 \text{ per } p_v = A / 0,9 K_s 0,9 \mu U = 1,88 \text{ m}$$

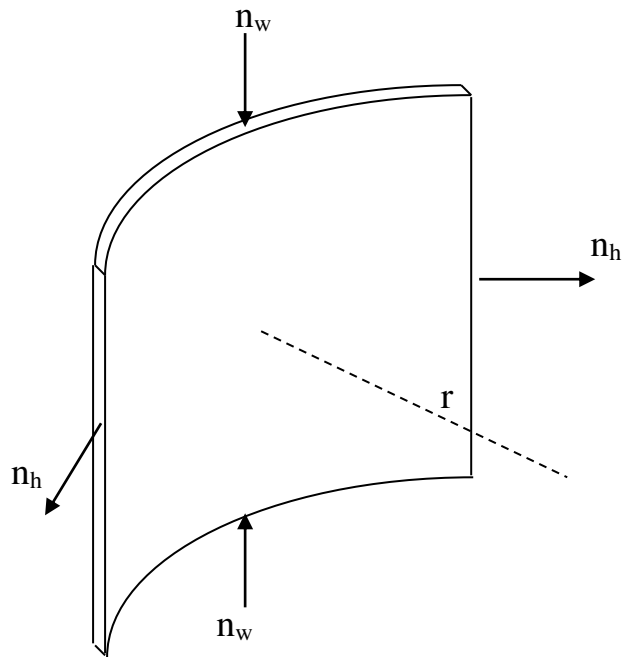
$$z_0 \text{ per } p_h = A / 1,15 K_s 0,9 \mu U = 1,57 \text{ m}$$

$$z_0 \text{ per } p_w = A / 1,15 K_s 1,15 \mu U = 1,23 \text{ m}$$

z (m)	z/z ₀			c _z = 1 - e ^(-z/z₀)			spess. lamiera
	p _v	p _h	p _w	p _v	p _h	p _w	
9	4,79	5,73	7,32	0,99	1,00	1,00	30/10
12	6,38	7,64	9,76	1,00	1,00	1,00	40/10

z (m)	p _v (t/m ²)	p _h (t/m ²)	p _w (t/m ²)
9	3,29	3,03	0,86
12	3,32	3,03	0,86

Calcolo tensioni (SLU)



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

γ_Q

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

γ_Q

γ_{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)
9	0,21
12	0,30

- tensioni in fase di riempimento

z (m)	n _h (t/m)	n _w (t/m)
9	3,98	6,83
12	4,15	10,14

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

spessore lamiera	σ_h	σ_w	σ_{ideale}
30/10	39,8/0,3 = 133	-68,3/0,3 = -228	316
40/10	41,5/0,4 = 104	-101,4/0,4 = -254	319

- tensioni in fase di svuotamento

z (m)	n _h (t/m)	n _w (t/m)
9	5,91	7,76
12	5,91	11,36

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

spessore lamiera	σ_h	σ_w	σ_{ideale}
30/10	59,1/0,3=197	-77,6/0,3= -259	396
40/10	59,1/0,4=148	-113,6/0,4= -283	379

Carico a scacchiera

- in fase di riempimento

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

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

$$p_p = 0,35 p_h$$

$$p_{h=9} = 2,04 \text{ t/m}^2 \quad ==> \quad p_p = 0,71 \text{ t/m}^2$$

$$p_{h=12} = 2,13 \text{ t/m}^2 \quad ==> \quad p_p = 0,75 \text{ t/m}^2$$

spessore lamiera	σ_h	σ_w	σ_{ideale}
30/10	$133 + 1,5 \times 7,1 \times 1,3 / 0,3 = 179$	-228	353
40/10	$104 + 1,5 \times 7,5 \times 1,3 / 0,4 = 141$	-254	347

- in fase di svuotamento

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

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

$$p_p = 0,43 p_h$$

$$p_{h=9} = 3,03 \text{ t/m}^2 \quad ==> \quad p_p = 1,30 \text{ t/m}^2$$

$$p_{h=12} = 3,03 \text{ t/m}^2 \quad ==> \quad p_p = 1,30 \text{ t/m}^2$$

spessore lamiera	σ_h	σ_w	σ_{ideale}
30/10	$197 + 1,5 \times 13 \times 1,3 / 0,3 = 282$	-259	469
40/10	$148 + 1,5 \times 13 \times 1,3 / 0,4 = 211$	-283	429

Vento

classe di rugosità C categoria III

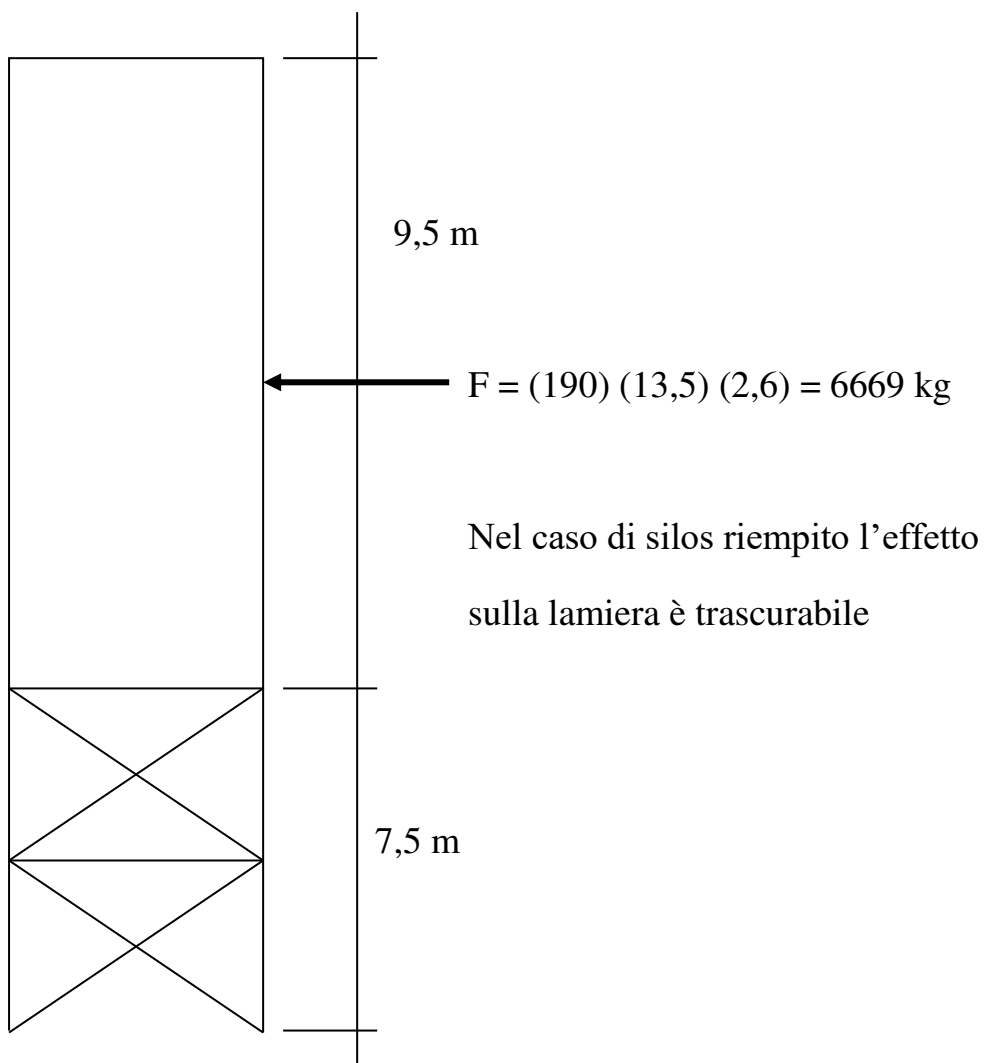
$$v_{b0} = 25 \text{ m/s} \quad q_b = 1,25 (25)^2 / 2 = 391 \text{ N/m}^2 = 40 \text{ kg/m}^2$$

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

$$c_e = (0,20)^2 \ln(21/0,10) [7 + \ln(21/0,10)] = 2,64 \quad c_p = 1,2$$

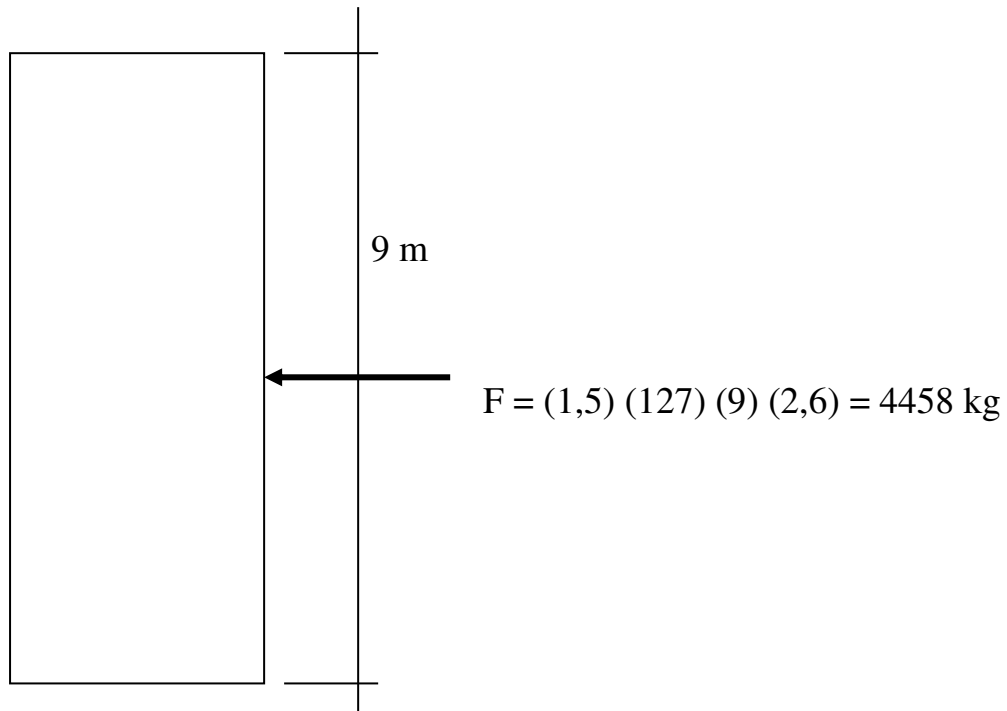
$$p = (40) (2,64) (1,2) = 127 \text{ kg/m}^2$$

$$p_{SLU} = (127) (1,5) = 190 \text{ kg/m}^2$$



Effetto sulla lamiera con silos vuoto

30/10



$$M = (4,46) (4,5) = 20 \text{ tm}$$

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

$$\sigma = 20 / 0,0159 = 1258 \text{ t/m}^2 = 126 \text{ kg/cm}^2$$

Effetto locale

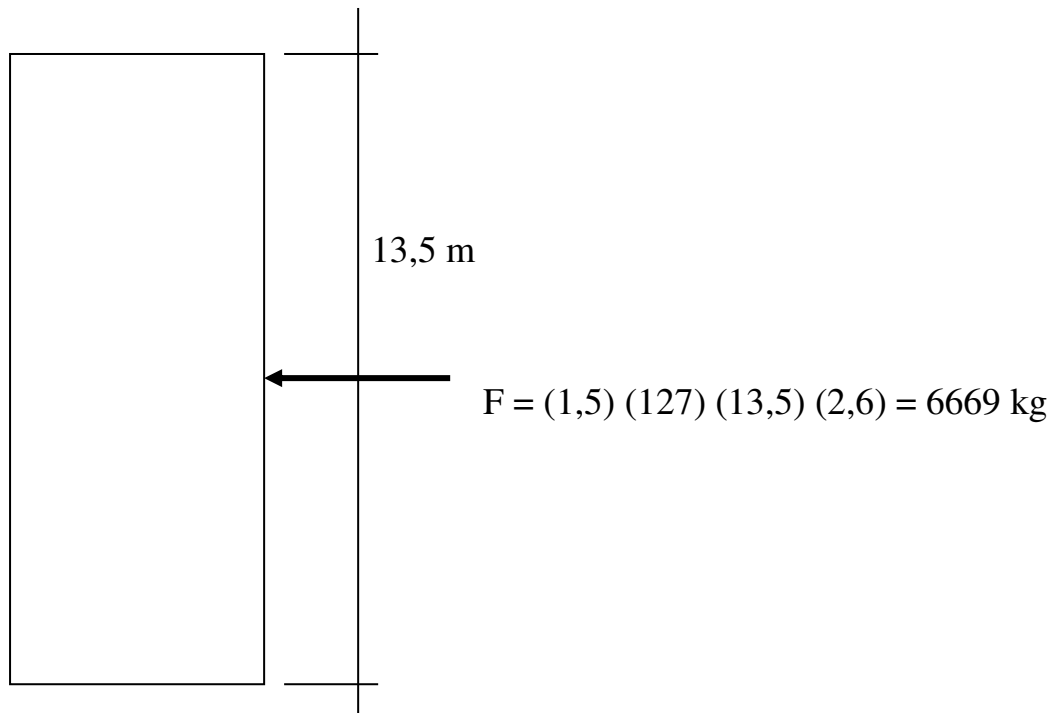
$$p_{\text{SLU}} = (1,5) (40) (2,64) (2,5) = 396 \text{ kg/cm}^2$$

\uparrow
 c_p

$$n_h = (396) (1,3) = 515 \text{ kg/m}$$

$$\sigma_h = 515 / (100 \times 0,3) = 17 \text{ kg/cm}^2$$

40/10



$$M = (6,67) (6,75) = 45 \text{ tm}$$

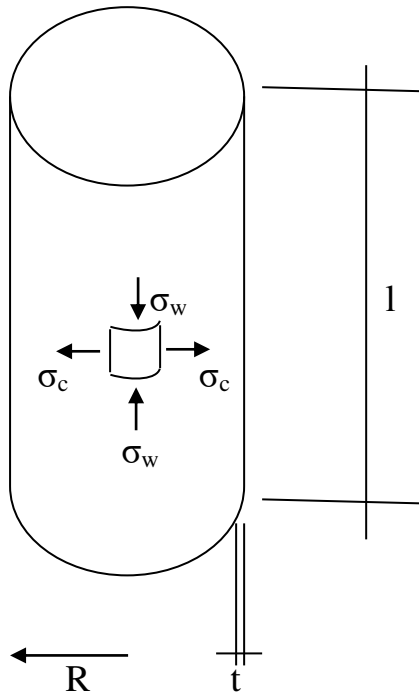
$$W = 2 (\pi/64) (2,6^4 - 2,592^4) / 2,6 = 0,0211 \text{ m}^3$$

$$\sigma = 45 / 0,0211 = 2133 \text{ t/m}^2 = 213 \text{ kg/cm}^2$$

Effetto locale

$$\sigma_h = 515 / (100 \times 0,4) = 13 \text{ kg/cm}^2$$

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



spessore 30/10

$$l/R = 9/1,3 = 6,9 < 0,95(R/t)^{1/2} = 0,95(1,3/0,003)^{1/2} = 20$$

$$\sigma_D = 259 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tensione di progetto)}$$

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

(tensione critica elastica ideale)

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

Compressione assiale e pressione interna

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

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

$$\rho = (282/1,5) (130)^{1/2} / (2100000(0,3)^{1/2}) = 0,0019$$

$$\alpha = 0,33 + (1 - 0,33) (0,0019/(0,0019 + 0,007)) = 0,473$$

$$\alpha \sigma_{CR} = (0,473) (2932) = 1387 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_R/2$$

$$\sigma_K = \sigma_R [1 - 0,4123 (\sigma_R / (\alpha \sigma_{CR}))^{0,6}] = 1025 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_D = 259 \text{ kg/cm}^2 < 1025 \text{ kg/cm}^2$$

Compressione assiale e depressione interna

$$\sigma_D = (126 + 17) + 16 = 159 \text{ kg/cm}^2$$

↑ ↑
vento peso mantello e coperchio

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

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

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

$$\rho = 0$$

$$\alpha = 0,24$$

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

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

$$\sigma_D = 159 \text{ kg/cm}^2 < 352 \text{ kg/cm}^2$$

Spessore 40/10

$$l/R = 13,5/1,3 = 10,4 < 0,95(R/t)^{1/2} = 0,95(1,3/0,004)^{1/2} = 17$$

$$\sigma_D = 283 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tensione di progetto)}$$

$$\sigma_{CR} = 0,605 E t/R = (0,605) (2100000) (0,4/130) = 3909 \text{ kg/cm}^2$$

(tensione critica elastica ideale)

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

Compressione assiale e pressione interna

$$R/t = 130/0,4 = 325 > 212$$

$$\alpha_0 = 0,7 / (0,1 + 0,01(130/0,4))^{1/2} = 0,38$$

$$\rho = (211/1,5) (130)^{1/2} / (2100000(0,4)^{1/2}) = 0,0012$$

$$\alpha = 0,38 + (1 - 0,38) (0,0012/(0,0012 + 0,007)) = 0,471$$

$$\alpha \sigma_{CR} = (0,471) (3909) = 1841 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_R/2$$

$$\sigma_K = \sigma_R [1 - 0,4123 (\sigma_R / (\alpha \sigma_{CR}))^{0,6}] = 1240 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_D = 283 \text{ kg/cm}^2 < 1240 \text{ kg/cm}^2$$

Compressione assiale e depressione interna

$$\sigma_D = (213 + 13) + 14 = 240 \text{ kg/cm}^2$$

↑ ↑
vento peso mantello e coperchio

$$\sigma_{CR} = 3909 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\alpha_0 = 0,7 / (0,1 + 0,01(260/0,4))^{1/2} = 0,27$$

$$\rho = 0$$

$$\alpha = 0,27$$

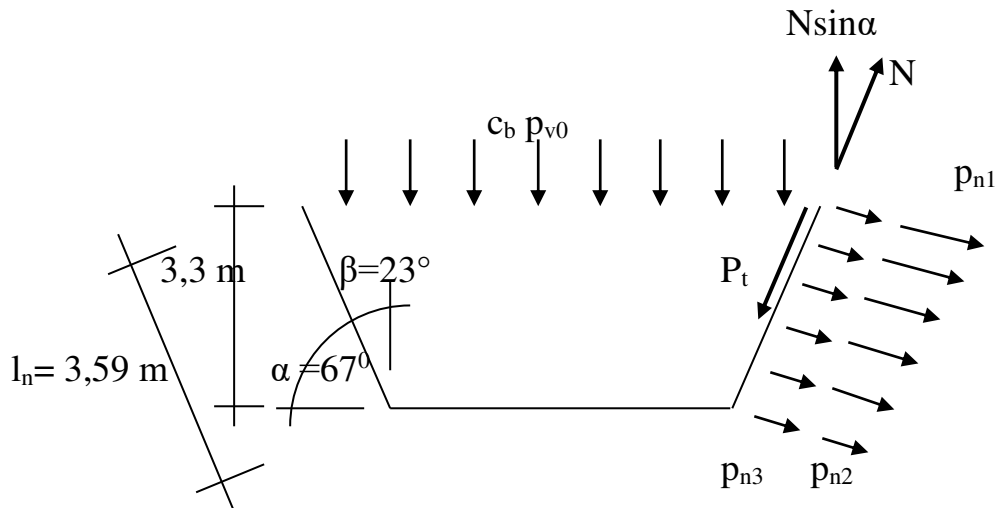
$$\alpha \sigma_{CR} = (0,27) (3909) = 1055 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_R/2$$

$$\sigma_K = 3 \alpha \sigma_{CR} / 4 = 3 (1055/4) = 791 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_D = 240 \text{ kg/cm}^2 < 791 \text{ kg/cm}^2$$

Tramoggia

In fase di riempimento



$$p_{v0} = (\gamma A / (K \mu U)) c_z = (4,57) (1,5) = 6,86 \text{ t/m}^2 \quad c_b = 1,2$$

$$p_{n1} = p_{v0} (c_b \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = 7,00 \text{ t/m}^2$$

$$p_{n2} = c_b p_{v0} \cos^2 \alpha = 1,23 \text{ t/m}^2$$

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

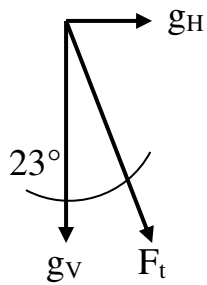
$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) x / l_n$$

10,69 t/m²
4,92 t/m²

$$n_n = (10,69) (1,3) / \cos 23 = 15,10 \text{ t/m}$$

$$\sigma_n = 151 / 0,4 = 378 \text{ kg/cm}^2$$

$$p_{t \max} = p_{n \max} \cdot \mu = 4,28 \text{ t/m}^2$$



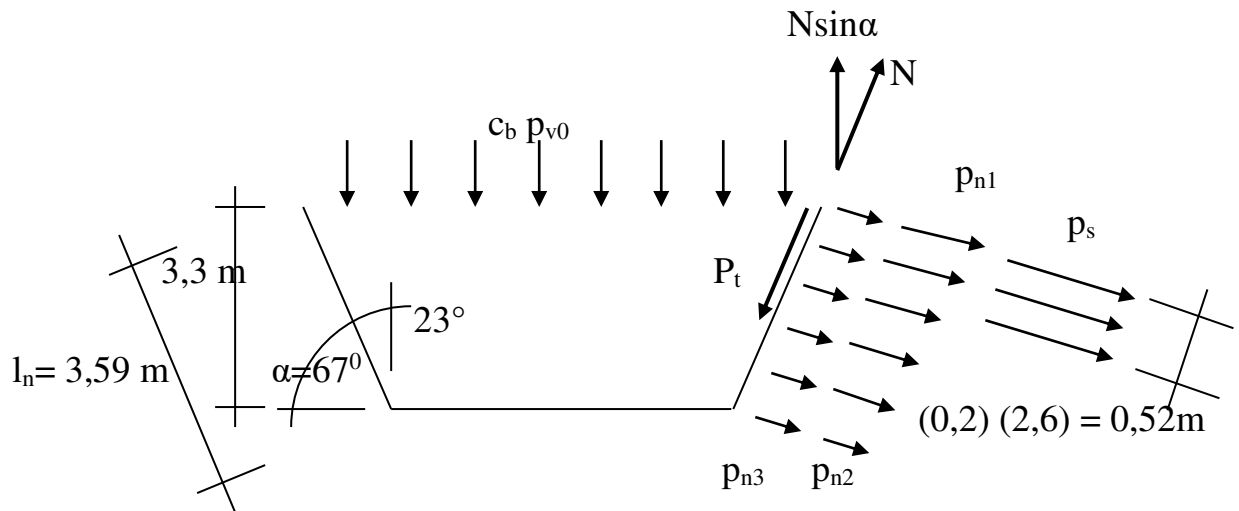
$$g_V = 4,57 \times 1,5 \times 1,2 \pi 1,3^2 / (2 \pi 1,3) + \pi 3,3 (1,3^2 + 0,15^2 + 1,3 \times 0,15) 1,2 \times 1,5 / (3 \times 2 \pi 1,3) + 1,5 \times 0,26 \text{ (coperchio)} + 1,3 \times 0,30 \text{ (mantello)} + 1,3 \times 0,13 \text{ (tramoggia)} + 4,28 \times 3,59 \times \cos 23 \text{ (componente } p_t \text{ sovrastimata)} = 21,89 \text{ t/m}$$

$$F_t = 21,89 / \cos 23 = 23,78 \text{ t/m}$$

$$\sigma_w = 238 / 0,4 = 595 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ideale} = (378^2 + 595^2 - 378 \times 595)^{0,5} = 521 \text{ kg/cm}^2$$

In fase di svuotamento



$$p_{v0} = (\gamma A / (K \mu U)) c_z = (3,32)(1,5) = 4,98 \text{ t/m}^2 \quad c_b = 1,2$$

$$p_{n1} = p_{v0} (c_b \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = 5,08 \text{ t/m}^2$$

$$p_{n2} = c_b p_{v0} \cos^2 \alpha = 0,90 \text{ t/m}^2$$

$$p_{n3} = 3 \text{ A } \gamma \text{ K } \sin^2 \alpha \text{ 1,5/} (U \mu^{0,5}) = 4,66 \text{ t/m}^2$$

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \cdot x / l_n \begin{cases} 9,74 \text{ t/m}^2 \\ 5,56 \text{ t/m}^2 \end{cases}$$

pressione di contraccolpo

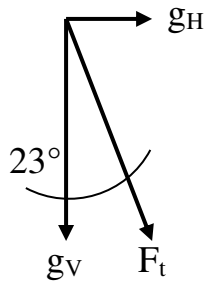
$$p_s = 2 \, p_{h0} = 2 \, (2,13) \, (1,5) = 6,39 \, \text{t/m}^2$$

$$n_n = (9,74+6,39) 1,3/\cos (23) = 22,78 \text{ t/m}$$

$$\sigma_n = 228/0,4 = 570 \text{ kg/cm}^2$$

$$p_{t \max} = p_{n \max} \cdot \mu = 3,90 \text{ t/m}^2$$

$$p_{t \text{ contraccolpo}} = p_{n \text{ contraccolpo}} \cdot \mu = 2,56 \text{ t/m}^2$$



$$g_V = 3,32 \times 1,5 \times 1,2 \pi 1,3^2 / (2 \pi 1,3) + \pi 3,3 (1,3^2 + 0,15^2 + 1,3 \times 0,15) 1,2 \times 1,5 / (3 \times 2 \pi 1,3) + 1,5 \times 0,26 \text{ (copertura)} + 1,3 \times 0,30 \text{ (mantello)} + 1,3 \times 0,13 \text{ (tramoggia)} + 3,90 \times 3,59 \times \cos 23 \text{ (componente } p_t \text{ sovrastimata)} + 2,56 \times 0,52 \times \cos 23 \text{ (componente } p_t \text{ contraccolpo)} = 20,40 \text{ t/m}$$

$$F_t = 20,40 / \cos 23 = 22,16 \text{ t/m}$$

$$\sigma_w = 222/0,4 = 555 \text{ kg/cm}^2$$

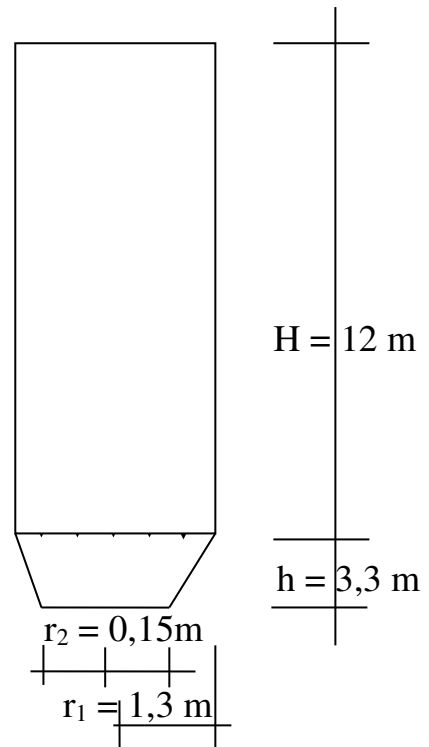
$$\sigma_{ideale} = (570^2 + 555^2 - 570 \times 555)^{0,5} = 562 \text{ kg/cm}^2$$

Sisma

massa materiale insilato

$$\pi r_1^2 H \gamma \text{ 0,8} + \pi h (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2) \gamma \text{ 0,8} / 3$$

$$= 68 \text{ ton}$$



massa struttura

$$4 \text{ ton}$$

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

$$F_0 = 2,403$$

$$S = 1,421$$

$$\eta = 1$$

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
η	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
η	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

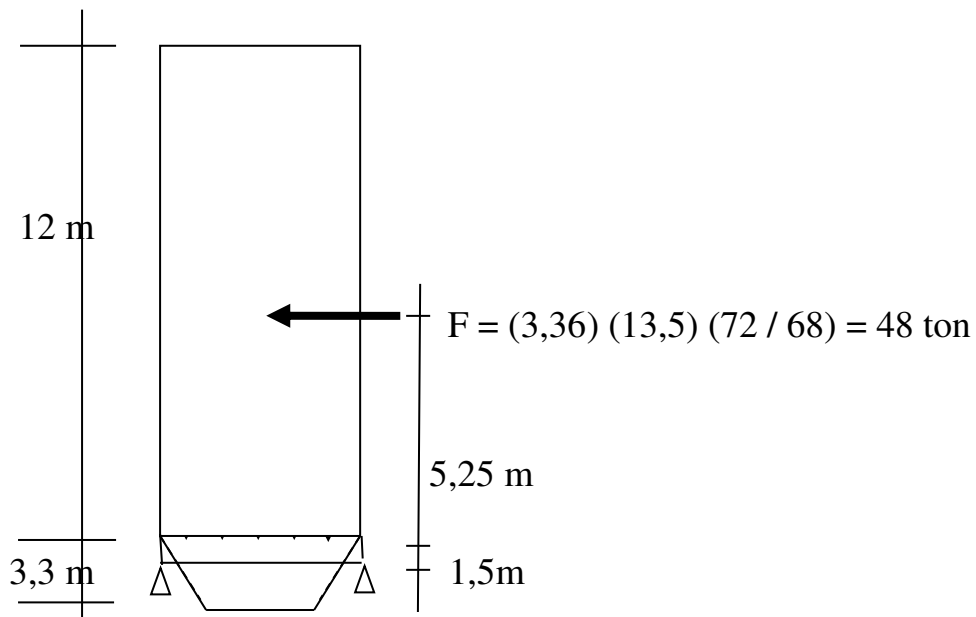
$$a = a_g S \eta F_0 = 6,47 \text{ m/s}^2$$

pressione locale uniforme lungo l'altezza

$$p_{h,s} = 1,3 \times 1,2 \times 0,8 \times 6,47 / 9,81 = 0,82 \text{ t/m}^2$$

forza di taglio sismica

$$p_{h,s} = \pi \times 1,3^2 \times 1,2 \times 0,8 \times 6,47 / 9,81 = 3,36 \text{ t/m}$$



$$M_{\text{max}} \text{ sulla lamiera 40/10 e sull'appoggio} = 48 \times 6,75 = 324 \text{ tm}$$

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 $p_{h,s} = 0,82 \text{ t/m}^2$.

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

$$n_h = 5,91 \times 0,8 \times 1,85 / 1,5 + 0,82 \times 1,3 = 6,89 \text{ t/m}^2$$

$$n_w = 11,36 \times 0,8 \times 1,85 / 1,5 = 11,21 \text{ t/m}^2$$

resistenza

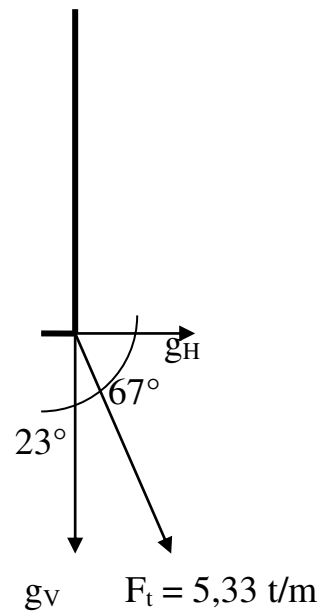
$$\sigma_h = 68,9 / 0,4 = 172 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_w = -112,1 / 0,4 = -280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ideale} = 395 \text{ kg/cm}^2$$

la verifica di stabilità risulta superflua.

Anello di base (tra mantello e tramoggia)



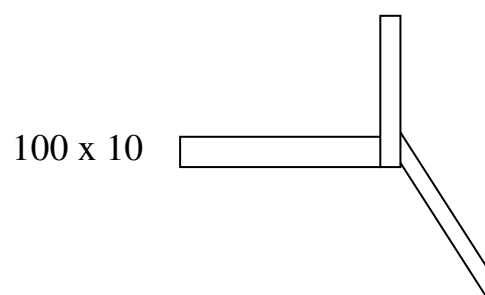
$$g_v = 4,57 \times 1,5 \times 1,2 \pi 1,3^2 / (2 \pi 1,3) + \pi 3,3 (1,3^2 + 0,15^2 + 1,3 \times 0,15) 1,2 \times 1,5 / (3 \times 2 \pi 1,3) + 1,5 \times 0,26 \text{ (coperchio)} + 1,3 \times 0,30 \text{ (mantello)} + 1,3 \times 0,13 \text{ (tramoggia)} = 7,75 \text{ t/m}$$

$$F_t = 7,75 / \cos 23 = 8,42 \text{ t/m}$$

$$g_H = 8420 \cdot \cos 67 = 3290 \text{ kg/m}$$

$$N_{\text{compression in the ring}} = 3290 \cdot 1,3 = 4277 \text{ kg}$$

profilo adottato



$$\text{Area} = 10 \cdot 1 + 10 \cdot 0,4 = 14 \text{ cm}^2$$

$$y_G = (10 \cdot 1 \cdot 5 + 10 \cdot 0,4 \cdot 11) / 14 = 6,7 \text{ cm}$$

$$J_{xx} = 1 \cdot 10^3/12 + 10 \cdot 1 \cdot (6,7 - 5)^2 + 10 \cdot 0,4^3/12 + 10 \cdot 0,4 \cdot (11 - 6,7)^2 = 186 \text{ cm}^3$$

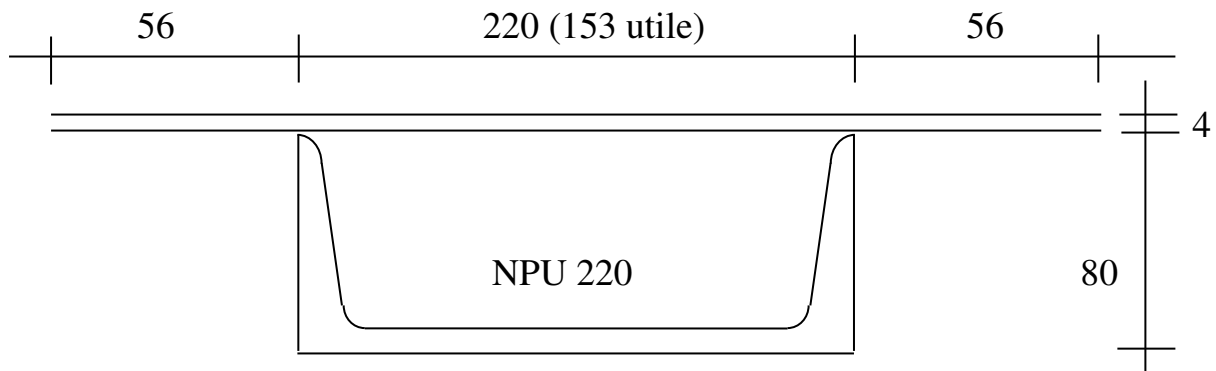
$$p = 1,5 \times 4277/130 \cdot 4/3 = 66 \text{ kg/cm}$$

$$p_n = 3 \cdot 2100000 \cdot 186 / 130^3 = 533 \text{ kg/cm}$$

$$\sigma_n = 66 \cdot 130 / 14 + 2100000 \cdot 10 / 130 \cdot 0,015 \cdot 66 / (533 - 66) = 955 \text{ kg/cm}^2$$

Rinforzi gonna (APPOGGI)

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



$$y_G = (37,4 \times 2,14 + 10,6 \times 8,2) / 48 = 3,5 \text{ cm}$$

$$J_x = 197 + 37,4 \times (3,5 - 2,14)^2 + 10,6 \times (8,2 - 3,5)^2 = 500 \text{ cm}^4$$

$$i_x = (500 / 48)^{0,5} = 3,2 \text{ cm}$$

semincastro

$$\lambda = 0,7 \times 150 / 3,2 = 33 \quad 1 / \chi = 1,08$$

Verifica supponendo reagenti alla flessione 1 + 1 dei 4 rinforzi

$$\begin{aligned} & 68 \cdot 1,85 + 4 \\ & \downarrow \\ & (130000 / (4 \times 96) + 32400000 / (260 \times 96)) \times 1,08 = 1768 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

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 30°.

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 16 classe 8.8 passo 200 mm

attacco costituito da piatti 100 x 10 con costole da 5 mm a passo 400 mm

$$\sigma_b = 21890 / (5 \times 1,57) = 2789 \text{ kg/cm}^2 < 5760 \text{ kg/cm}^2$$

Bulloni per NPU 220 **piastra da 20 mm**

n° 2 bulloni M 27 classe 10.9 per ogni NPU

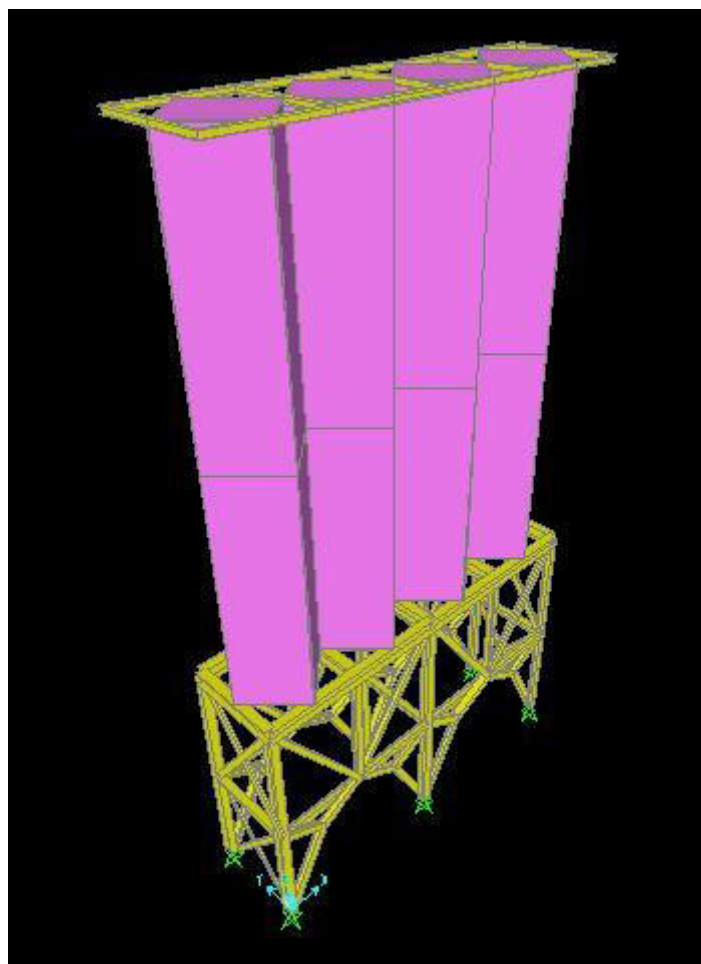
$$\sigma_b = 32400000 / (260 \times 4 \times 4,59) - 70270 / (16 \times 4,59) = 5830 \text{ kg/cm}^2 < 7200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b = 32000 / (16 \times 4,59) = 435 \text{ kg/cm}^2 < 4800 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / (1,4 \times F_{t,Rd}) = 0,67$$

SOTTOSTRUTTURA IN ACCIAIO

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



Eurovo4-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

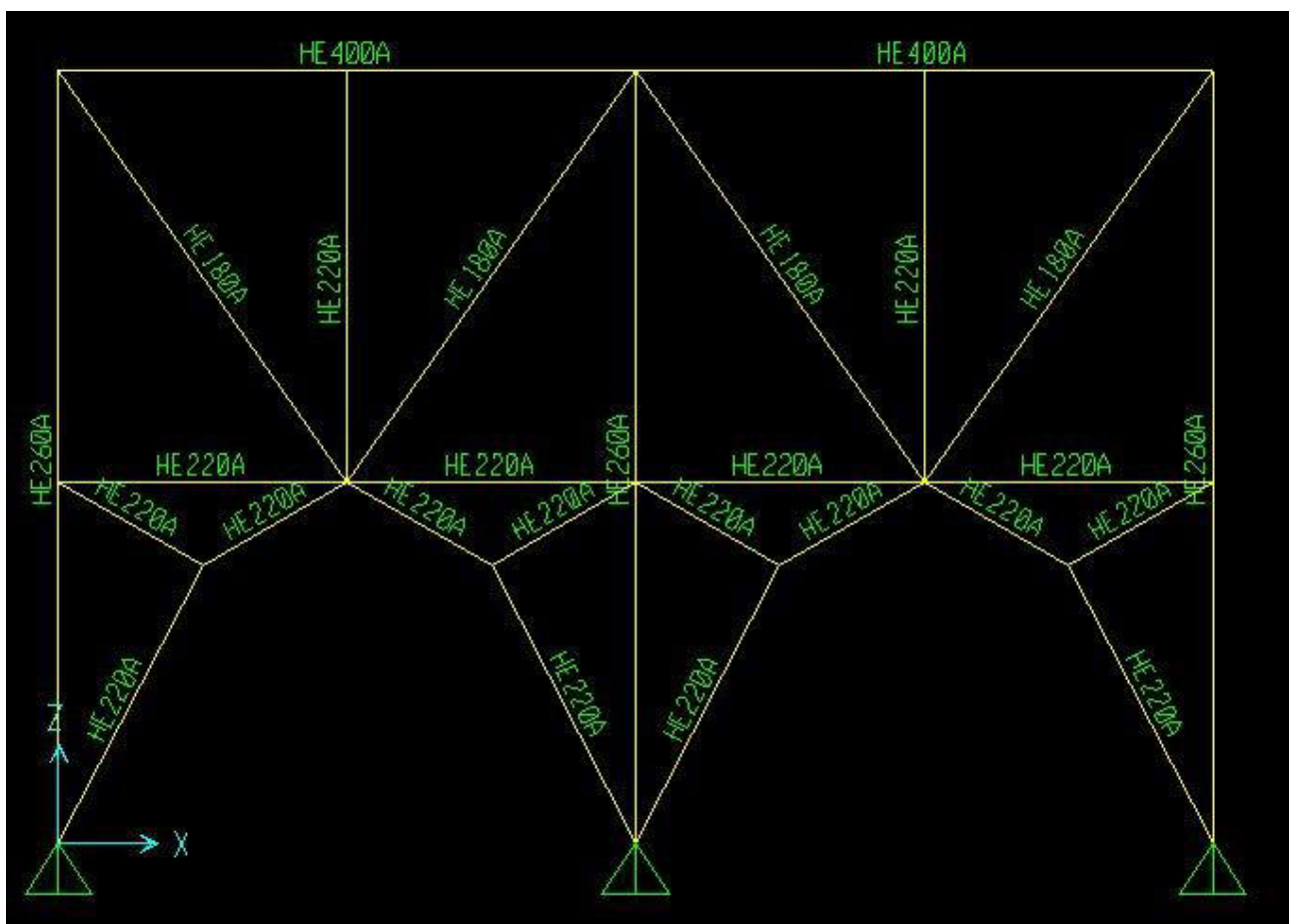
carichi verticali + vento in direzione Y SLU

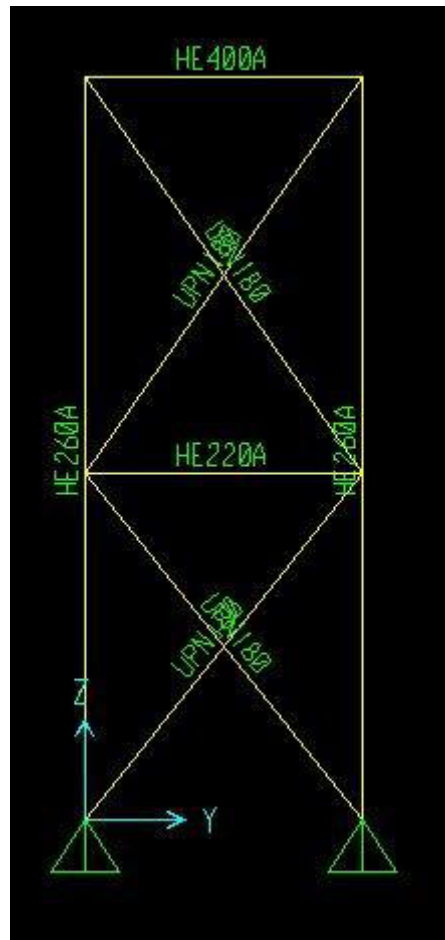
COMBSLVX1

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



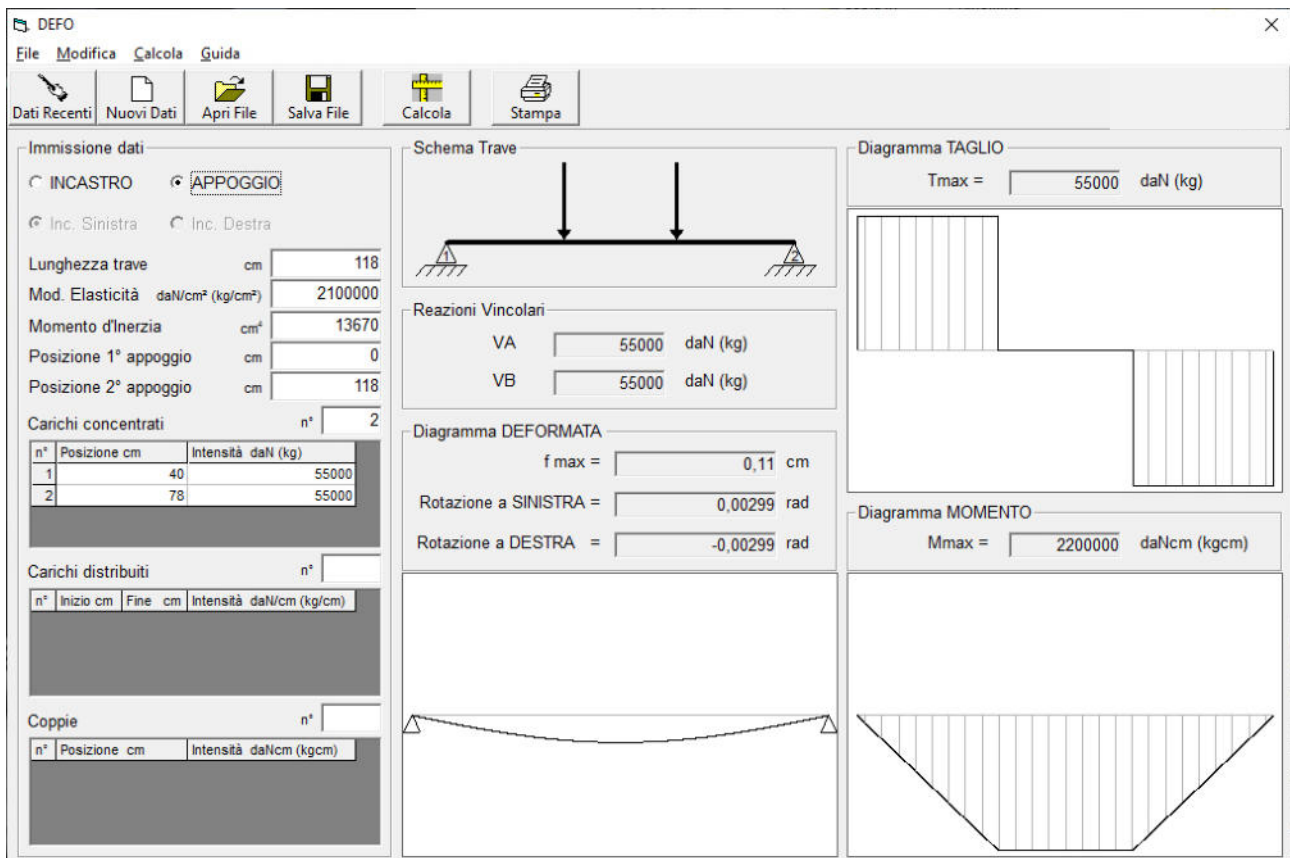


MASSE PARTECIPANTI

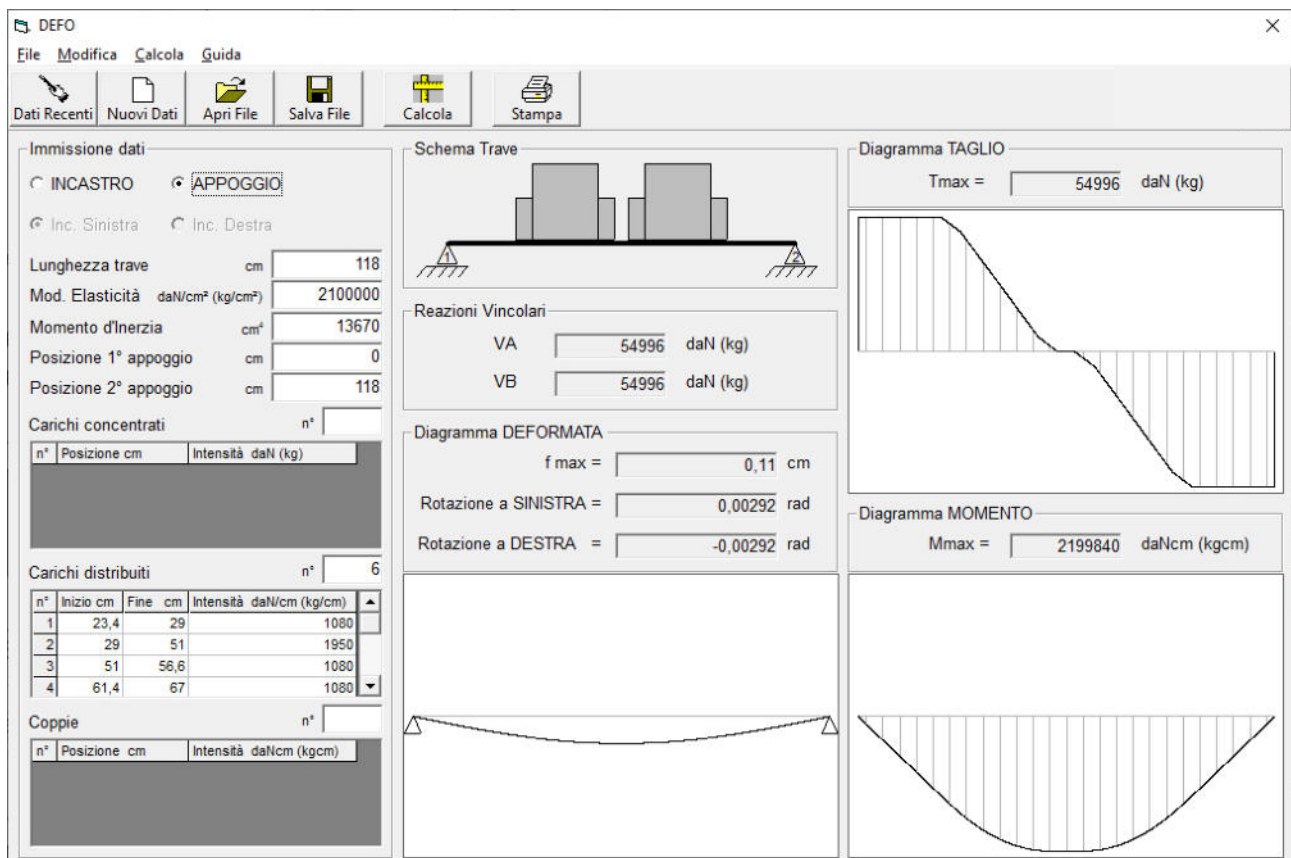
Modal Participating Mass Ratios									
File View Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted									
Modal Participating Mass Ratios									
	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
►	MODAL	Mode	1	0,93145	0	0,98	0	0	0,98
	MODAL	Mode	2	0,354299	0,99	0	0	0,99	0,98
	MODAL	Mode	3	0,330461	0	0	0	0,99	0,98
	MODAL	Mode	4	0,102581	0	0,01504	0	0,99	1
	MODAL	Mode	5	0,071579	0	0,0005097	0	0,99	1
	MODAL	Mode	6	0,044085	0	0	0	0,99	1
	MODAL	Mode	7	0,037909	0,01004	0	0	1	1
	MODAL	Mode	8	0,036447	0	0,000002654	0	1	1
	MODAL	Mode	9	0,025429	0	0	0	1	1
	MODAL	Mode	10	0,022184	0	0	0	1	1
	MODAL	Mode	11	0,015588	0,0000002772	0	0	1	1
	MODAL	Mode	12	0,012962	0	0,000009398	0	1	1

Trave obliqua HEA 280 S275 a quota 7500 mm

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



SLV



SLV con disposizione più dettagliata dei carichi

$$M_x = 2200000 \text{ kgcm}$$

T = 55000 kg (anima rinforzata con 2 piatti 190x8)

$$E_d / R_d = 0,86$$

attacco con 6 M20 classe 10.9 piatto spessore 15 mm

$$E_d / R_d = 0,78$$

spostamento trascurabile

Trave HEA 400 a quota 7500 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/cm² (kg/cm²) 2100000

Momento d'Inerzia cm⁴ 45070

Posizione 1° appoggio cm 0

Posizione 2° appoggio cm 280

Carichi concentrati n° 2

n°	Posizione cm	Intensità daN (kg)
1	68	40400
2	212	40400

Carichi distribuiti n°

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

Coppie n°

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

Schema Trave

Reazioni Vincolari

VA 40400 daN (kg)

VB 40400 daN (kg)

Diagramma DEFORMATA

f max = 0,26 cm

Rotazione a SINISTRA = 0,00308 rad

Rotazione a DESTRA = -0,00308 rad

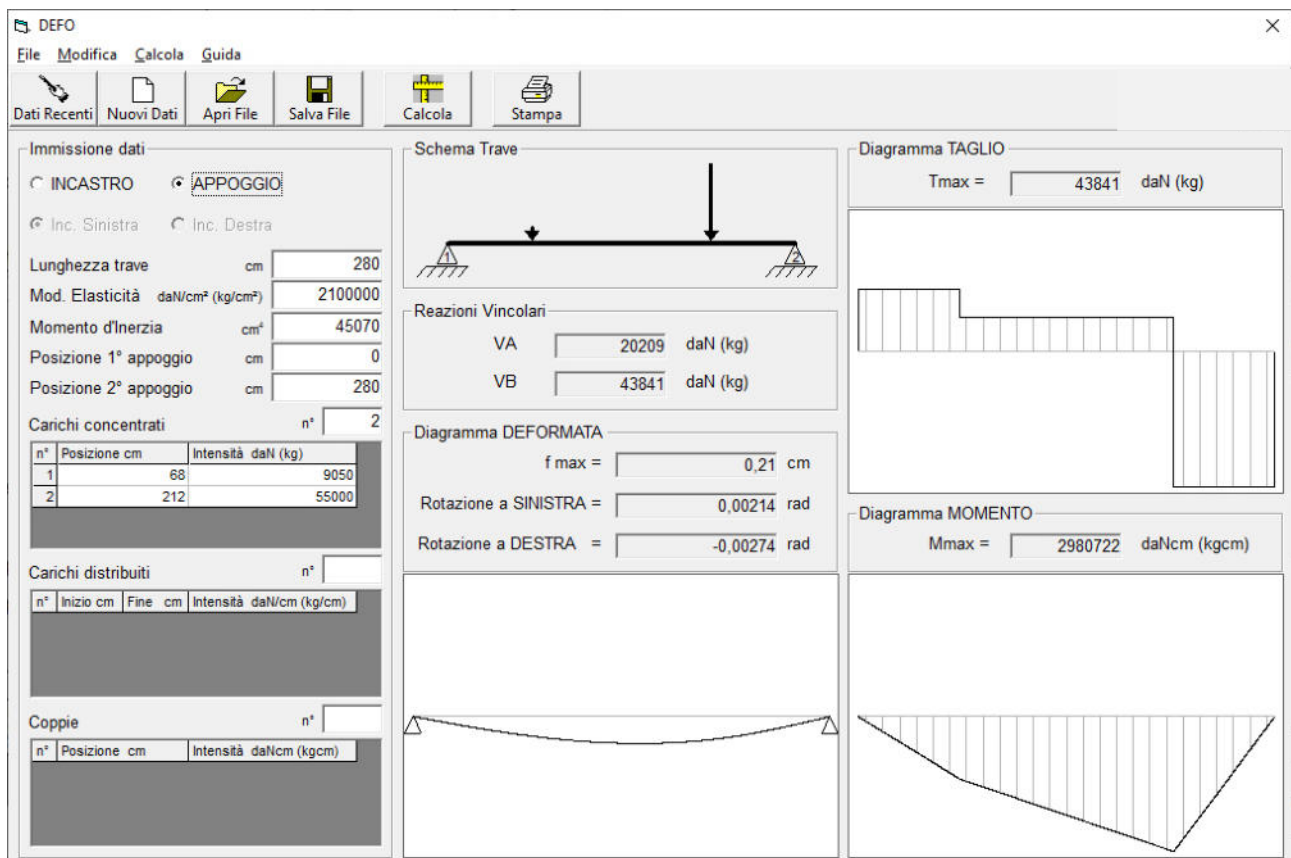
Diagramma TAGLIO

Tmax = 40400 daN (kg)

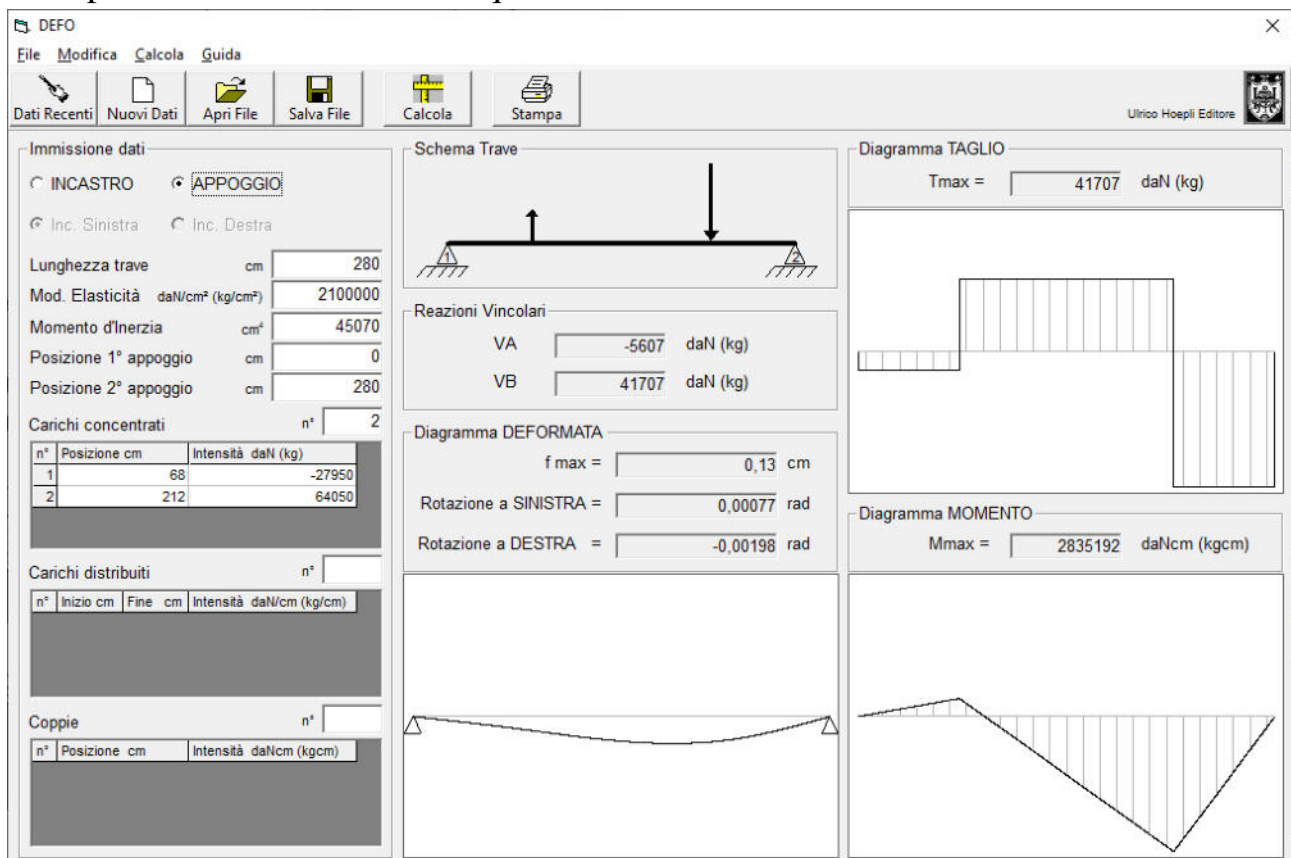
Diagramma MOMENTO

Mmax = 2747200 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

$$M_x = 2980000 \text{ kgcm}$$

$$T = 43800 \text{ kg}$$

$E_d / R_d = 0,87$ (le sollecitazioni restituite dal modello SAP2000 sono sovrastimate in quanto fanno agire i carichi in mezzeria)

attacco con 8 M20 classe 8.8 piatto spessore 20 mm
(o 4 M24 classe 8.8 quando appoggiato sulla colonna)

$$E_d / R_d = 0,58$$

spostamento trascurabile

Trave HEA220 S275

$$N = 46000 \text{ kg}$$

$$\text{resistenza } E_d / R_d = 0,27$$

$$\text{stabilità } E_d / R_d = 0,78$$

attacco con 4 M20 classe 8.8 piatto spessore 15 mm

$$E_d / R_d = 0,81$$

Puntone HEA220 S275

$N = 88000 \text{ kg}$

resistenza $E_d / R_d = 0,53$

stabilità $E_d / R_d = 0,83$

attacco con 4+4 M24 classe 8.8 2 piatti spessore 12 mm

$E_d / R_d = 0,81$

Irrigidimento a K HEA220 S275

$N = 97000 \text{ kg}$

resistenza $E_d / R_d = 0,58$

stabilità $E_d / R_d = 0,77$

attacco con 4+4 M24 classe 8.8 2 piatti spessore 12 mm

$E_d / R_d = 0,89$

Diagonale HEA180 S275

$N = 31600 \text{ kg}$

resistenza $E_d / R_d = 0,26$

stabilità $E_d / R_d = 0,64$

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

$E_d / R_d = 0,65$

Croce di sant'Andrea UPN180 S275 + rinforzo spessore 12 mm in corrispondenza dei fori

$N = 65000 \text{ kg}$

resistenza $E_d / R_d = 0,89$

attacco con 6 M20 classe 10.9 piatto spessore 20 mm

$E_d / R_d = 0,92$

Orditura tubolare 100x100x3 S235 a passo 1500 mm

Vento 78 kg/m^2

$M = 14800 \text{ kgcm}$

resistenza $E_d / R_d = 0,17$

attacco con 1 M12 classe 8.8 con angolare 70x6 S235

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

Orditura tubolare 100x100x4 S235 a passo 1500 mm

Vento 78 kg/m^2

$M = 69000 \text{ kgcm}$

resistenza $E_d / R_d = 0,58$

attacco con 1 M12 classe 8.8 con angolare 70x6 S235

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

Colonna HEA260 S275

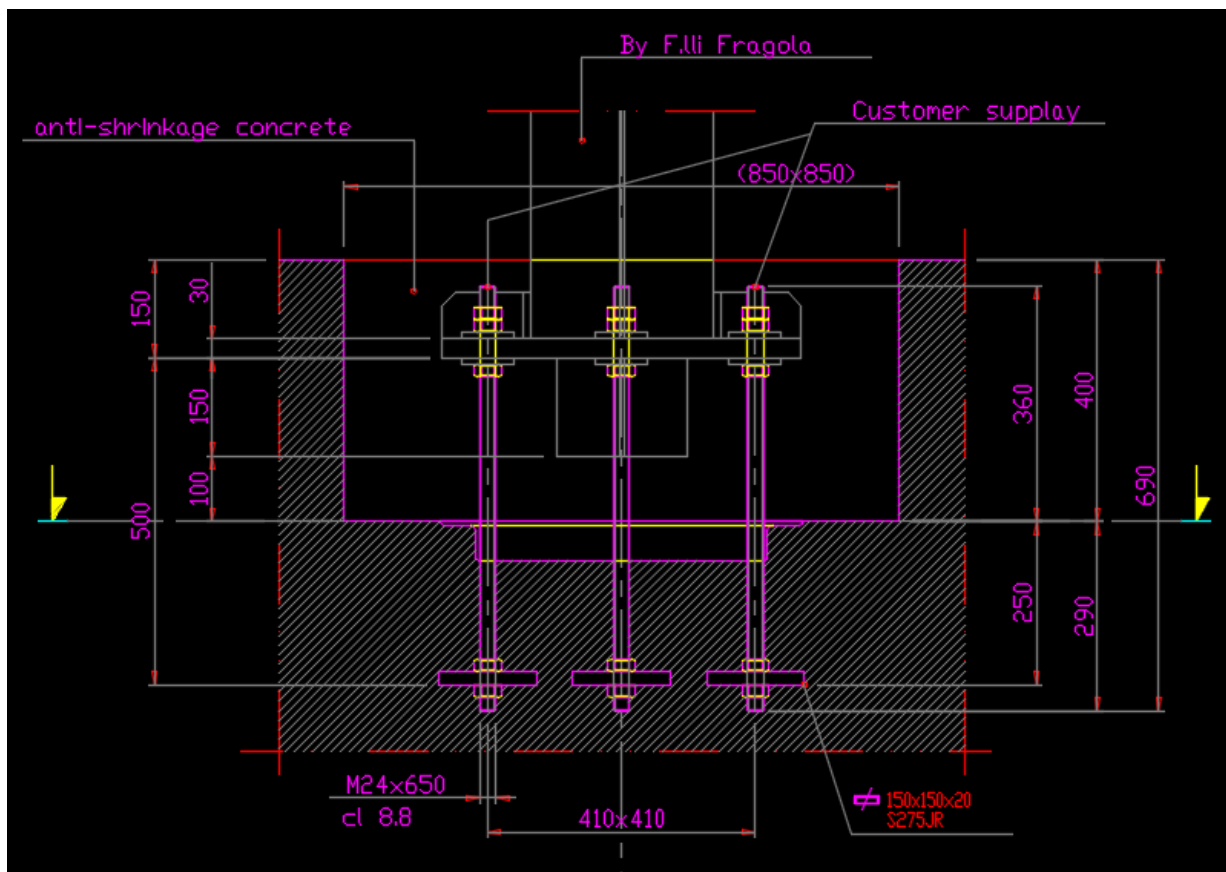
$$M_x = 321000 \text{ kgcm}$$

$$N = 98000 \text{ kg}$$

$$\text{resistenza } E_d / R_d = 0,56$$

$$\text{stabilità } E_d / R_d = 0,82$$

PIASTRA DI BASE S275 PER COLONNA HEA 260



$N = 107000 \text{ kg}$ (trazione)

$N = 198000 \text{ kg}$


NOTA

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


Tirafondi M24 classe 8.8


$E_d / R_d = 0,88$


Piastra di base



BARIC


File
Modifica
Calcola
Guida



Dati Recenti



Nuovi Dati


Apri File


Salva File


Profilario


Calcola

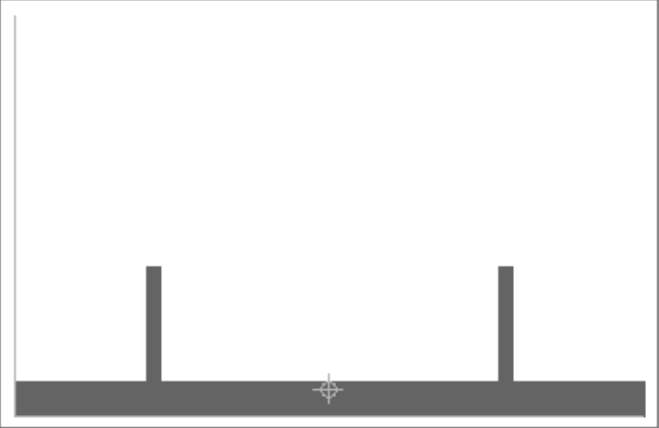

Star

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

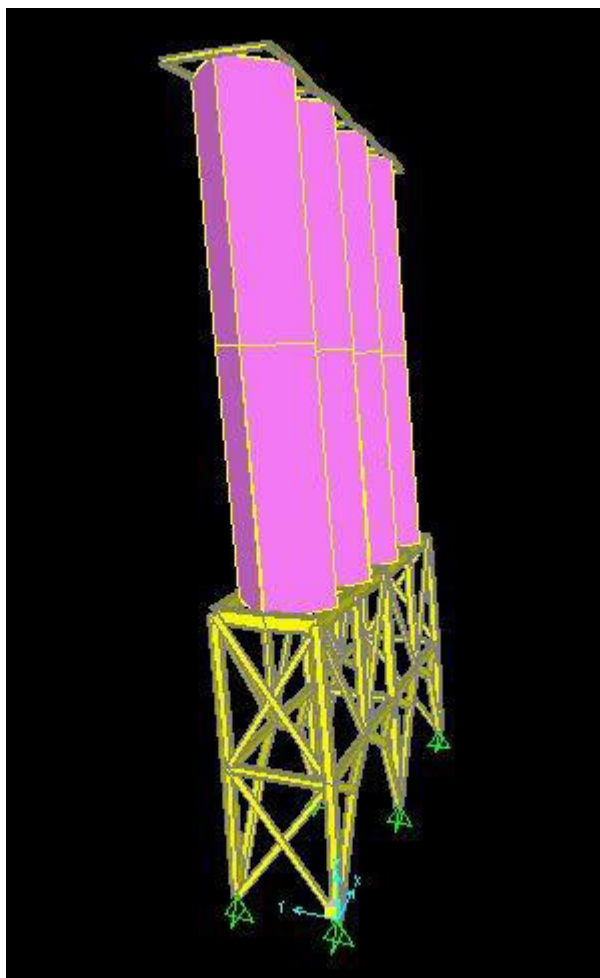


☒ Completo
☐ Poligoni +
☐ Poligoni -

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

$$E_d / R_d = 0,48$$

SPOSTAMENTI ORIZZONTALI



1,3 cm x 1,5 a 3500 mm

2,8 cm x 1,5 a 7500 mm

EFFETTI DELLE NON LINEARITÀ GEOMETRICHE (punto 7.3.1 NTC 2018)

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

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

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 θ è minore di 0,1;

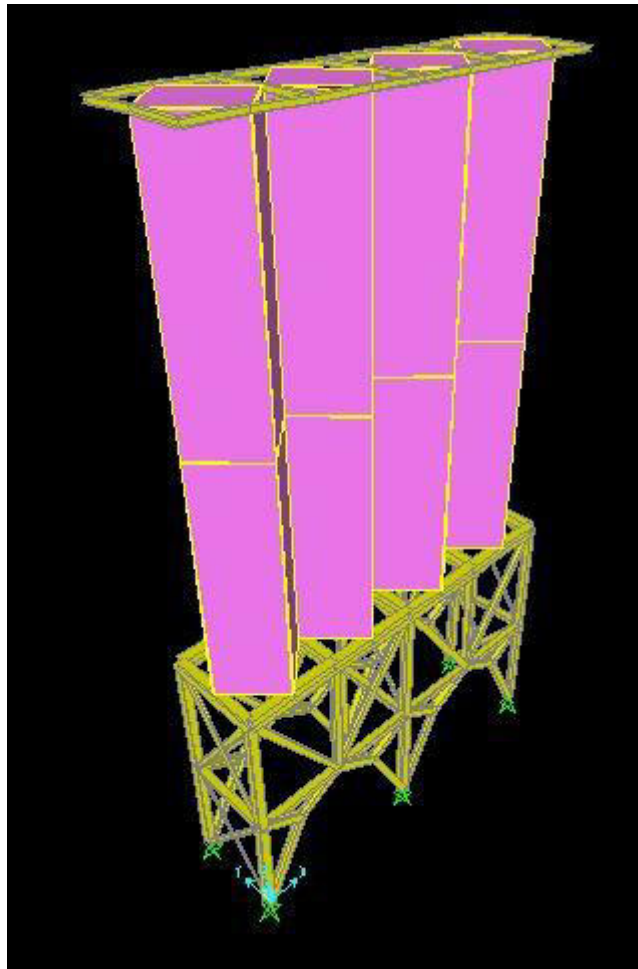
$$\theta_{3500} = 0,013$$

$$\theta_{7500} = 0,013$$

CARICHI SULLE FONDAZIONI

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

Silos carbonati



SLU

COMBSLVX1

COMBSLVY1

SLUVENTOX

SLUVENTOY

carichi verticali SLU

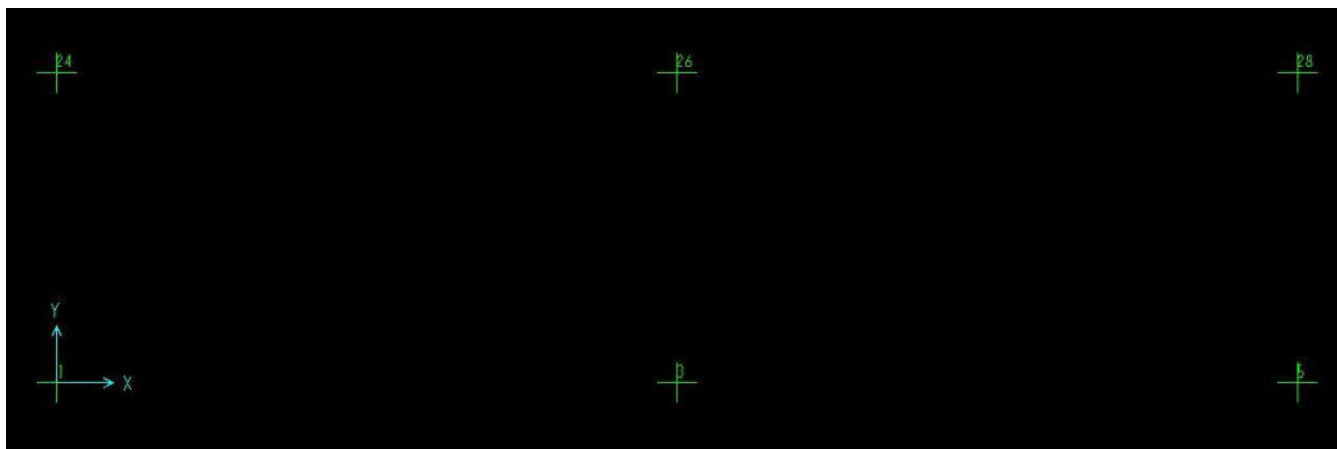
carichi verticali SLV + analisi dinamica sismica
dir X + 0,3 dir Y

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

carichi verticali + vento in direzione X SLU

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 4 sili per le nuove linee di “carbonati” 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.