

**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 8)**

**RELAZIONE TECNICA**

**SILOS MANGIMI**

*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 8.**

**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**



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

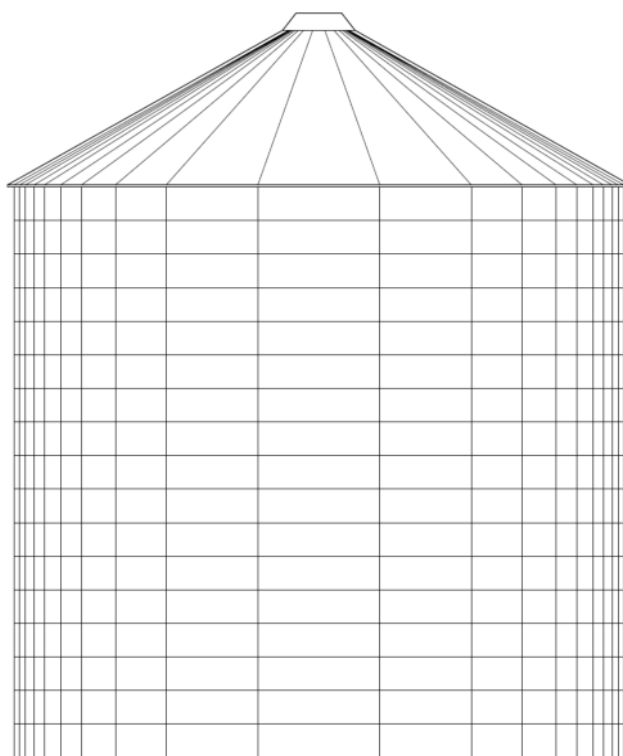


6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 1

*Comune di***BAGNARA DI ROMAGNA***Provincia di***RAVENNA***Cliente***EUROVO s.r.l.***Titolo***SILOS DI STOCCAGGIO TM 5.56/18**

Technical Dept.		Quality Dept.		Direction		Vers.
REDATTO		CONTROLLATO		APPROVATO		05



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 2

Contenuti:            RELAZIONE TECNICA GENERALE E DI CALCOLO  
                            TABULATI E RISULTATI DI CALCOLO

Appendice:          Normalino Montaggio rete antipassero e piastrina di fissaggio tetto  
                            Normalino Cupolino silos  
                            Normalino Porta silos  
                            Normalino Montaggio montanti

Allegati:             6042-MS-01 Struttura di sostegno  
                            6042-MS-02 Composizione silos 5.56/18  
                            Dettagli componenti silos



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 3

## RELAZIONE TECNICA E CALCOLO STATICO

Ai sensi dell'art.4 della Legge 5-11-1971 n°1086 e Legge del 02-02-1974 n°64  
Dpr 6-6-2001 n°380, legge 27-7-2004 n°186. D.M. 17-01-2018  
(Normative Tecniche per le Costruzioni)

## SILOS DI STOCCAGGIO

*Cliente*

**EUROVO s.r.l.**

**VIA MENSA, 3**

**SANTA MARIA IN FABRIAGO**

**RAVENA**

*Località*

**VIA TRUSPATELLO**

*di installazione*

**BAGNARA DI ROMAGNA**

**RAVENNA**

il Calcolatore



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 4

## Legenda

simbolo	unità di misura	descrizione
---------	-----------------	-------------

### Dimensioni

R	m	raggio del silos
D	m	diametro del silos ( = 2 R )
A	m <sup>2</sup>	sezione del silos ( = $\pi R^2$ )
u	m	circonferenza interna del silos ( = $\pi D$ )
a	m	eccentricità dello scarico
t	mm	spessore delle pareti
z	m	distanza dell'altezza massima di riempimento alla zona di interesse
h	m	altezza massima di riempimento
$\alpha$	°	angolo della tramoggia
$\delta$	°	angolo del tetto

### Pressioni

Ph	N/m <sup>2</sup>	pressione orizzontale
Pv	N/m <sup>2</sup>	pressione verticale
Pn	N/m <sup>2</sup>	pressione normale alla parte inclinata della tramoggia
Pw	N/m <sup>2</sup>	pressione di attrito sulla parete
Pb	N/m <sup>2</sup>	pressione verticale sul fondo del cilindro
P <sub>L</sub>	N/m <sup>2</sup>	pressione dell'aria interna

### Indici

e	svuotamento (scarico)
f	riempimento

### Coefficienti

$\gamma$	N/m <sup>3</sup>	densità del materiale (cereale) insilato
$\lambda$		rapporto delle pressioni (Ph / Pv)
$\mu$		coefficiente di attrito della parete (Pw / Ph)
$\beta$		coefficiente del materiale
e <sub>h</sub>		coefficiente di sovrappressione (usato per valutare Ph in fase di scarico: Phe = e <sub>h</sub> Phf )

### Nota

$\gamma, \lambda, e_h$	coeff. dipendenti dal materiale
$\mu$	coeff. dipendente dal materiale e dalla ruvidità delle pareti



## 1. Descrizione generale dell'opera

La relazione tecnico-costruttiva sviluppata di seguito si riferisce ai silos cilindrici in lamiera ondulata zincata per il contenimento di cereali in granuli con densità apparente massima di 0.815 t/mc (es. mais – grano – ecc.).

Con prodotti di maggior densità si dovrà ridurre in proporzione il volume di riempimento a disposizione.

È vietato introdurre prodotti farinosi e con difficoltà di scorrimento.

Il silo verticale cilindrico oggetto del calcolo è realizzato unendo fra loro, verticalmente ed orizzontalmente, dei pannelli in lamiera ondulata con bulloni ad alta resistenza ed irrigidendo il cilindro così formato con montanti di profilo a OMEGA ogni 1455 mm oppure 970 mm secondo quanto richiesto.

Il cilindro è sormontato da un tetto conico in lamiera grecata con inclinazione di 30°

La struttura è fissata al basamento in calcestruzzo armato con:

- ☐ Tasselli meccanici ad espansione.
- ☐ Tirafondo a gancio

Il sistema di fissaggio adottato sarà evidenziato nella relazione di calcolo e nel disegno delle opere civili.

In alcuni impianti, evidenziati con disegno, sul tetto del silo appoggia una passerella di manutenzione con larghezza di 1,00-1,30 m il cui accesso è consentito a due persone alla volta.

Il silo è eretto iniziando dal tetto; gli spicchi in lamiera zincata grecata sono uniti tra loro con viti, il tetto una volta chiuso è ancorato al mantello del silo con piastra di fissaggio di 3.00 mm di spessore e con n. 3 bulloni M8/8.8 cad.

Tutte le giunzioni ed i fori tranciati sono opportunamente sigillati per impedire il passaggio d'acqua piovana.



## RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 6

Il mantello è formato da anelli di lamiera ondulata bullonati orizzontalmente e verticalmente in posizione alternata, con bulloni d'acciaio M8 o M10 classe 8.8.

Il silos è calcolato per resistere agli sforzi orizzontali del cereale.

Tutti i carichi verticali sono assorbiti dai montanti circolari addossati alle lamiere ed uniti alle stesse.

Le lamiere ed i montanti componenti il mantello hanno spessori degradanti dal basso verso l'alto e sono evidenziati nel foglio relativo ai calcoli statici.



## 2. Materiali utilizzati nella composizione del silos

### 2.1 Tetto

Spicchio del tetto:

lamiera grecata in acciaio S250GD Z600 UNI EN 10346 zincata in continuo con metodo SENDZIMIR, spessore 1.00 mm.

Bulloneria per unioni e fissaggi:

vite TE M8 in acciaio 8.8 secondo UNI EN ISO 898-1;

rosette piane in acciaio C 50 secondo UNI EN 10083-1:1993

dadi esagonali in acciaio 6S secondo UNI EN ISO 898-2.

Protezione alla corrosione:

Rivestimento Zincatura elettrolitica.

### 2.2 Cilindro

Lamiere ondulate e calandrate a freddo in acciaio con rivestimento zincato in continuo "Sendzimir"

S350 GD Z600 UNI EN 10346

Montanti verticali in lamiera zincata con rivestimento zincato in continuo "Sendzimir"

S350 GD Z600 UNI EN 10346

Bulloneria per unioni e fissaggi:

vite con rosetta sotto testa "RST" M8 in acciaio cl. 8.8 secondo UNI EN ISO 898-1;

vite a testa esagonale "TE" M10 in acciaio cl. 8.8 secondo UNI EN ISO 898-1;

rosette piane in acciaio C 50 secondo UNI EN 10083-1:1993

dadi esagonali in acciaio 6S secondo UNI EN ISO 898-2.

Protezione alla corrosione:

Rivestimento Zincatura elettrolitica.



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 8

## 3. Caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati

### Virole

Acciaio S350GD UNI EN 10346:2009

$\sigma_{yk}$	3.5 t/cm <sup>2</sup>
$\gamma_{M0}$	1.05
$\sigma_{yd}$	3.33 t/cm <sup>2</sup>

### Montanti

Acciaio S350GD UNI EN 10346:2009

$\sigma_{yk}$	3.5 t/cm <sup>2</sup>
$\gamma_{M0}$	1.05
$\sigma_{yd}$	3.33 t/cm <sup>2</sup>

### Bullonatura

diámetro	8.0 mm	10.0 mm
S resistente	36.6 mm <sup>2</sup>	57.3 mm <sup>2</sup>
foro	9.0 mm	11.0 mm

classe viti	8.8 ISO 898-1
classe dadi	6S ISO 898-2

$\tau_{b,Rd}$	4.80 t/cm <sup>2</sup>
$\gamma_{M2}$	1.25
$\tau_{b,Rd}$	3.84 t/cm <sup>2</sup>



## 4. Normative tecniche e di calcolo

- Relazione ai sensi dell'art. 4 – Legge 5-11-1971 n° 1086;
- D.M. 17.1.2018 (NTC) Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni: Norme tecniche che disciplinano la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo;
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7, Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni;
- UNI EN 1990 versione in vigore alla data della presente.
- UNI EN 1991 versione in vigore alla data della presente.
- UNI EN 1993 versione in vigore alla data della presente.
- UNI EN 1998 versione in vigore alla data della presente.
- Azioni interne sui silos: UNI EN 1991-4:2006 (EC 1 parte 4)
- Fabbricazione secondo UNI EN 1090-2:2018 classe di rischio EXC2
- Tolleranze secondo UNI EN 1090-2:2018 classe 1 (Appendice D.2)



## 5. Criteri generali e analisi dei carichi

Il calcolo delle azioni interne dovute all'insilato in fase di riempimento e di svuotamento del silo è effettuato secondo la normativa UNI EN 1991-4:2006 (EC 1 parte 4), che costituisce una normativa di comprovata validità nel settore.

Queste sollecitazioni vengono considerate per il dimensionamento e la determinazione delle virole (lamiere che costituiscono il fasciame) e dei montanti (colonne verticali di irrigidimento).

Nella modellazione di calcolo vengono alla fine determinati i carichi agenti alla base costituiti da:

- Il peso proprio dell'insilato con peso specifico fornito dalla normativa in uso (UNI EN 1991-4:2006)
- Il peso proprio della struttura metallica (cilindro, tetto e accessori)
- Carico neve
- Momento del vento (che provoca una trazione o compressione aggiuntiva sul singolo montante la cui ripartizione non è determinabile, in quanto la direzione di provenienza è sconosciuta. Ai fini dei carichi sulle fondazioni viene considerato il valore massimo prodotto).
- Momento del sisma (che provoca una trazione o compressione aggiuntiva sul singolo montante la cui ripartizione non è determinabile, in quanto la direzione di provenienza è sconosciuta. Ai fini dei carichi sulle fondazioni viene considerato il valore massimo prodotto).

Per effetto dell'attrito del cereale sulle pareti dei silos il carico del cereale non giunge pienamente in platea ma parte di esso, tramite il mantello del cilindro, viene trasmesso ai montanti.

In condizioni ideali, trascurando i coefficienti determinati dalla normativa, l'intero peso del cereale sarà suddiviso tra la quota che arriva in platea  $P_v$  e la quota che per attrito viene scaricata dai montanti  $P_w$  (vedi figura 3.1). La prima è una pressione distribuita, mentre la seconda sono dei vettori forza in corrispondenza dei singoli montanti.

La normativa prevede dei coefficienti maggiorativi di questi carichi, in particolar modo per la fase di scarico, con aumenti di circa il 20% a seconda della misura dei silos, e prevede un coefficiente cautelativo per determinare la pressione alla base.

Oltre a quanto sopra vanno aggiunti i carichi accidentali prodotti da vento, sisma e neve che, per quanto sopra espresso, vengono considerati per il loro valore massimo e tali carichi vanno ad aggiungersi al vettore forza sui montanti precedentemente menzionato, come pure i pesi propri della struttura.

Nel seguito della relazione saranno evidenziate le combinazioni dei carichi utilizzate per il dimensionamento dei diversi elementi strutturali.



## RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 11

I coefficienti di combinazione utilizzati sono quelli della serie STR secondo D.M. 17.01.2018 (NTC) in quanto vengono dimensionati gli elementi strutturali che compongono il silos. Gli elementi di fondazione non vengono considerati nella nostra relazione, poiché il calcolo è limitato alla struttura metallica del silos e agli sforzi che vengono trasmessi al suolo.

La classe di duttilità considerata per la struttura è alta (CD "A"), viste le proprietà del materiale impiegato e della possibilità della struttura di plasticizzare (unioni bullonate presenti su viti e montanti).

Inoltre la struttura del silos presenta regolarità in pianta e in altezza, determinando un Kr unitario.



## 5.1 Carico dovuto al cereale insilato

### 5.1.1. Parametri caratteristici del silos secondo UNI EN 1991-4:2006

La norma europea, recepita in Italia dalla recente UNI EN 1991-4:2006, indica alcuni parametri significativi che dipendono dalla geometria del silos e dalle caratteristiche del cereale insilato sulla base dei quali viene condotto il calcolo delle azioni interne dovute al prodotto.

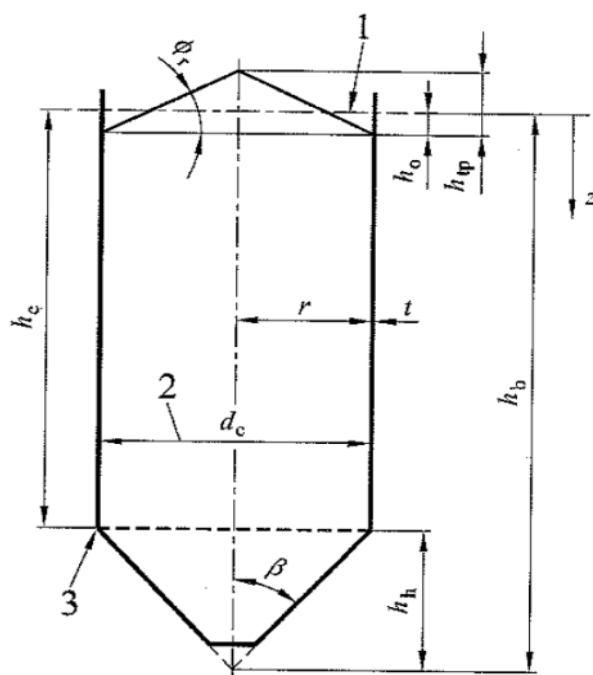


Fig. 1 Caratteristiche geometriche del silos, § UNI EN 1991-4:2006 1.1.2 figura 1.1

Definiamo:

Diametro silos	D	5.56 m
Sezione del silos	A	24.26 m <sup>2</sup>
Circonferenza del silos	U	17.46 m
Eccentricità dello scarico	a	0.00 m
Altezza cilindro		14.9 m
Altezza tetto		1.6 m
Altezza totale		16.6 m
Altezza equivalente prodotto	$h_c$	15.3 m
Volume geometrico		369.1 m <sup>3</sup>
Angolo di riposo del cereale	$\phi_R$	34 °

I parametri geometrici usati per il calcolo delle azioni interne del silos sono:

Rapporto A/U	A/U	1.4 m
Rapporto $h_c/d_c$	$h_c/d_c$	2.8



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 13

La norma fornisce una classificazione dei silos basata sul parametro  $h_c/d_c$ .

Distinguiamo tra:

- a) *Retaining silos*: silos con rapporto  $h_c/d_c \leq 0.40$
- b) *Squat silos*: silos con rapporto  $0.40 < h_c/d_c \leq 1.00$
- c) *Intermediate slenderness silos*: silos con rapporto  $1.00 < h_c/d_c < 2.00$
- d) *Slender silos*: silos con rapporto  $h_c/d_c \geq 1.00$

Il silos oggetto di studio presenta rapporto  $h_c/d_c = 2.75$ , si tratta quindi di silos con rapporto di snellezza "slender". Eseguiamo quindi il calcolo delle azioni interne secondo UNI EN 1991-4:2006.

## 5.1.2. Caratteristiche del cereale insilato






prospetto E.1 Proprietà dei materiali particellari (Continua)												
Tipologia del materiale particellare <sup>d) e)</sup>	Peso dell'unità di volume <sup>b)</sup>		Angolo di riposo	Angolo di attrito interno		Coefficiente di spinta laterale		Coefficiente <sup>c)</sup> di attrito con la parete $\mu$ ( $\mu = \tan \phi_w$ )				Coefficiente di riferimento del carico locale ripartito $C_{op}$
	$\gamma_1$	$\gamma_u$	$\phi_r$	$\phi_{im}$	$\phi_i$	$K_m$	$a_K$	Tipo di parete D1	Tipo di parete D2	Tipo di parete D3	$a_{\mu}$	
	Inferiore	Superiore		Medio	Coefficiente	Medio	Coefficiente	Medio	Medio	Medio	Coefficiente	
	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Gradi	Gradi								
Materiale standard <sup>a)</sup>	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
Mais 	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9
Fosfato	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5
Patate	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5
Sabbia	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4
Clinker di scorie metalliche	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6
Baccelli di soia	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5
Zucchero 	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4
Pellets di barbabietola da zucchero	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5
Grano 	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5
Nota Quando questo prospetto non contiene il materiale da immagazzinare, si raccomanda di effettuare prove.												
a)	Per situazioni in cui è difficile giustificare le spese delle prove, poichè le conseguenze di utilizzare un ampio intervallo delle proprietà per il progetto sono minori, possono essere utilizzate le proprietà del "materiale predefinito". Queste proprietà possono essere adeguate per piccole installazioni. Comunque, esse condurranno ad un progetto molto antieconomico per grandi silos, per cui si raccomanda di preferire le prove.											
b)	Il peso dell'unità di volume del materiale $\gamma_u$ è il valore caratteristico superiore, da utilizzare per tutti i calcoli delle azioni. Il valore caratteristico inferiore $\gamma_1$ è fornito nel prospetto E.1 per valutare il volume richiesto di un silo che avrà una ben definita capacità.											
c)	L'attrito efficace con la Parete di Tipo D4 (parete ondulata) può essere valutato utilizzando il metodo specificato nel punto D.2 dell'appendice D.											
d)	I materiali che sono inclini ad esplosione sono identificati in questo prospetto dal simbolo  .											
e)	I materiali che sono inclini al processo di incastro meccanico sono identificati dal simbolo  .											

Fig. 2 Proprietà dei materiali particellari secondo allegato E alla UNI EN 1991-4:2006



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 14

I valori riportati nella tabella precedente rappresentano i valori medi delle relative proprietà. Ai fini del calcolo delle azioni interne dovute al cereale insilato, è necessario considerare i valori caratteristici di ciascuna proprietà come indicato nella tabella seguente.

prospetto 3.1 Valori delle proprietà da utilizzare per diverse valutazioni dei carichi sulla parete

Scopo:	Valore caratteristico da adottare		
	Coefficiente di attrito con la parete $\mu$	Coefficiente di spinta laterale $K$	Angolo di attrito interno $\phi_i$
Per la parete verticale			
Massima pressione ortogonale alla parete verticale	Inferiore	Superiore	Inferiore
Massima tensione tangenziale dovuta all'attrito sulla parete verticale	Superiore	Superiore	Inferiore
Massimo carico verticale sulla tramoggia o sul fondo del silo	Inferiore	Superiore	Superiore

Fig. 3 Valore caratteristico da adottare per ciascuna caratteristica dell'insilato in funzione dell'azione da determinare.

Dove:

- Valore caratteristico superiore di  $K = a_k K_m$ ;
- Valore caratteristico inferiore di  $K = K_m / a_k$ ;
- Valore caratteristico superiore di  $\mu = a_\mu \mu_m$ ;
- Valore caratteristico inferiore di  $\mu = \mu_m / a_\mu$ ;
- Valore caratteristico superiore di  $\phi_i = a_\phi \phi_{im}$ ;
- Valore caratteristico inferiore di  $\phi_i = \phi_{im} / a_\phi$ ;

Le pareti dei silos sono realizzate assemblando lamiere ondulate identificate dalla normativa come di categoria D.4. E' necessario pertanto determinare il valore  $\mu_{eff}$  del coefficiente di attrito del cereale sulle pareti come segue:

$$\mu_{eff} = (1 - a_w) \tan \phi_i + a_w \mu_w \quad 0.5379$$

Dove:

- $a_w = 0.20$
- $\phi_i = 30.0^\circ$
- $\mu_w = 0.38$

Il valore di  $\mu_{eff}$  risulta pari a 0.544. Possiamo quindi determinare i valori superiori ed inferiori di tutti i parametri che rientrano nei calcoli:

	VALORE SUPERIORE	VALORE INFERIORE
Coefficiente di spinta laterale $K$	0.599	0.486
Coefficiente di attrito con la parete $\mu$	0.624	0.464
Angolo di attrito interno $\phi_i$	33.6	26.79



## 5.1.3. Spinta in direzione orizzontale in fase di carico $p_{hf}$

Il carico dovuto al riempimento sulle pareti verticali, in direzione radiale, si compone di una parte simmetrica ed una componente locale asimmetrica.

Il carico simmetrico in direzione orizzontale viene valutato come segue.

$$p_{hf} = p_{h0} Y_R$$

Dove:

$$p_{h0} = \gamma K Z_0 = \gamma \frac{1}{\mu} \frac{A}{U}$$

$$Z_0 = \frac{1}{K\mu} \frac{A}{U}$$

$$Y_R = 1 - e^{-z/z_0}$$

La pressione locale ripartita nella fase di carico viene utilizzata per rappresentare eventuali asimmetrie accidentali del carico.

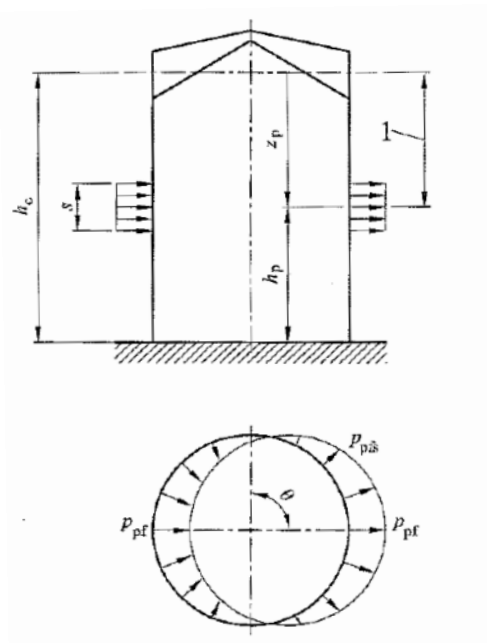


Fig. 4 Carico locale ripartito in fase di carico

Il carico locale ripartito si ipotizza poter agire ad una quota qualsiasi della parete del silos.

I valori delle grandezze indicate in Fig. 4 sono calcolati mediante:

$$p_{pf} = C_{pf} p_{hf}$$

Dove:

$$C_{pf} = 0.21 C_{op} [1 + 2E^2] \{1 - e^{[-1.5(h_c/d_c - 1)]}\} = 0.1401$$

$$E = 2e_f/d_c$$



Con  $e_f$  = massima eccentricità della superficie dell'accumulo durante il riempimento.

Si noti che nel calcolo dei parametri di cui sopra è necessario osservare quanto previsto al paragrafo 5.1.2, in particolare per quanto riguarda l'uso dei valori caratteristici superiore od inferiore ove appropriato.

## 5.1.4. Spinta in direzione verticale in fase di carico $p_{wf}$

Il carico dovuto al riempimento sulle pareti verticali, in direzione verticale, viene valutato come segue.

$$p_{wf} = \mu p_{hf}$$

Si noti che nel calcolo dei parametri di cui sopra è necessario osservare quanto previsto al paragrafo 5.1.2, in particolare per quanto riguarda l'uso dei valori caratteristici superiore od inferiore ove appropriato.

## 5.1.5. Pressione sul fondo in fase di carico $p_{vf}$

La pressione sul fondo dei silos, alla generica quota  $z$ , può essere determinato mediante la seguente relazione:

$$p_{vf} = \frac{p_{h0}}{K} Y_R$$

Con  $P_{h0}$  definito in 5.1.3. Si noti che nel calcolo dei parametri di cui sopra è necessario osservare quanto previsto al paragrafo 5.1.2, in particolare per quanto riguarda l'uso dei valori caratteristici superiore od inferiore ove appropriato.

## 5.1.6. Spinta in direzione orizzontale in fase di scarico $p_{he}$

I carichi sulle pareti dei silos risultano amplificati durante la fase di scarico del prodotto a causa di fenomeni dinamici di natura transitoria. Per tenere debitamente conto di tali effetti, vengono definiti dei coefficienti di amplificazione del carico simmetrico in fase di carico e dei sovraccarichi locali ripartiti. Il carico simmetrico in direzione radiale durante lo scarico dei silos viene determinato mediante:

$$p_{he} = C_h p_{hf}$$

Dove:

$$C_h = 1.10$$

La pressione locale ripartita dovuta allo scarico viene utilizzata per rappresentare eventuali asimmetrie accidentali del carico.



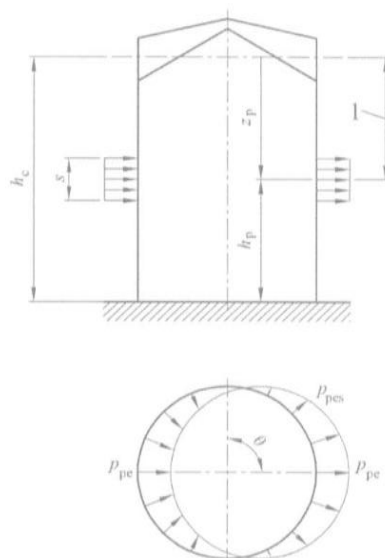


Fig. 5 Carico locale ripartito dovuto allo scarico

Il carico locale ripartito si ipotizza poter agire ad una quota qualsiasi della parete del silos.

I valori delle grandezze indicate in Fig. 8 sono calcolati mediante:

$$p_{pe} = C_{pe} p_{he}$$

Dove per  $h_c/d_c > 1.2$  :

$$C_{pe} = 0.42 C_{op} [1 + 2E^2] \{1 - e^{[-1.5(h_c/d_c - 1)]}\} = 0.2802$$

$$E = 2e/d_c$$

Con  $e = \max(e_f; e_0)$  massimo valore tra l'eccentricità della superficie dell'accumulo durante il riempimento e l'eccentricità di scarico.

## 5.1.7. Spinta in direzione verticale in fase di scarico $p_{we}$

$$p_{we} = C_w p_{wf}$$

Dove:

$$C_w = 1.15$$

## 5.1.8. Pressione sul fondo in fase di scarico $p_{ve}$

La pressione sul fondo in fase di scarico viene assunta uguale a quella in fase di carico, vedi par.

5.1.5, come prescritto nella norma UNI EN 1991-4:2006 § 6.1.2.



## 5.1.9. Incremento di pressione uniforme in sostituzione dei carichi locali ripartiti dovuti al riempimento e allo scarico

La normativa consente di considerare l'aumento non uniforme localizzato della pressione sulle pareti dei silos nella fase di carico e di scarico, definiti rispettivamente in 5.1.3 e in 5.1.6, mediante un aumento percentuale della pressione uniforme.

Per silos circolari a pareti sottili, le pressioni risultanti totali simmetriche orizzontali dovute al riempimento ed allo svuotamento ( $p_{hf,u}$  e  $p_{he,u}$ ) e la tensione uniforme dovuta all'attrito con le pareti in fase di riempimento ( $p_{wf,u}$ ), ed in fase di svuotamento ( $p_{we,u}$ ) possono essere determinate mediante:

$$p_{hf,u} = p_{hf}(1 + 0,5C_{pf})$$

$$p_{wf,u} = p_{wf}(1 + C_{pf})$$

$$p_{he,u} = p_{he}(1 + 0,5C_{pe})$$

$$p_{we,u} = p_{we}(1 + C_{pe})$$

Il dimensionamento degli elementi strutturali componenti il silos verrà condotto in riferimento alle pressioni totali di cui sopra, cui verranno sommati gli effetti delle azioni di vento, neve sisma e carichi di esercizio secondo le combinaizioni dei carichi illustrate nel seguito.



## 5.2 Azione dovuta al carico della neve $Q_2$

Il carico dovuto all'azione della neve sul silos è stato valutato in accordo con il DM 17 Gennaio 2018 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" considerando la località di installazione dell'impianto.

Località di installazione: BAGNARA DI ROMAGNA

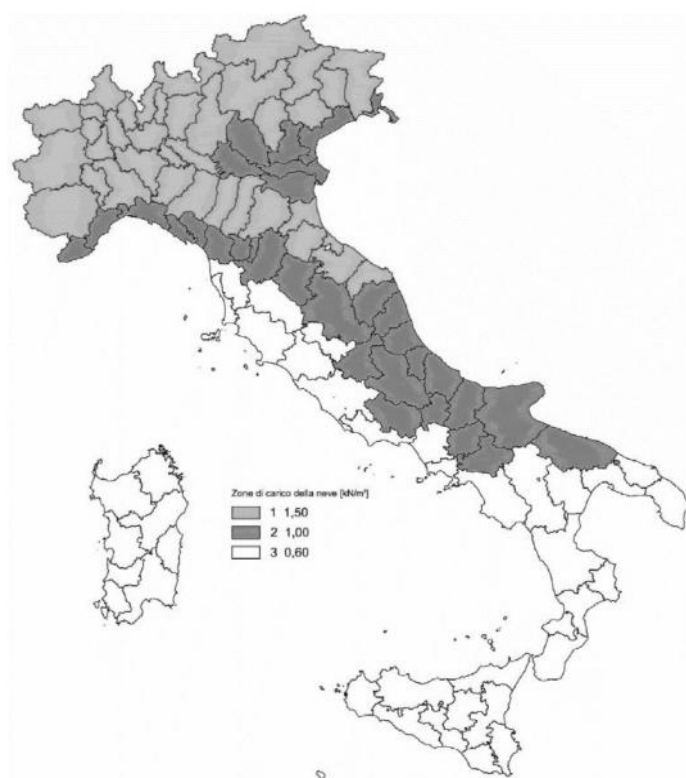


Fig. 6 Zone di carico da neve secondo NTC 2018

Zona secondo NTC 2018: Zona I - Mediterranea

Carico neve al suolo:  $q_{sk} = 1.5$

Coefficiente di esposizione:  $C_E = 1.0$

Coefficiente termico:  $C_t = 1.0$

Coefficiente di forma:  $\mu_1 = 0.8$  ( $\alpha = 30^\circ$ )

Il carico dovuto al peso della neve è pari a:

$$Q_2 = q_{sk} \times C_E \times C_t \times \mu_1 = 1.2 \text{ kN/m}^2$$

Si considera a favore di sicurezza l'azione dovuta ad un carico di  $150 \text{ kg/m}^2$



## 5.3 Azione dovuta alla spinta del vento $Q_3$

Il calcolo dell'azione del vento è stato eseguito seguendo quanto prescritto nel DM 17 Gennaio 2018 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" considerando la località di installazione dell'impianto.

Località di installazione: BAGNARA DI ROMAGNA

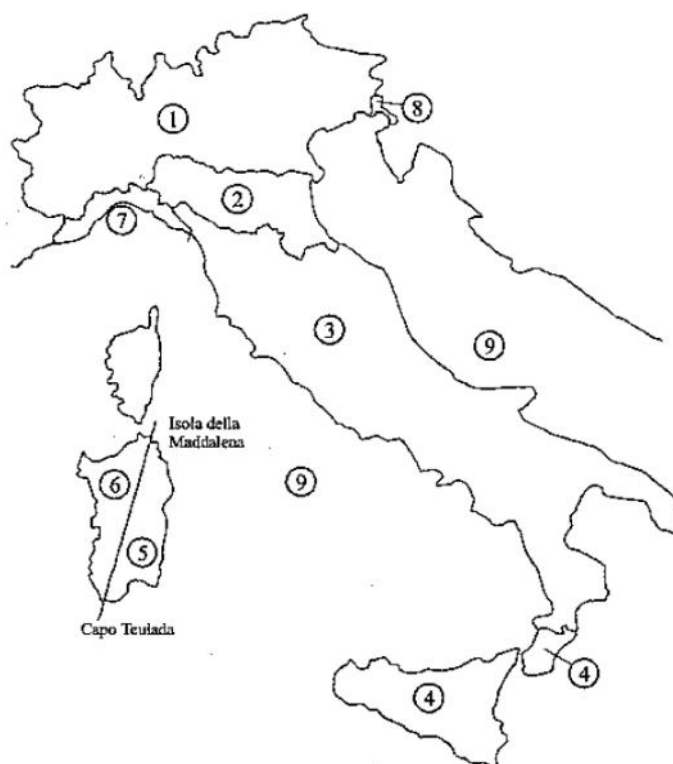


Fig. 7 Zone di carico da neve secondo NTC 2018

Zona secondo NTC 2018: 2

Classe di rugosità: D

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innestate o ghiacciate, mare, laghi,...)

Categoria di esposizione: II

Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
II	0.19	0.05	4.00



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 21

Pressione del vento:  $q = q_b c_e c_p c_d$

Pressione di riferimento:  $q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = 0.5 \times 1.25 \times 25^2 = 390.63 \text{ N/m}^2$

Coefficiente di esposizione:  $c_e$

Il coefficiente di esposizione varia in funzione dell'altezza della struttura, come si evince dalla figura seguente, estratta dalla norma.

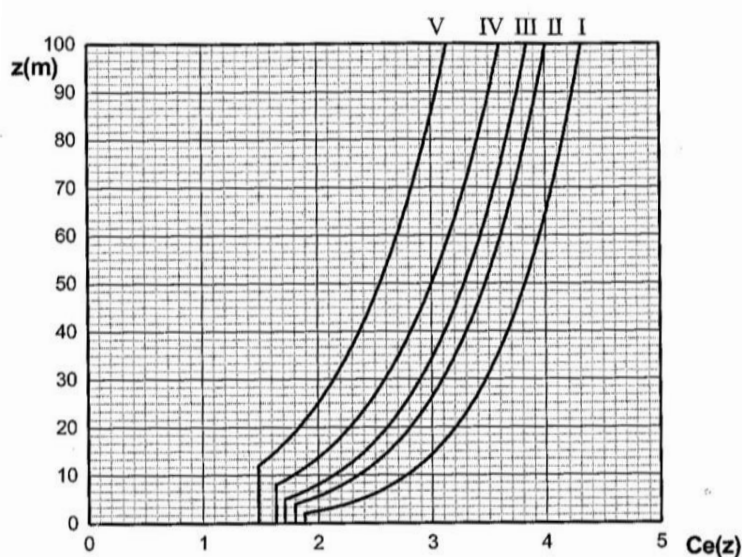


Fig. 8 Andamento del coefficiente di esposizione in funzione dell'altezza (z)

$$c_{e(z)} = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_{e(z)} = c_{e(z_{\min})} \quad \text{per } z < z_{\min}$$

$$c_{e,\max} = c_e(z=14.95) = 2.77$$



Coefficiente di forma:  $c_p$

Distinguiamo due condizioni di carico (§ C3.3.10.6 e C3.3.10.8, circolare 21 Gennaio 2019 n. 7):

- Determinazione dell'azione di insieme esercitata dal vento:  $c_p = 0.7$ , carico applicato con riferimento alla superficie proiettata di area  $d_c \times h_c$
- Determinazione delle pressioni massime locali:  $c_p$  variabile lungo la circonferenza in funzione della coordinata polare  $\alpha$  (rif. curva a).

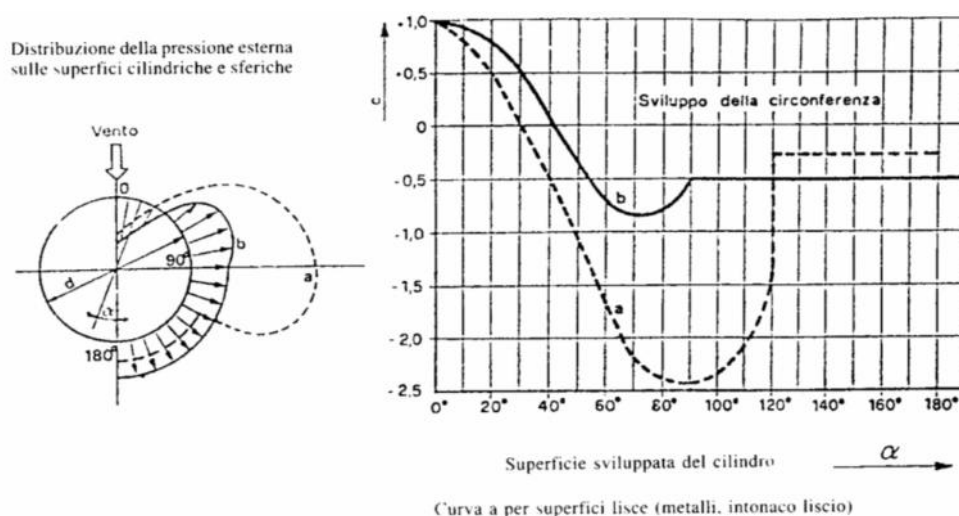


Fig. 9 Pressione locale su corpi cilindrici dovuta all'azione del vento

La pressione massima sul cilindro dei silos, valutata secondo l'approccio a) risulta:

$$- Q_3 = q_b c_e c_p c_d = 390.63 \times 2.77 \times 0.70 \times 1 = 756.83 \text{ N/m}^2 = 75.683 \text{ kg/m}^2$$

Per le analisi che seguono, si considera a favore di sicurezza, l'azione dovuta ad una pressione pari a 100,0 kg/m<sup>2</sup>, utilizzata dal progettista come azione minima di progetto.



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 23

## 5.4 Azione sismica $Q_4$

(DM 17 Gennaio 2018)

("NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI")

Caratteristiche della struttura

Classe dell'opera: Opere Ordinarie VN&gt;50anni

Classe d'uso II: ambienti suscettibili a normale affollamento

Dati del sito

long.	11.8412	lat.	44.3905	secondo sistema ED50	
Stati limite	SLV	Fo	2.406		
TR	475	Fv	1.42		
ag	1.8828	m/s <sup>2</sup>	T*c	0.307	s

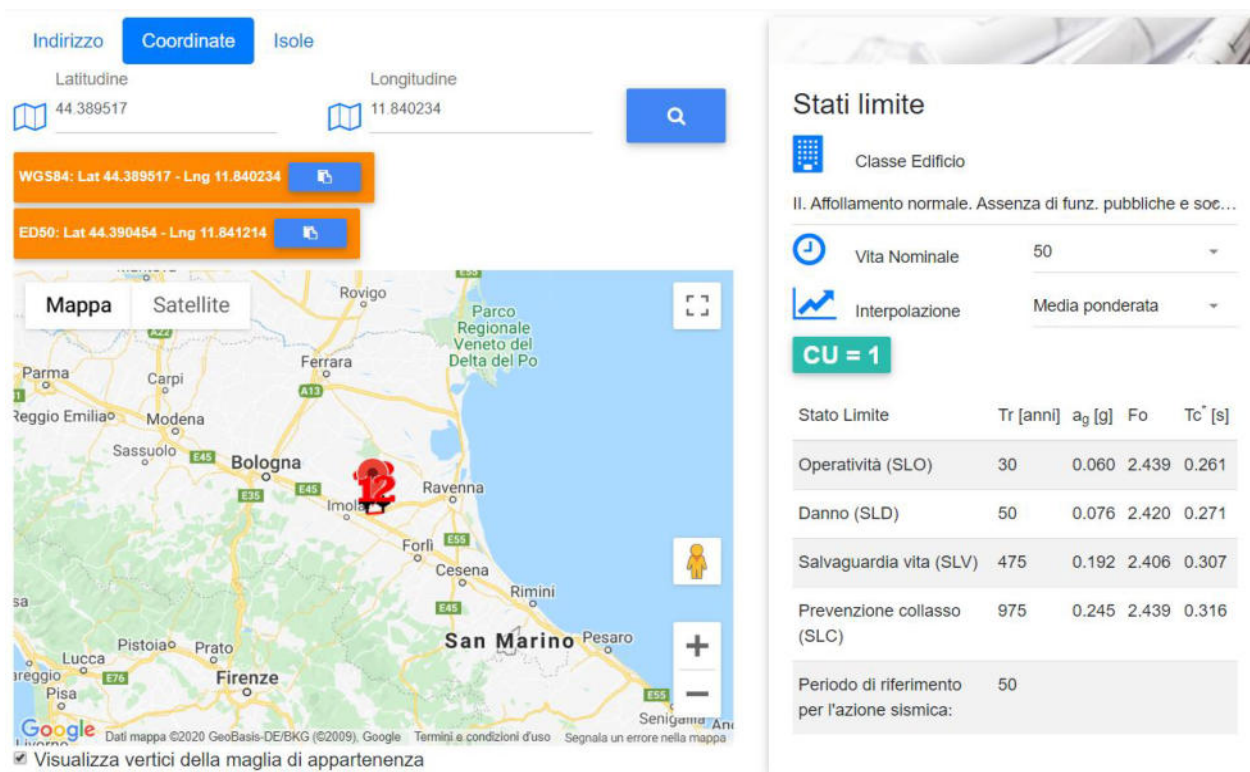


Fig. 10 Parametri sismici della località di installazione (<http://www.geostru.com>)



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 24

Cat. Sottosuolo C tratto dalla relazione geologica

Cat. Topografica T1 tratto dalla relazione geologica

Amplificazione stratigrafica:  $S_S$  1.423  $C_C$  1.550

Amplificazione topografica:  $S_T$  1

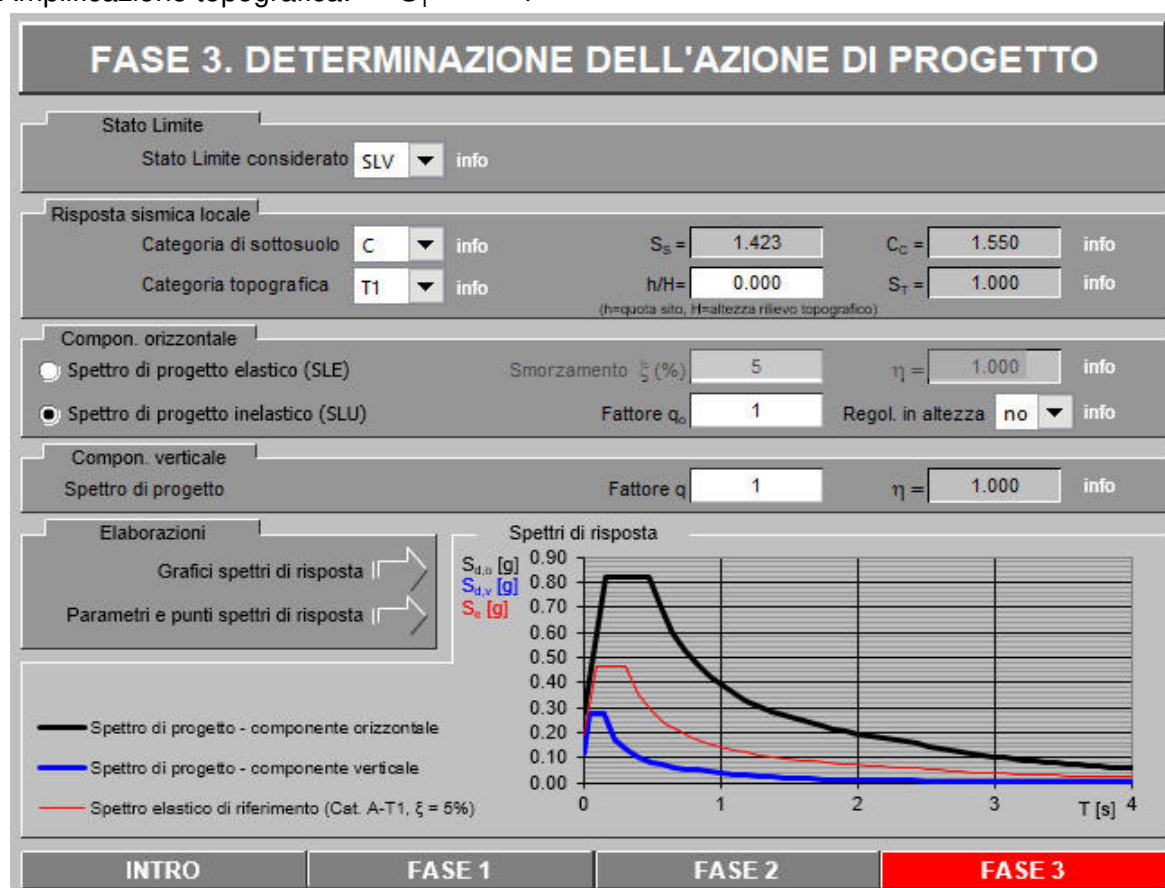


Fig. 15 Spettro elastico di riferimento valutato mediante software Spettri-NTCver.1.0.3 (<http://www.cslp.it>)

Lo spettro di risposta elastico è definito dalle seguenti relazioni (§ 3.2.3.2.1 DM 17 Gennaio 2018):

- $0 \leq T < T_B$   $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
- $T_B \leq T < T_C$   $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$
- $T_C \leq T < T_D$   $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[ \frac{T_C}{T} \right]$
- $T_D \leq T$   $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right]$

Dove:

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} = 1$$



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 25

Determinazione dei periodi di vibrazione	$T_B$	0.159	s
	$T_C$	0.476	s
	$T_D$	2.368	s
Spettro elastico orizzontale	S	1.423	
	$\eta$	1	
	$Se(T_B)$	6.446	m/s <sup>2</sup>
	$Se(T_C)$	6.446	m/s <sup>2</sup>
	$Se(T_D)$	1.296	m/s <sup>2</sup>

Applicazione analisi lineare statica

$T_1$  considerato 0.39 s

Il periodo proprio di cui sopra è calcolato come:

$$T_1 = 0,050 \cdot H^{3/4}$$

Fattore di struttura	q	1.75
	q0	2.5
	Kr	0.7

Il fattore di struttura è determinato considerando la geometria della struttura di sostegno del silos la quale presenta controventi concentrici a V (§ 7.5.2.2 DM 14.01.2008), ma risulta irregolare in elevazione, pertanto il fattore di struttura viene ridotto adottando un fattore pari a 0,7 (§ 3.4 UNI EN 1998-4:2006).

Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

$Sd(T_B)$	3.683	m/s <sup>2</sup>
$Sd(T_C)$	3.683	m/s <sup>2</sup>
$Sd(T_D)$	0.740	m/s <sup>2</sup>
<b><math>Sd(T_1)</math></b>	<b>3.683</b>	<b>m/s<sup>2</sup></b>



## 5.5 Carichi permanenti

In questa sezione andremo a descrivere i carichi permanenti agenti sulla struttura suddivisi in:

- Peso proprio degli elementi strutturali  $G_1$
- Peso proprio degli elementi non strutturali  $G_2$

### 5.5.1. Peso proprio degli elementi strutturali

Il silos si compone di virole di lamiera d'acciaio corrugata orizzontalmente e montanti di irrigidimento verticali.

Si considera il peso di una virola di spessore 17/10 mm, pari a 40,80 kg ed il peso dei montanti di irrigidimento verticali, pari a circa 30 kg/virola. Si osservi che la composizione del silos prevede anche anelli realizzati con virole di spessore minore, si trascurano tali spessori e si valuta il peso della virola di spessore 17/10 considerata quindi come peso medio delle virole, a favore di sicurezza.

Ciascuna virola ha uno sviluppo in pianta di circa 2,4 m<sup>2</sup>, ne consegue che il peso proprio strutturale del silos può essere stimato pari a:

$$g'_1 = (40,8 + 30) / 2,4 = 29.50 \text{ kg/m}^2$$

riferito alla superficie del cilindro del silos.

Il peso così determinato viene maggiorato del 20% per tenere conto dei collegamenti:

$$g_1 = 29,50 \times 1,20 = 35.40 \text{ kg/m}^2$$

Il peso totale del cilindro è pari a:

$$G_{1,1} = 3,14 \times 5.56 \times 14.95 \times 35 = 9239.7 \text{ kg}$$

La copertura del silos è realizzata unendo spicchi di lamiera grecata in modo tale da comporre il cono superiore del silos.

Il peso della copertura è pari a 25 kg/m<sup>2</sup> riferito all'area proiettata in pianta.

Il peso totale risulta quindi:

$$G_{1,2} = 3,14 \times 5.56^2 / 4 \times 25 = 606.48 \text{ kg}$$



## 5.5.2. Peso proprio degli elementi non strutturali

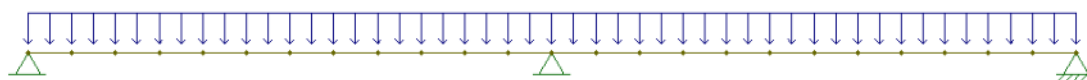
I silos di stoccaggio presenti nell'impianto vengono caricati automaticamente mediante trasportatori a catena sostenuti da un'opportuna passerella che permette anche l'ispezione delle macchine. Tale passerella viene appoggiata sulle coperture dei silos.

La manutenzione ordinaria delle meccanizzazioni può essere eseguita direttamente in loco senza rimuovere i macchinari dalla passerella. Pertanto, ai fini del dimensionamento strutturale del silos, il peso della passerella e delle meccanizzazioni di carico viene considerato come un carico permanente non strutturale essendo la durata di applicazione del carico paragonabile alla vita utile della struttura.

Si considera, a favore di sicurezza, il peso dell'intero tratto di passerella sopra al silos di lunghezza pari al diametro del silos stesso maggiorato di ulteriori 200 kg che rappresentano il carico dovuto a due operatori per la manutenzione ordinaria.

Il peso di passerella e macchine supportate è pari a 250 kg/m

La passerella risulta avere uno schema statico come trave su infiniti appoggi, per il calcolo della reazione vincolare si considera un'area di influenza per ciascun appoggio pari al raggio del silos, da qui:



$$P = 694.71 \text{ kg}$$

Il carico  $P$  viene utilizzato per le verifiche della copertura e per il dimensionamento globale dei montanti per il quale si considera un carico permanente portato  $G_2$  pari a al peso del tratto di passerella di lunghezza pari al diametro del silos, maggiorato di 200 kg:

$$G_2 = 694.7 \times 2 + 200 = 1589.4 \text{ kg}$$



## 6. Descrizione del metodo di calcolo

Il dimensionamento del silos viene condotto nell'ipotesi che le virole supportino la spinta orizzontale dovuta al prodotto insilato, mentre i montanti supportano la spinta verticale del prodotto stesso.

Tale ipotesi nasce dalla considerazione che le lamiere che compongono il silos, essendo corrugate orizzontalmente, non sono in grado di supportare il carico verticale dovuto all'azione trasmessa dal cereale per attrito, ipotesi in conformità al punto 5.3.4.1 (3) della norma UNI EN 1993-4-1:2007.

In analogia a quanto sopra, si assume che le virole non siano in grado di supportare sforzi verticali e sovrappressioni dovuti alle azioni di sisma e vento, ma che svolgano unicamente la funzione di stabilizzare gli irrigidimenti verticali (montanti) e di trasmettere le azioni ai montanti stessi.

Ne consegue che il comportamento del silos per l'effetto dei carichi orizzontali dovuti all'azione del vento e del sisma può essere schematizzato come quello di una mensola verticale incastrata alla base avente sezione resistente coincidente con l'area dei soli montanti verticali del silos.

Il modulo di resistenza relativo alla sezione di base del silos risulta pari a: 16.673 m<sup>3</sup>

Le azioni riportate nella tabella a pag. 31 rappresentano l'involuppo delle sollecitazioni sui montanti calcolato nel modo seguente:

$$N_{sd,i} = (M_i / W) \times n$$

Con:

- $N_{sd,i}$  = generica azione verticale totale
- $M_i$  = momento ribaltante dell'azione i-esima
- $W$  = modulo di resistenza del silos = 16.673 m
- $n$  = n° di montanti = 12



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 29

## 7. Determinazione delle azioni di progetto

### 7.1 Azione dovuta al prodotto insilato

#### 7.1.1 Parametri geometrici del silos Modello 5.56/18

Lamiere per anello	6
Virole in altezza	18
Raggio silos	2.78 m
Altezza cilindro	14.95 m
Altezza equivalente prodotto	16.23 m
Rapporto h/d	2.92

Materiale insilato		Grano
Peso specifico	$\gamma$	0.917 t/m <sup>3</sup>
Rapporto delle pressioni	k	0.540 (valore medio)
Coeff. di attrito sulle pareti	$\mu$	0.570 (valore medio)
Coeff. C <sub>b</sub>	C <sub>b</sub>	1.000

Sezione silos	A	24.26 m <sup>2</sup>
Circonferenza silos	u	17.46 m
Rapporto A/u	A/u	1.39 m
Coefficiente Z <sub>0</sub> (1)	Z <sub>0</sub>	5.00 m
Coefficiente Z <sub>0</sub> (2)	Z <sub>0</sub>	3.72 m



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

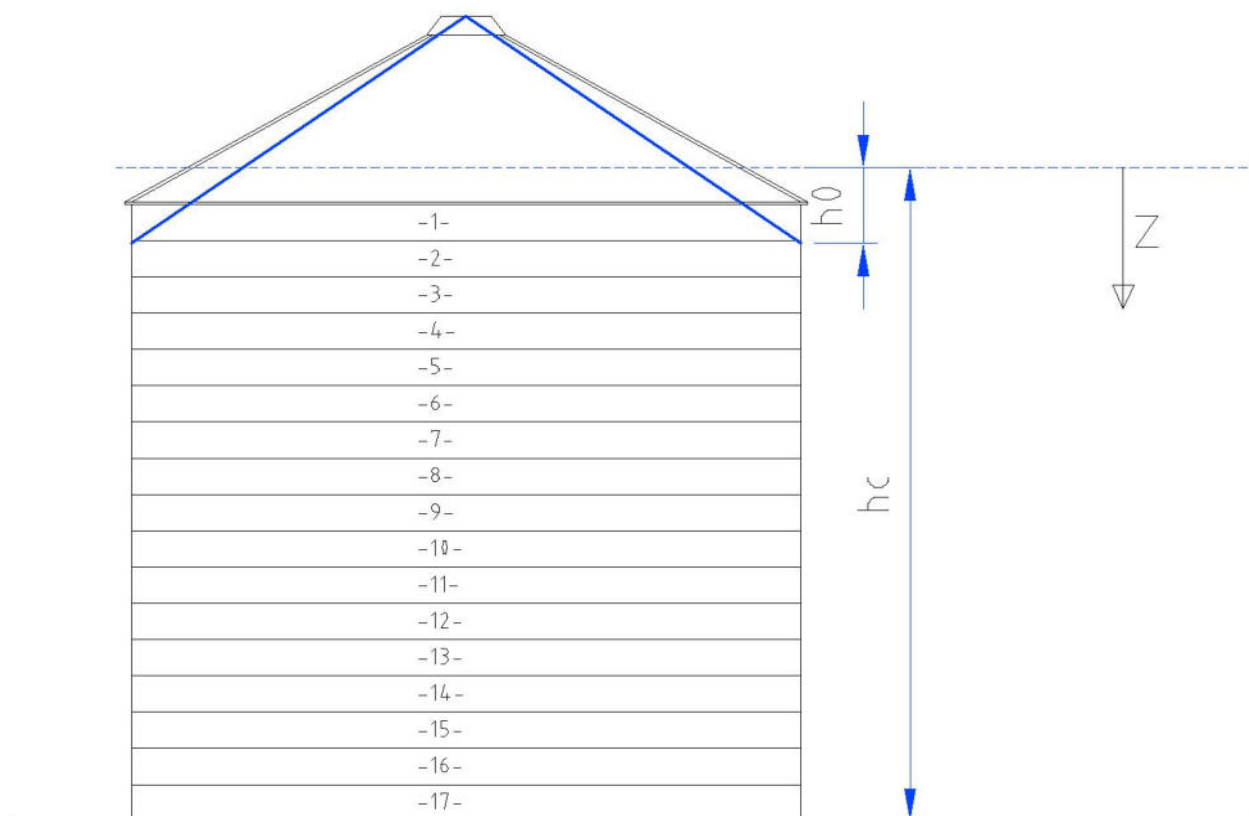
6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 30

Le equazioni nelle pagine seguenti sono valutate secondo i riferimenti di cui alla figura seguente:



Le virole sono numerate dall'alto verso il basso, le pressioni  $P_w$ ,  $P_h$ ,  $P_v$ , ecc e le equazioni  $Y_R$  sono valutate alla quota inferiore del generico anello di riferimento. Si discretizza quindi la curva delle pressioni come una curva a tratti dove ciascun anello viene caricato dal valore massimo della pressione.





# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 31

## 7.1.2 Fase di carico

Virola	z	$Y_R(z) (1)$	$Y_R(z) (2)$	$P_{wf}$	$Phf$	$P_{vf}$	$P_{wf,u}$	$Phf,u$
	m			t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>
1	1.185	0.211	0.273	0.348	0.580	0.968	0.397	0.621
2	2.016	0.332	0.419	0.534	0.912	1.522	0.609	0.976
3	2.846	0.434	0.535	0.682	1.193	1.991	0.778	1.277
4	3.677	0.521	0.628	0.801	1.432	2.388	0.913	1.532
5	4.507	0.594	0.703	0.896	1.633	2.725	1.021	1.748
6	5.338	0.656	0.762	0.972	1.804	3.010	1.108	1.930
7	6.168	0.709	0.810	1.032	1.949	3.251	1.177	2.085
8	6.999	0.753	0.848	1.081	2.071	3.455	1.232	2.216
9	7.829	0.791	0.878	1.120	2.175	3.628	1.277	2.327
10	8.660	0.823	0.903	1.151	2.263	3.775	1.312	2.421
11	9.490	0.850	0.922	1.176	2.337	3.899	1.340	2.501
12	10.321	0.873	0.938	1.195	2.400	4.004	1.363	2.568
13	11.151	0.893	0.950	1.211	2.454	4.093	1.381	2.625
14	11.982	0.909	0.960	1.224	2.499	4.169	1.395	2.674
15	12.812	0.923	0.968	1.234	2.537	4.233	1.407	2.715
16	13.643	0.935	0.975	1.242	2.570	4.287	1.416	2.750
17	14.473	0.945	0.980	1.249	2.597	4.333	1.424	2.779
18	15.304	0.953	0.984	1.254	2.620	4.372	1.430	2.804

### Legenda:

- $Y_R(z) (1)$  Funzione di forma delle curve di pressione valutata secondo §5.1.3 con i coefficienti del materiale definiti in §5.1.2 per il calcolo della massima pressione ortogonale alla parete
- $Y_R(z) (2)$  Funzione di forma delle curve di pressione valutata secondo §5.1.3 con i coefficienti del materiale definiti in §5.1.2 per il calcolo della massima pressione tangenziale sulla parete
- $P_{wf}$  Spinta in direzione verticale in fase di carico, componente simmetrica § 5.1.4
- $Phf$  Spinta in direzione orizzontale in fase di carico, componente simmetrica § 5.1.3
- $P_{vf}$  Spinta sul fondo in fase di carico, componente simmetrica § 5.1.5
- $P_{wf,u}$  Spinta totale in direzione verticale in fase di carico secondo § 5.1.9
- $Phf,u$  Spinta totale in direzione orizzontale in fase di carico secondo § 5.1.9



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 32

## 7.1.3 Fase di scarico

Viola	z	$Y_R(z) (1)$	$Y_R(z) (2)$	Pwe	Phe	Phe,u	Pwe,u	Pve	$n_{zSk}$	Pvst
	m			t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m	t/m <sup>2</sup>
1	1.185	0.211	0.273	0.400	0.638	0.728	0.513	0.968	0.320	0.968
2	2.016	0.332	0.419	0.614	1.003	1.144	0.786	1.522	0.863	1.522
3	2.846	0.434	0.535	0.785	1.313	1.497	1.004	1.991	1.610	1.991
4	3.677	0.521	0.628	0.921	1.575	1.795	1.179	2.388	2.519	2.388
5	4.507	0.594	0.703	1.030	1.796	2.048	1.319	2.725	3.559	2.725
6	5.338	0.656	0.762	1.117	1.984	2.262	1.431	3.010	4.702	3.010
7	6.168	0.709	0.810	1.187	2.143	2.444	1.520	3.251	5.929	3.251
8	6.999	0.753	0.848	1.243	2.278	2.597	1.591	3.455	7.222	3.455
9	7.829	0.791	0.878	1.288	2.392	2.728	1.648	3.628	8.568	3.628
10	8.660	0.823	0.903	1.323	2.489	2.838	1.694	3.775	9.957	3.775
11	9.490	0.850	0.922	1.352	2.571	2.931	1.731	3.899	11.380	3.899
12	10.321	0.873	0.938	1.375	2.640	3.010	1.760	4.004	12.830	4.004
13	11.151	0.893	0.950	1.393	2.699	3.077	1.783	4.093	14.301	4.093
14	11.982	0.909	0.960	1.408	2.749	3.134	1.802	4.169	15.790	4.169
15	12.812	0.923	0.968	1.419	2.791	3.182	1.817	4.233	17.293	4.233
16	13.643	0.935	0.975	1.429	2.827	3.222	1.829	4.287	18.808	4.287
17	14.473	0.945	0.980	1.436	2.857	3.257	1.838	4.333	20.331	4.333
18	15.304	0.953	0.984	1.442	2.882	3.286	1.846	4.372	21.861	4.372

### Legenda:

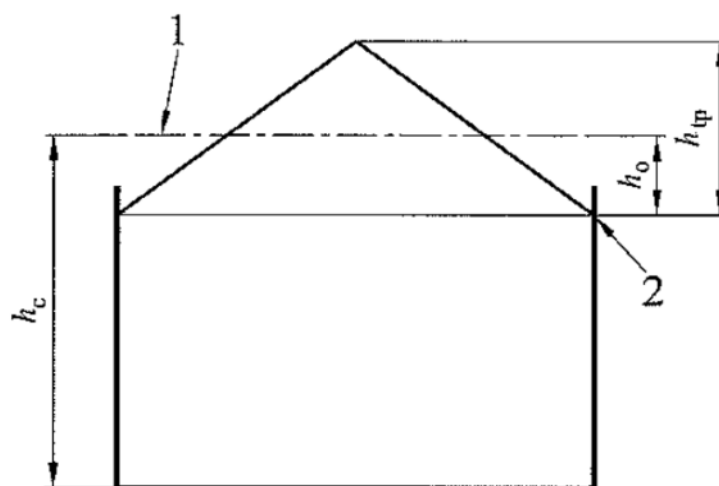
- $Y_R(z) (1)$     come fase di carico
- $Y_R(z) (2)$     come fase di carico
- Pwe            Spinta in direzione verticale in fase di carico, componente simmetrica § 5.1.7
- Phe            Spinta in direzione orizzontale in fase di carico, componente simmetrica § 5.1.6
- Pve            Spinta sul fondo in fase di carico, componente simmetrica § 5.1.8
- Pwe,u          Spinta totale in direzione verticale in fase di carico secondo § 5.1.9
- Phe,u          Spinta totale in direzione orizzontale in fase di carico secondo § 5.1.9

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{we} dz = C_w \cdot \mu \cdot p_{h0} \cdot [z - z_0 \cdot Y_R]$$



## Legenda (segue):

- 1 Superficie equivalente
- 2 Punto più basso senza contatto con il materiale



$$p_{vst} = C_b \cdot p_{vf}$$

con

$$C_b = 1,0$$



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 34

## 7.2 Altre azioni di progetto

Le seguenti azioni sono applicate ai montanti verticali di irrigidimento del silos:

Peso cilindro	9 239.7 kg	} Azioni verticali supportate dai montanti di irrigidimento
Peso tetto	606.5 kg	
Peso non strutturale	1 589 kg	
Carico neve	148.0 kg/m <sup>2</sup>	} Agisce sulla superficie proiettata della copertura Agiscono sulla superficie laterale del cilindro e vengono trasferiti ai montanti come sovraccarico verticale
Pressione vento	100.0 kg/m <sup>2</sup>	
Sisma (Sd)	3.683 m/s <sup>2</sup>	

Si riportano di seguito le caratteristiche dei montanti.

N. mont/lam	2
N° Montanti totali	12

Di seguito le caratteristiche meccaniche considerate per il calcolo degli sforzi sui montanti:

Modulo elastico della sezione di base: $W_x =$	16.67 m <sup>3</sup>
Tensione caratteristica di snervamento: $\sigma_{yk} =$	3.5 t/m <sup>2</sup>

Le azioni sui montanti dovute alle azioni orizzontali (sisma e neve) sono calcolate secondo:

$$N_{sd,i} = (M_i / W) \times n$$

Con:

- $N_{sd,i}$  = generica azione verticale totale
- $M_i$  = momento ribaltante dell'azione i-esima
- $n$  = n° di montanti



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 35

Vir	z	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub> : Vento		Q <sub>4</sub> : Sisma	
				Pwe,u(TOT)	Neve	Momento	Az. Vert.	Momento	Az. Vert.
	m	t	t	t	t	tm	t	tm	t
1	1.185	1.120	1.589	5.59	3.639	1.65	1.19	5.30	3.82
2	2.016	1.633	1.589	15.07	3.639	2.96	2.13	14.81	10.66
3	2.846	2.146	1.589	28.11	3.639	4.66	3.36	29.09	20.94
4	3.677	2.660	1.589	43.99	3.639	6.74	4.85	48.14	34.65
5	4.507	3.173	1.589	62.14	3.639	9.21	6.63	71.97	51.80
6	5.338	3.686	1.589	82.10	3.639	12.06	8.68	100.56	72.38
7	6.168	4.200	1.589	103.52	3.639	15.29	11.00	133.94	96.40
8	6.999	4.713	1.589	126.09	3.639	18.91	13.61	172.08	123.85
9	7.829	5.226	1.589	149.60	3.639	22.90	16.49	215.00	154.74
10	8.660	5.740	1.589	173.85	3.639	27.29	19.64	262.69	189.06
11	9.490	6.253	1.589	198.69	3.639	32.05	23.07	315.15	226.82
12	10.321	6.766	1.589	224.00	3.639	37.20	26.77	372.39	268.02
13	11.151	7.280	1.589	249.70	3.639	42.73	30.76	434.40	312.65
14	11.982	7.793	1.589	275.70	3.639	48.65	35.01	501.18	360.71
15	12.812	8.306	1.589	301.94	3.639	54.95	39.55	572.74	412.21
16	13.643	8.820	1.589	328.38	3.639	61.63	44.36	649.06	467.15
17	14.473	9.333	1.589	354.97	3.639	68.70	49.44	730.16	525.52
18	15.304	9.846	1.589	510.35	3.639	76.14	54.80	816.04	587.32

## Legenda:

- G1    Peso proprio strutturale
- G2    Peso proprio non strutturale
- Q1    Carico dovuto al prodotto insilato
- Q2    Carico dovuto alla neve
- Q3    Carico dovuto all'azione del vento
- Q4    Carico dovuto all'azione sismica



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 36

## 8. Sintesi dei carichi considerati e combinazioni di carico

### Azioni

Peso proprio strutturale	$G_1$
Peso proprio non strutturale	$G_2$
Azione del prodotto insilato	$Q_1$
Carico della neve	$Q_2$
Carico del vento	$Q_3$
Carico del sisma	$Q_4$

### 8.1 COMBINAZIONE SLU-01

Silos pieno durante la fase di scarico, azione contemporanea di vento e neve.

$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2}$	$\gamma_{G1}$	1.30
	$\gamma_{G2}$	1.50
	$\gamma_{Q1}$	1.50
	$\gamma_{Q2}$	1.50
	$\psi_{02}$	0.50
	$\gamma_{Q3}$	1.50
	$\psi_{03}$	0.60
	$\gamma_{Qi}$	1.50
	$\psi_{0i}$	0.00



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 37

## 8.2 COMBINAZIONE SLU-02

Silos vuoto, azione contemporanea di vento e neve.

$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2}$	$\gamma_{G1}$	1.30
	$\gamma_{G2}$	1.50
	$\gamma_{Q1}$	0.00
	$\gamma_{Q2}$	1.50
	$\psi_{02}$	0.50
	$\gamma_{Q3}$	1.50
	$\psi_{03}$	1.00
	$\gamma_{Qi}$	1.50
	$\psi_{0i}$	0.00

## 8.3 COMBINAZIONE SLU-03

Silos vuoto, azione dominante del vento.

$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2}$	$\gamma_{G1}$	1.30
	$\gamma_{G2}$	1.50
	$\gamma_{Q1}$	0.00
	$\gamma_{Q2}$	1.50
	$\psi_{02}$	0.00
	$\gamma_{Q3}$	1.50
	$\psi_{03}$	1.00
	$\gamma_{Qi}$	1.50
	$\psi_{0i}$	0.00



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 38

## 8.4 COMBINAZIONE SLU-04

Silos pieno durante la fase di scarico, azione del sisma.

E+G1+G2+y1Qk1	$\gamma_{G1}$	1.00
	$\gamma_{G2}$	1.00
	$\gamma_{Q1}$	0.80
	$\gamma_{Q4}$ (E)	1.00
	$\gamma_{Q5}$	0.80

## 8.5 COMBINAZIONE SLU-05

Silos vuoto, azione del sisma.

E+G1+G2+y1Qk1	$\gamma_{G1}$	1.00
	$\gamma_{G2}$	1.00
	$\gamma_{Q1}$	-
	$\gamma_{Q4}$ (E)	1.00
	$\gamma_{Q5}$	0.80

Nella combinazione SLU-05 per valutare l'azione sismica, si considera solo la massa del silos vuoto pari a circa l'1% della massa totale col silos pieno.



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 39

## 9. Determinazione lamiera

### 9.1 Caratteristiche geometriche e meccaniche delle virole

La resistenza delle lamiera viene viene determinata considerando tre meccanismi di rottura:

- 1) Strappo della lamiera nella sezione netta;
- 2) Rifollamento della lamiera;
- 3) Taglio dei bulloni dell'unione.

La resistenza della lamiera sarà data dalla minima  $F_{Rd}$  valutata secondo ciascun meccanismo di rottura.

MODELLO	Sp.	Svil.	Foratura			Bullonatura			$F_{Rd}$		
			n.	Ø	Sez.	n.	Ø	Sez.	Lamiera	Rif	Taglio B
8/10 2FFA	0.8	982	12	9	699	23	8	36.6	21.4	<b>9.8</b>	32.3
8/10 3FFA	0.8	982	12	9	699	34	8	36.6	22.1	<b>14.5</b>	47.8
10/10 3FFA	1	982	12	9	874	34	8	36.6	27.6	<b>19.5</b>	47.8
12/10 3FFA	1.25	982	12	9	1093	34	8	36.6	34.5	<b>26.4</b>	47.8
15/10 3FFA 10	1.5	975	12	11	1265	34	10	57.3	<b>42.1</b>	42.8	74.8
17/10 3FFA 10	1.75	975	12	11	1475	34	10	57.3	<b>49.2</b>	50.0	74.8
20/10 3FFA 10	2	960	12	11	1656	34	10	57.3	<b>55.2</b>	57.1	74.8
25/10 4FFA 10	2.5	955	12	11	2058	44	10	57.3	<b>68.7</b>	92.4	96.8
30/10 4FFA 10	3	930	12	11	2394	44	10	57.3	<b>79.9</b>	110.9	96.8
S35/10 4FFA 10	3.5	950	12	11	2863	44	10	57.3	<b>95.6</b>	129.4	96.8
S40/10 5FFA 10	4	950	12	11	3272	55	10	57.3	<b>109.4</b>	184.8	121.0
S45/10 5FFA 10	4.5	950	12	11	3681	55	10	57.3	123.0	207.9	<b>121.0</b>
S50/10 5FFA 10	5	950	12	11	4090	55	10	57.3	136.7	231.0	<b>121.0</b>
S55/10 5FFA 10	5.5	930	12	11	4389	55	10	57.3	<b>146.7</b>	254.1	151.3
S60/10 5FFA 10	6	930	12	11	4788	55	10	57.3	160.0	277.2	<b>151.3</b>

Dove:

La resistenza della sezione netta dellamiera a strappamento è valutata come:

$$F_{n,Rd} = \beta \cdot (h - n \cdot d_0) \cdot t \cdot \frac{f_{tk}}{\gamma_{M2}} \quad \text{con} \quad \begin{array}{l} \beta \text{ § C4.2.159 circ. 02/02/2009 n.617} \\ h = \text{sviluppo della virola} \\ f_{tk} = \text{tensione di rottura della virola} \end{array} \quad \begin{array}{l} t = \text{spessore} \\ n = n^\circ \text{ di fori} \\ d_0 = \phi \text{ dei fori} \end{array}$$

La resistenza della lamiera a rifollamento è valutata come:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha_b \cdot k_t \cdot f_{tk} \cdot n \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad \text{con} \quad \begin{array}{l} \alpha_b \text{ § C4.2.156 circ. 02/02/2009 n.617} \\ k_t \text{ § C4.2.157 circ. 02/02/2009 n.617} \\ f_{tk} = \text{tensione di rottura della virola} \end{array} \quad \begin{array}{l} t = \text{spessore} \\ n = n^\circ \text{ di fori} \\ d = \phi \text{ dei bulloni} \end{array}$$

La resistenza al taglio dei bulloni è valutata come:

$$F_{v,Rd} = n \cdot 0,6 \cdot A_{res} \cdot \frac{f_{tb}}{\gamma_{M2}} \quad \text{con} \quad \begin{array}{l} n = n^\circ \text{ di bulloni} \\ A_{res} = \text{sezione resistente dei bulloni} \\ f_{tb} = \text{tensione di rottura dei bulloni} \end{array}$$



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

6042-RC-03

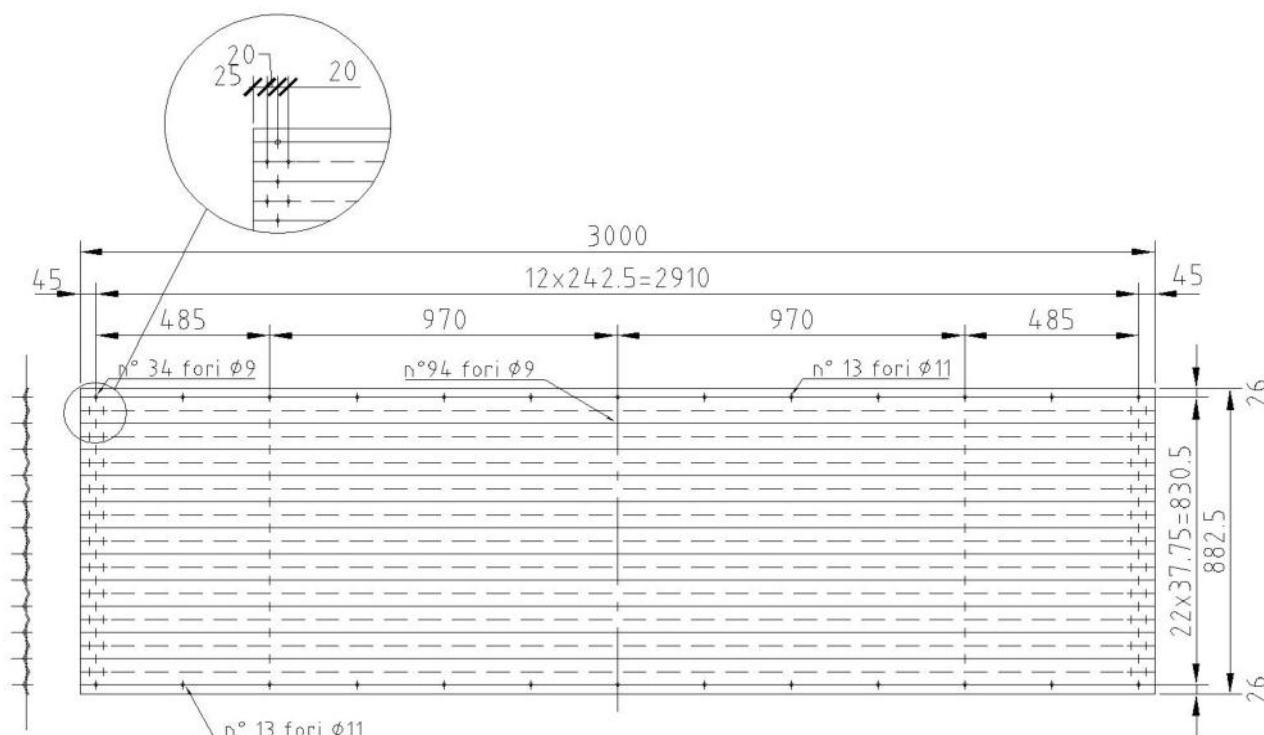
Rev.00

28/02/2020

Pag. 40

I valori delle resistenze riportati nella tabella precedente sono determinati considerando l'effettiva geometria della virola.

Considerando ad esempio una virola 10/10 3FFA, essa ha uno spessore pari ad 10/10 (1 mm), sviluppo di 982 mm e unioni tra due virole consecutive realizzate mediante 3 file di fori  $\phi 9$ . Si riporta di seguito scheda tecnica della virola ed esempio di calcolo.



$$1) \quad F_{n,Rd} = \beta \cdot (h - n \cdot d_0) \cdot t \cdot \frac{f_{tk}}{\gamma_{M2}}$$

$$t = 1 \text{ mm}$$

$$d_0 = 9 \text{ mm}$$

$$n = 12$$

$$\beta = 1 + 3 \cdot r \left( \frac{d_0}{u} - 0,3 \right) \leq 1$$

$$r = \frac{n^\circ \text{ bulloni nella sez. netta}}{n^\circ \text{ totale bulloni nell'unione}} = 12/34 = 0.32$$

$$u = \min(2 \cdot e_2; p_2) = \min(2 \times 26; 75,5/2) = 37.75$$

$$\beta = 0.9402$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

$$f_{tk} = 420 \text{ MPa}$$

$$h = 982 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = 276109.37 = 27.6 \text{ t}$$



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

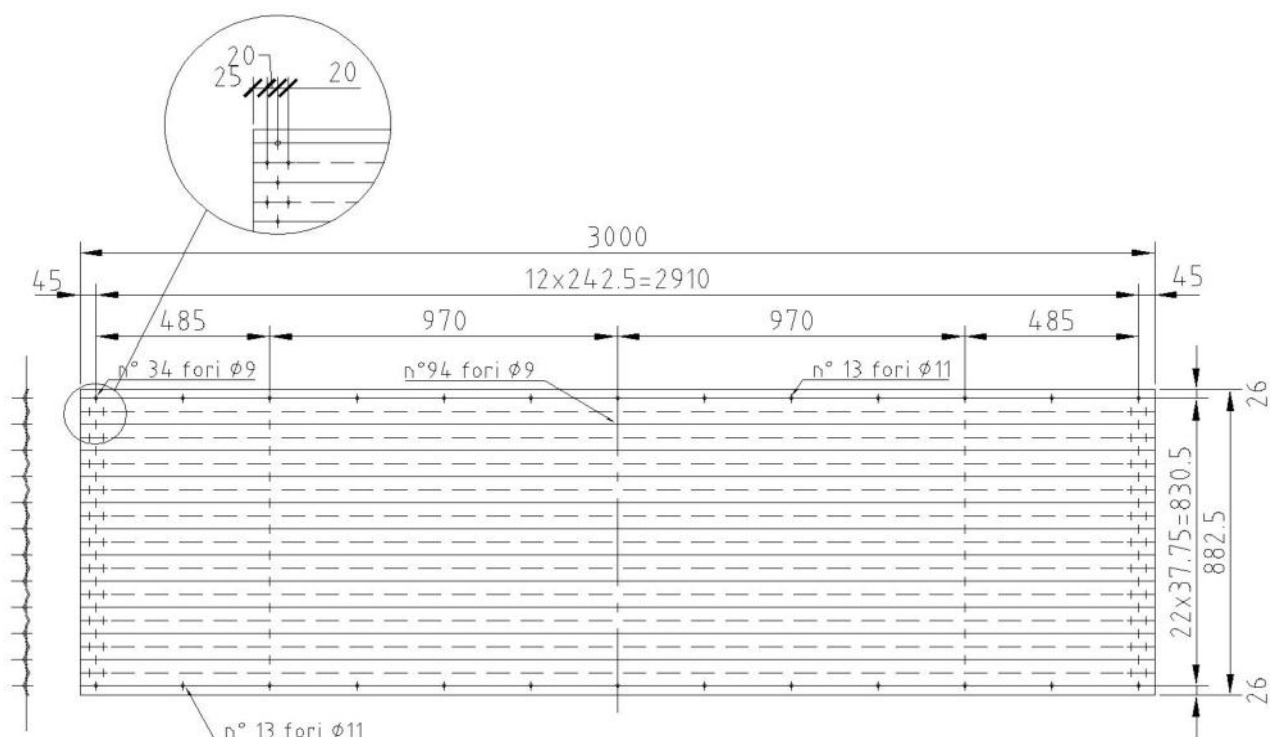
**Mulmix**

6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 41



$$2) F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha_b \cdot k_t \cdot f_{tk} \cdot n \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$t = 1 \text{ mm}$$

$$d = 8 \text{ mm}$$

$$n = 34$$

$$k_t = \frac{0,8 \cdot t + 1,5}{2,5} = 0,92 \quad (\text{per } t < 1,25 \text{ mm})$$

$$\alpha_b = \min\left(1; \frac{e_1}{3 \cdot d}\right) = \min(1; 25/3 \times 8) = 0,9259$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$f_{tk} = 420 \text{ MPa}$$

$$F_{b,Rd} = 194631,11 = 19,5 \text{ t}$$

$$3) F_{v,Rd} = n \cdot 0,6 \cdot A_{res} \frac{f_{tb}}{\gamma_{M2}}$$

$$A_{res} = 36,6 \text{ mm}^2$$

$$n = 34$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$f_{tk} = 800 \text{ MPa}$$

$$F_{v,Rd} = 477849,60 = 47,8 \text{ t}$$

$$F_{Rd} = \min(F_{n,Rd}; F_{b,Rd}; F_{v,Rd}) = 19,5 \text{ t}$$



# **RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE**



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 42

## **9.2 Determinazione spessori delle lamiere**

Le lamiere che compongono il silos (virole) vengono determinate considerando la massima spinta dell'insilato sull'anello di riferimento e confrontando tale forza con la  $F_{Rd}$  delle virole, identificando la lamiera di spessore minore che soddisfa la relazione  $F_a < F_{Rd}$ .

Per esigenze tecnologiche di assemblaggio possono essere utilizzati spessori maggiori rispetto a quelli indicati di seguito.

Viola	z	Phe,u	D silos	h rif.	$\gamma_{Q1}$	Fa*	Lamiera
	m	t/m <sup>2</sup>	m	m		t/lamiera	
1	1.185	0.728	5.56	0.8305	1.5	2.519	8/10 2FFA
2	2.016	1.144	5.56	0.8305	1.5	3.960	8/10 2FFA
3	2.846	1.497	5.56	0.8305	1.5	5.181	8/10 2FFA
4	3.677	1.795	5.56	0.8305	1.5	6.215	8/10 2FFA
5	4.507	2.048	5.56	0.8305	1.5	7.090	8/10 2FFA
6	5.338	2.262	5.56	0.8305	1.5	7.832	8/10 2FFA
7	6.168	2.444	5.56	0.8305	1.5	8.460	8/10 2FFA
8	6.999	2.597	5.56	0.8305	1.5	8.992	8/10 2FFA
9	7.829	2.728	5.56	0.8305	1.5	9.442	8/10 2FFA
10	8.660	2.838	5.56	0.8305	1.5	9.824	8/10 3FFA
11	9.490	2.931	5.56	0.8305	1.5	10.147	8/10 3FFA
12	10.321	3.010	5.56	0.8305	1.5	10.420	8/10 3FFA
13	11.151	3.077	5.56	0.8305	1.5	10.652	8/10 3FFA
14	11.982	3.134	5.56	0.8305	1.5	10.848	8/10 3FFA
15	12.812	3.182	5.56	0.8305	1.5	11.015	8/10 3FFA
16	13.643	3.222	5.56	0.8305	1.5	11.155	8/10 3FFA
17	14.473	3.257	5.56	0.8305	1.5	11.275	8/10 3FFA
18	15.304	3.286	5.56	0.8305	1.5	11.376	8/10 3FFA

Note:

$$F_a = \frac{p_{he,u} \cdot D_{silos} \cdot h_{rif}}{2} \cdot \gamma_{Q1}$$

$p_{he,u}$  calcolato come indicato in § 5.1.9 per le quote di cui alla colonna "z"

$h_{rif}$  rappresenta la distanza tra due collegamenti orizzontali delle virole.



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

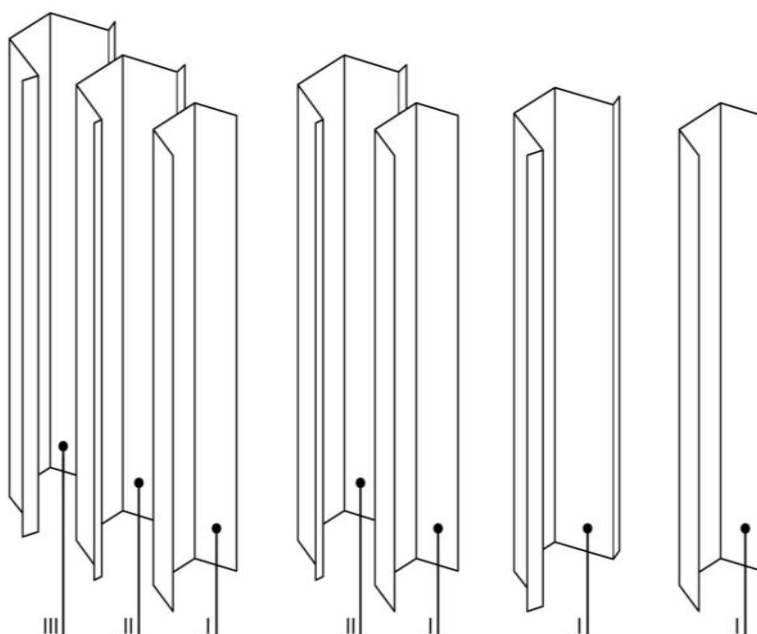
28/02/2020

Pag. 43

## 10. Determinazione dei montanti

### 10.1 Denominazione montanti

COMPOSIZIONE	SIGLA	POSIZIONE							
		I INTERNO		II INTERNO		III ESTERNO		IV ESTERNO	
		Sp.	Svil.	Sp.	Svil.	Sp.	Svil.	Sp.	Svil.
L2NS	L2NS	2	333						
L3NS	L3NS	3	333						
L4NS	L4NS	4	333						
L5NS	L5NS	5	333						
L4NS+L3ND	L7ND	4	333	3	333				
L4NS+L4ND	L8ND	4	333	4	333				
L5NS+L4ND	L9ND	5	333	4	333				
L5NS+L5ND	L10ND	5	333	5	333				
L5NS+L3ND+L3NT	L11NT	5	333	3	333	3			
L5NS+L4ND+L3NT	L12NT	5	333	4	333	3			
L5NS+L5ND+L3NT	L13NT	5	333	5	333	3			
L5NS+L5ND+L4NT	L14NT	5	333	5	333	4			
L5NS+L5ND+L5NT	L15NT	5	333	5	333	5			
L5NS+L4ND+L4NT+L3NQ	L16NQ	5	333	4	333	4	333	3	333
L5NS+L4ND+L4NT+L4NQ	L17NQ	5	333	4	333	4	333	4	333
L5NS+L5ND+L4NT+L4NQ	L18NQ	5	333	5	333	4	333	4	333
L5NS+L5ND+L5NT+L4NQ	L19NQ	5	333	5	333	5	333	4	333
L5NS+L5ND+L5NT+L5NQ	L20NQ	5	333	5	333	5	333	5	333





# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

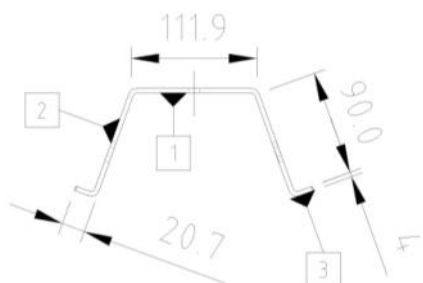
Pag. 44

## 10.2 Caratteristiche meccaniche dei montanti

	Sp.	Wx [mm <sup>3</sup> ]	Wy [mm <sup>3</sup> ]	Jx [mm <sup>4</sup> ]	A eff [mm <sup>2</sup> ]	NRd [kN]	NRd [t]
L2NS	2	13822.52	27717.32	768810.6	532.82	177.605	18.11
L3NS	3	21545.83	42987.85	1152924.9	984.67	328.223	33.47
L4NS	4	26581.39	54075.49	1526835.3	1332.00	444.000	45.28
L5NS	5	33043.79	67768.39	1904313.8	1665.00	555.000	56.60
L7ND	4+3	49175.95	95886.48	2737640.7	2327.20	775.735	79.11
L8ND	4+4	54695.75	105881.84	3153250.5	2664.00	888.000	90.56
L9ND	5+4	61158.15	119574.74	3530729.1	2997.00	999.000	101.88
L10ND	5+5	68324.54	132220.12	3950597.2	3330.00	1110.000	113.20
L11NT	5+3+3	79565.33	149720.51	4399063.7	3652.26	1217.419	124.15
L12NT	5+4+3	85085.13	159715.87	4814673.6	3989.05	1329.685	135.60
L13NT	5+5+3	92251.52	172361.25	5234541.7	4322.05	1440.685	146.92
L14NT	5+5+4	97933.60	181745.12	5674436.4	4662.00	1554.000	158.47
L15NT	5+5+5	105782.05	193303.57	6131747.7	4995.00	1665.000	169.79
L16NQ	5+4+4+3	115962.24	207501.60	6610414.2	5310.30	1770.099	180.51
L17NQ	5+4+4+4	121846.45	216269.34	7073636.5	5661.00	1887.000	192.43
L18NQ	5+5+4+4	129012.84	228914.72	7493504.6	5994.00	1998.000	203.75
L19NQ	5+5+5+4	136861.29	240473.16	7950815.9	6327.00	2109.000	215.07
L20NQ	5+5+5+5	145353.79	250956.88	8440363.3	6660.00	2220.000	226.39

Si riporta nel seguito, a titolo di esempio, il calcolo della sezione efficace del montante denominato L4NS.

Le aree efficaci di cui alla tabella precedente sono ottenuti considerando il metodo riportato al §C4.2.4.1.3.4.2 della circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009.



Area lorda: Il montante è oppenuto da nastro di lamiera zincata di larghezza pari a 333 mm e spessore 4 mm.

L'area lorda della sezione risulta:

$$333 \times 4 = 1332 \text{ mm}^2$$

Area netta: Pannello 1

$$\lambda_p = \frac{b}{28,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 0.535 < 0.673$$

$$\varepsilon = 0,92 \quad k_\sigma = 4$$

$$\rho_1 = 1$$

Pannello 2

$$\lambda_p = 1$$

$$\rho_2 = 1$$

Pannello 3

$$\lambda_p = \frac{b}{28,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 0.306 < 0.748$$

$$\varepsilon = 0,92 \quad k_\sigma = 0,42$$

$$\rho_3 = 1$$



# **RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE**



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 45

## **10.2 Verifica a compressione**

Vir	z	SLU-01	SLU-02	SLU-03	SLU-04	SLU-05	N <sub>sd</sub> max	Montante	
	m	t	t	t	t	t	t/mont	mm <sup>2</sup>	tipo
1	1.19	16.01	8.35	5.62	10.99	2.75	1.33	40.04	L2NS
2	2.02	31.77	10.44	7.71	25.94	3.33	2.65	79.42	L2NS
3	2.85	53.09	12.94	10.21	47.16	3.95	4.42	132.73	L2NS
4	3.68	78.92	15.85	13.12	74.09	4.60	6.58	197.31	L2NS
5	4.51	108.41	19.18	16.45	106.27	5.28	9.03	271.03	L2NS
6	5.34	140.87	22.92	20.19	143.34	6.00	11.94	358.34	L2NS
7	6.17	175.75	27.08	24.35	185.00	6.75	15.42	462.50	L2NS
8	7.00	212.63	31.65	28.92	231.03	7.54	19.25	577.57	L3NS
9	7.83	251.14	36.64	33.91	281.23	8.36	23.44	703.09	L3NS
10	8.66	291.02	42.03	39.30	335.47	9.22	27.96	838.67	L3NS
11	9.49	332.04	47.85	45.12	393.62	10.11	32.80	984.04	L3NS
12	10.32	374.01	54.07	51.34	455.58	11.04	37.96	1138.94	L4NS
13	11.15	416.81	60.71	57.98	521.28	12.00	43.44	1303.19	L4NS
14	11.98	460.31	67.76	65.04	590.65	12.99	49.22	1476.63	L5NS
15	12.81	504.42	75.23	72.50	663.66	14.02	55.31	1659.15	L5NS
16	13.64	549.07	83.11	80.38	740.26	15.08	61.69	1850.65	L7ND
17	14.47	594.20	91.41	88.68	820.42	16.18	68.37	2051.04	L7ND
18	15.30	832.77	100.12	97.39	1007.04	17.31	83.92	2517.60	L8ND

### **Legenda:**

SLU-01 ÷ 05

Azione verticale complessiva alla base del silos

N<sub>sd</sub> max

Massimo sforzo normale sul generico montante valutato come  $N_{tot} / n^{\circ}$  montanti

Montante

Si riporta nella colonna di sinistra l'area minima necessaria valutata come  $N_{sd,max} / \sigma_{yd}$  e nella colonna di destra il modello di montante che soddisfa l'equazione:  $A_{mont} > A_{min}$



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 46

## 10.3 Verifica a trazione

Vir	z	SLU-01	SLU-02	SLU-03	SLU-04	SLU-05	$N_{sd}$ min	Montante	
	m	t	t	t	t	t	t/mont	mm <sup>2</sup>	Verifica
1	1.19	13.88	4.79	2.06	3.36	2.67	0.17	-5.15	VERIF.
2	2.02	27.93	4.04	1.31	4.62	3.12	0.11	-3.27	VERIF.
3	2.85	47.05	2.87	0.14	5.29	3.53	0.01	-0.35	VERIF.
4	3.68	70.19	1.29	-1.44	4.79	3.90	-0.12	3.60	VERIF.
5	4.51	96.48	-0.70	-3.43	2.68	4.24	-0.29	8.58	VERIF.
6	5.34	125.25	-3.11	-5.84	-1.42	4.55	-0.49	14.60	VERIF.
7	6.17	155.94	-5.93	-8.66	-7.79	4.83	-0.72	21.66	VERIF.
8	7.00	188.13	-9.17	-11.90	-16.67	5.06	-1.39	41.68	VERIF.
9	7.83	221.47	-12.82	-15.55	-28.24	5.27	-2.35	70.61	VERIF.
10	8.66	255.67	-16.88	-19.61	-42.66	5.44	-3.55	106.64	VERIF.
11	9.49	290.51	-21.36	-24.09	-60.03	5.57	-5.00	150.07	VERIF.
12	10.32	325.82	-26.25	-28.98	-80.46	5.68	-6.70	201.14	VERIF.
13	11.15	361.45	-31.56	-34.29	-104.02	5.74	-8.67	260.04	VERIF.
14	11.98	397.28	-37.28	-40.01	-130.77	5.78	-10.90	326.92	VERIF.
15	12.81	433.23	-43.41	-46.14	-160.76	5.77	-13.40	401.90	VERIF.
16	13.64	469.23	-49.96	-52.69	-194.03	5.74	-16.17	485.08	VERIF.
17	14.47	505.21	-56.92	-59.65	-230.62	5.67	-19.22	576.54	VERIF.
18	15.30	734.12	-64.29	-67.02	-167.60	5.56	-13.97	419.01	VERIF.

### Legenda:

SLU-01 ÷ 05

Azione verticale complessiva alla base del silos

$N_{sd}$  max

Massimo sforzo normale sul generico montante valutato come  $N_{tot}$  / n° montanti

Montante

Si riporta nella colonna di sinistra l'area minima necessaria valutata come  $N_{sd,max} / \sigma_{yd}$  e nella colonna di destra il modello di montante che soddisfa l'equazione:  $A_{mont} > A_{min}$



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 47

## 10.4 Verifica unioni bullonate

Vir	z	N <sub>Sd</sub> max	N <sub>Sd</sub> min	ΔN (1)	ΔN (2)	ΔN <sub>Sd</sub>	Montante		
	m	t/mont	t/mont	t/mont	t/mont	t/mont	Tipo	Unione	V <sub>Rd</sub> [t]
1	1.19	1.33	0.17	1.33	0.17	1.33	L2NS	11 M8	15.46
2	2.02	2.65	0.11	1.31	0.06	1.31	L2NS	11 M8	15.46
3	2.85	4.42	0.01	1.78	0.10	1.78	L2NS	11 M8	15.46
4	3.68	6.58	-0.12	2.15	0.13	2.15	L2NS	11 M8	15.46
5	4.51	9.03	-0.29	2.46	0.17	2.46	L2NS	11 M8	15.46
6	5.34	11.94	-0.49	2.91	0.20	2.91	L2NS	11 M8	15.46
7	6.17	15.42	-0.72	3.47	0.24	3.47	L2NS	11 M8	15.46
8	7.00	19.25	-1.39	3.84	0.67	3.84	L3NS	11 M8	15.46
9	7.83	23.44	-2.35	4.18	0.96	4.18	L3NS	11 M8	15.46
10	8.66	27.96	-3.55	4.52	1.20	4.52	L3NS	11 M8	15.46
11	9.49	32.80	-5.00	4.85	1.45	4.85	L3NS	11 M8	15.46
12	10.32	37.96	-6.70	5.16	1.70	5.16	L4NS	11 M8	15.46
13	11.15	43.44	-8.67	5.47	1.96	5.47	L4NS	11 M8	15.46
14	11.98	49.22	-10.90	5.78	2.23	5.78	L5NS	11 M8	15.46
15	12.81	55.31	-13.40	6.08	2.50	6.08	L5NS	11 M8	15.46
16	13.64	61.69	-16.17	6.38	2.77	6.38	L7ND	11 M8	15.46
17	14.47	68.37	-19.22	6.68	3.05	6.68	L7ND	11 M8	15.46
18	15.30	83.92	-13.97	15.55	5.25	15.55	L8ND	11 M8	15.46

La bullonatura verticale dei montanti, realizzata con passo 75,5 mm, trasferisce il carico verticale dalle lamiera ai montanti verticali. Le virole non contribuiscono al supporto delle azioni verticali, ma svolgono la duplice funzione di trasmissione del carico e controventatura dei montanti.

Il carico trasmesso da ciascun anello corrisponde alla variazione di carico verticale tra l'anello precedente e quello considerato.

La resistenza del collegamento è valutata considerando la resistenza al taglio della bullonatura.



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

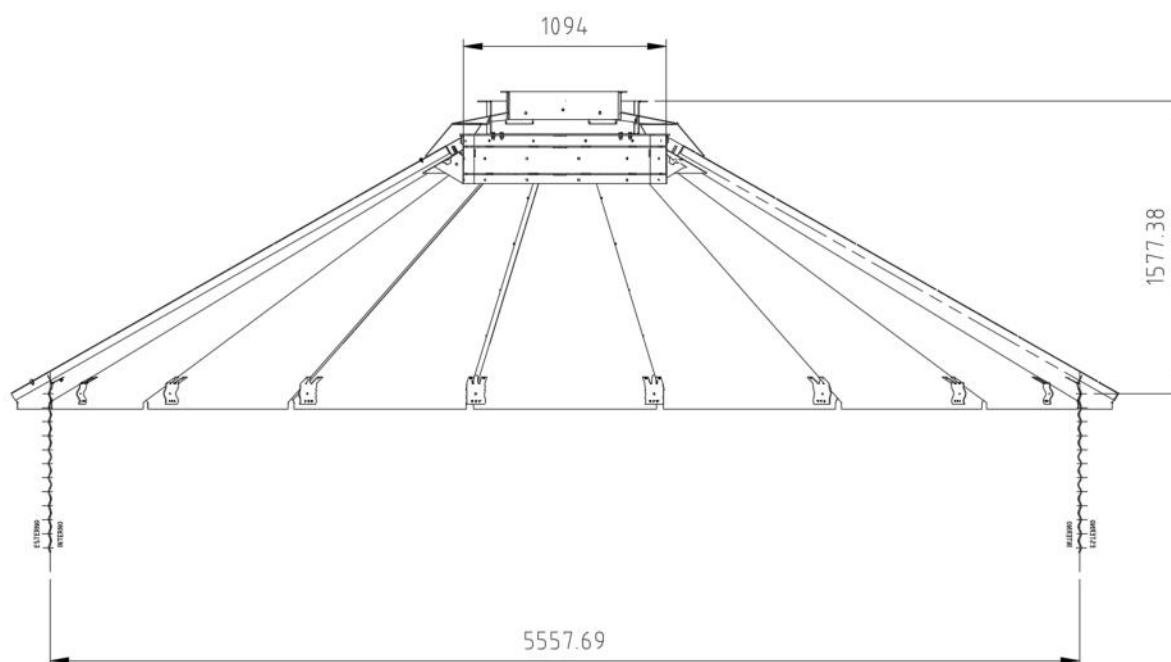
28/02/2020

Pag. 48

## 11. Verifica copertura

### 11.1 Geometria della copertura

La copertura è realizzata mediante spicchi di lamiera grecata sp. 1 mm i quali vengono affiancati ed uniti fino a formare una superficie tronco-conica a copertura del silos.



Le unioni sono realizzate mediante bullonatura sia superiormente che inferiormente, si riporta nel seguito dettaglio dello spicchio di copertura.



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

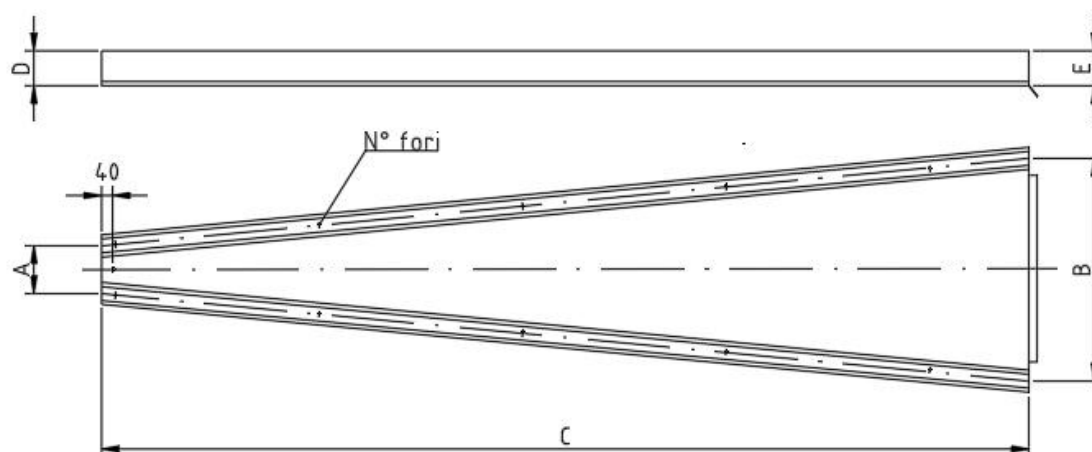
**mulmix**

6042-RC-03

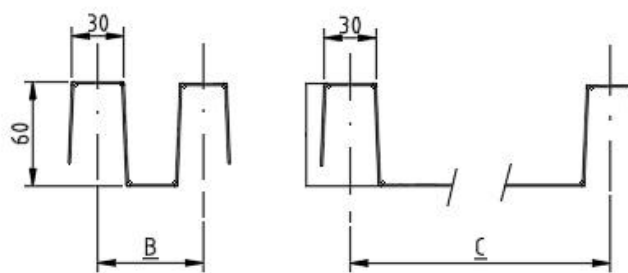
Rev.00

28/02/2020

Pag. 49



SEZIONI A LARGEZZA VARIABILE



Spicchio	A	B	C	D	E	N° fori	N° spicchi	Massa Kg	Codice
	222.7	1037.2	2684.3	60	60	6	18	17.9	C160106A2000



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 50

## 11.2 Carichi utilizzati nell'analisi

I carichi considerati nelle verifiche strutturali sono quelli dovuti a:

- Peso proprio della copertura G1
- Peso proprio degli elementi non strutturali G2
- Carico dovuto alla neve Q2

Si trascura la depressione dovuta all'azione del vento a favore di sicurezza.

$$G1 = 35 \text{ kg/m}^2$$

$$G2 = 1589 \text{ kg}$$

$$Q2 = 150 \text{ kg/m}^2$$

## 11.3 Combinazioni dei carichi

Si considera la combinazione dei carichi seguente:

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{k2} \quad \gamma_{G1} \quad 1.30$$

$$\gamma_{G2} \quad 1.50$$

$$\gamma_{Q2} \quad 1.50$$

$$\text{Carico distribuito: } Q = 2.71 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carico concentrato: } P = 0.51 \text{ kN/m}$$



## 11.4 Descrizione del metodo di calcolo

Si procede nel seguito ad una verifica tensionale schematizzando la struttura del tetto come una lastra isotropa omogenea di spessore costante pari a 1 mm.

La schematizzazione proposta permette di condurre le verifiche valutando la tensione combinata secondo il criterio di Von Mises data dalle tensioni circonferenziali e meridiana e confrontandola con la resistenza del materiale.

Le tensioni possono essere determinate seguendo il metodo proposto dalla norma UNI EN 1993-1-6:2007 Annesso D, il quale prevede di schematizzare la superficie conica come un cilindro equivalente e di determinare le tensioni membranali della superficie.

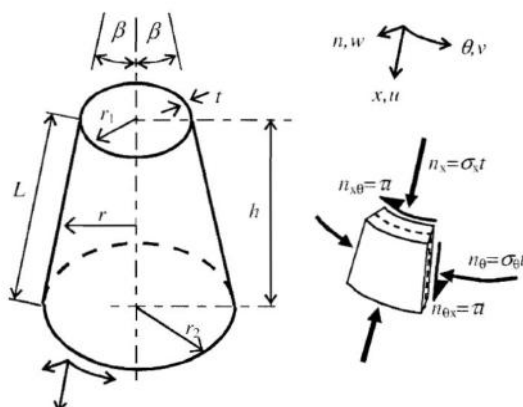


Figure D.9: Cone geometry, membrane stresses and stress resultants



## 11.5 Caratteristiche geometriche e meccaniche della copertura

h	1.60	[m]
L	3.21	[m]
r1	0.55	[m]
r2	2.78	[m]
$\beta$	30	[°]
	0.52	[rad]
t	0.001	[m]
E	210000	[Mpa]
$\sigma_{yk}$	250	[Mpa]
$\gamma_{M1}$	1.05	
$\sigma_{yd}$	238.1	[Mpa]

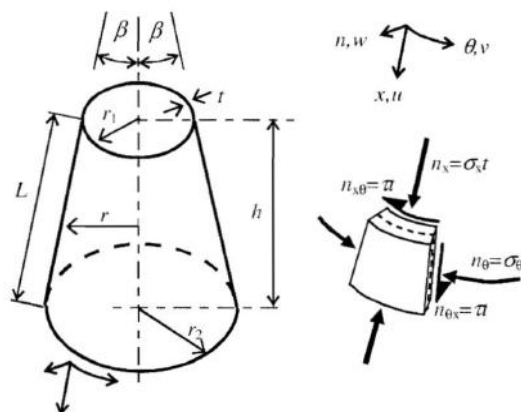


Figure D.9: Cone geometry, membrane stresses and stress resultants

## 11.6 Azioni meridiane

Si determina un cilindro equivalente per le azioni meridiane caratterizzato dalle dimensioni:

$$\ell_e = L = 3.21 \text{ m} \quad r_e = \frac{r}{\cos \beta} = 5.56 \text{ m}$$

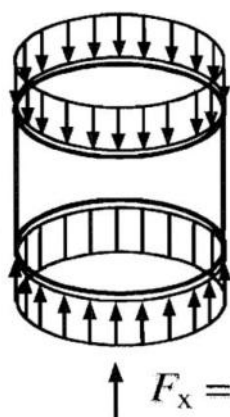
Il carico meridiano è dato da due componenti: una pressione radiale dovuta al peso proprio della copertura e della neve ed un carico lineare dovuto al carico premanente non strutturale sulla copertura.

q1	1.35	[kN/m²]	(Q x sen25°)
q2	0.1482	[kN/m]	(P)

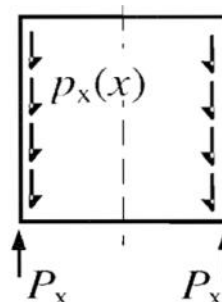
$\sigma_{x,Ed1}$	-4.34	[MPa]
$\sigma_{x,Ed2}$	-0.148	[MPa]

La tensione totale risulta:

$$\sigma_{x,Ed} = -4.49 \text{ [MPa]}$$



$$\sigma_x = -\frac{F_x}{2\pi r t}$$



$$\sigma_x = -\frac{1}{t} \int_0^l p_x \cdot dx$$



**11.7 Azioni circonferenziali**

Si determina un cilindro equivalente per le azioni circonferenziali caratterizzato dalle dimensioni:

$l_e$  : minimo tra le seguenti:

$$l_e = L$$

$$l_e = \left( \frac{r_2}{\sin \beta} \right) (0,53 + 0,125\beta) \quad r_e = 0,71r_2 \left[ \frac{1 - 0,1\beta}{\cos \beta} \right]$$

Risulta:

$$l_e = 2.58 \text{ m}$$

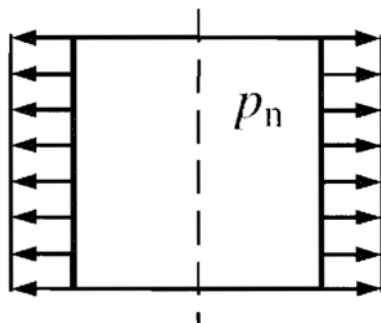
$$r_e = 3.53 \text{ m}$$

Il carico circonferenziale è dovuto alla pressione esterna normale al cilindro la quale può essere determinata noto il carico Q mediante:

$$q = 2.34 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (Q \times \cos 30^\circ)$$

$$\sigma_{\theta,Ed} = 8.28 \text{ [MPa]}$$

calcolata come:



$$\sigma_{\theta} = p_n \cdot \frac{r}{t}$$



## 11.8 Verifica

La tensione totale si valuta secondo il criterio di Von Mises:

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{\theta,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{\theta,Ed}}$$

$$\sigma_{\theta,Ed} = 8.28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = -4.49 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq,Ed} = 11.215 \text{ MPa}$$

La tensione determinata risulta minore della resistenza a snervamento del materiale pari a 250 Mpa /  $\gamma_{M1} = 238 \text{ MPa}$



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 55

## 11.9 Verifica collegamento

Il collegamento della copertura al silos è realizzato mediante due staffe per ciascuno spicchio di copertura.

Ciascuna piastra presenta n° 3 bulloni M8 cl. 8.8

Si calcola nel seguito l'azione su ciascun bullone dovuta ai carichi applicati.

- sforzo totale di taglio 89 kN
- n° staffe 24
- taglio su ciascuna staffa 3.73 kN
- n° bulloni per staffa 3
- taglio su ciascun bullone 1.24 kN

Lo spessore minimo delle lamiere cui viene collegato il portale è pari a 8/10, si procede nel seguito al calcolo della resistenza dell'unione.

### Resistenza al taglio dei bulloni

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A_{res} \frac{f_{tb}}{\gamma_{M2}}$$

Bulloni M8 cl. 8.8

$A_{res} = 36.60 \text{ mm}^2$

$\gamma_{M2} = 1.25$

$f_{tk} = 800 \text{ MPa}$

$F_{v,Rd} = 14.1 \text{ kN}$

### Resistenza al rifollamento lamiera di spessore minore

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha_b \cdot k_t \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$t = 0.8 \text{ mm}$

$d = 8 \text{ mm}$

$$k_t = \frac{0,8 \cdot t + 1,5}{2,5} = 0.86 \quad (\text{per } t < 1,25 \text{ mm})$$

$$\alpha_b = \min\left(1; \frac{e_1}{3 \cdot d}\right) = \min(1; 26/3 \times 8) = 0.96$$

$\gamma_{M2} = 1.25$

$f_{tk} = 420 \text{ MPa}$

$F_{b,Rd} = 4.4 \text{ kN}$

Il collegamento risulta verificato



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 56

## 12. Verifica tramoggia

### 12.1 Pressione sul fondo del cilindro

rapporto  $h/d = 2.75$  $C_b = 1.00$  $P_{vf} = 4.37 \text{ t/m}^2$  $P_b = P_{vf} \times C_b = 4.37 \text{ t/m}^2$ la pressione  $P_b$  agisce a livello dell'anello, cioè immediatamente sopra la tramoggia

### 12.2 Caratteristiche geometriche della tramoggia

$\alpha$	45 °	inclinazione rispetto all'asse verticale
A	24.3 m <sup>2</sup>	sezione del cilindro
u	17.5 m	circonferenza interna cilindro
s	3.0 mm	spessore lamiera
$h_h$	2.8 m	altezza totale tramoggia

### 12.2 Caratteristiche del prodotto insilato

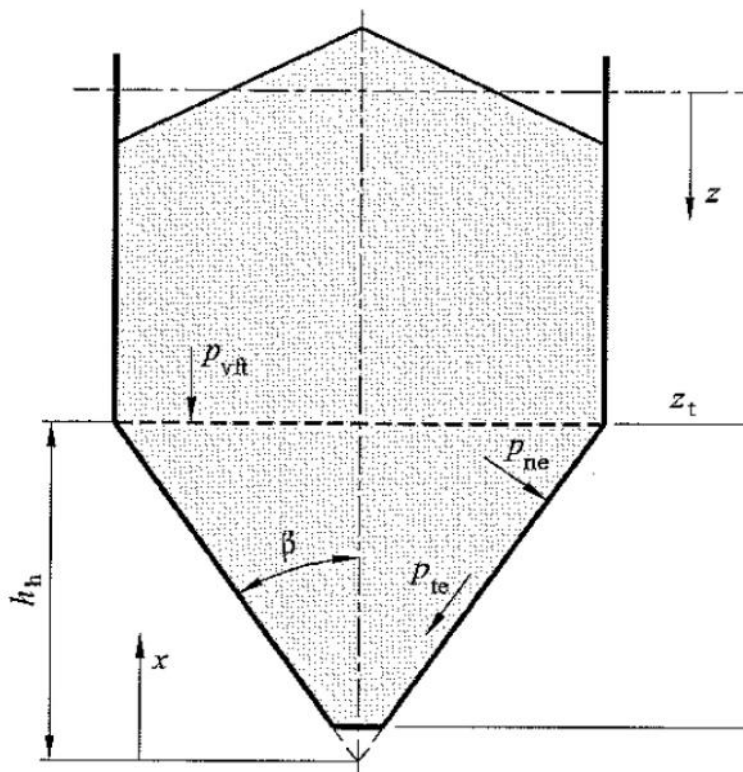
$\gamma$	0.92 t/m <sup>3</sup>	peso specifico prodotto
$\lambda$	0.54	rapporto delle pressioni
$\mu$	0.57	coeff. di attrito sulla parete
$\mu_{eff}$	0.22	coeff. di attrito efficace
S	2.00	
n	0.35	
b	0.20	
$F_f =$	0.96	

$\phi_i$	0.52	Angolo di attrito interno
$\phi_{wh}$	0.21	
$\varepsilon$	0.65	
$F_e =$	1.07	

 $p_{vft} = 4.37$  $n_e = 0.61159$



## 12.3 Pressioni dovute al prodotto contenuto sopra la tramoggia



## 12.4 Dimensionamento tramoggia

La tramoggia di scarico del silos viene realizzata utilizzando i seguenti materiali:

- Lamiera S250GD + Z200 UNI EN 10346
- Bulloni classe 8.8

$F_{tk, lamiera}$  330 Mpa

Il dimensionamento della tramoggia viene eseguito considerando la pressione sulla tramoggia valutata a tratti suddividendo lo spicchio in 16 segmenti ed integrando la tensione per ciascun tratto considerato.

L'integrazione viene eseguita con il metodo dei rettangoli:  $\sigma_{max} \times \Delta L \times s = F$ , successivamente la forza totale viene suddivisa per il numero di bulloni presenti nel tratto considerato e confrontata con la resistenza a taglio e rifollamento dell'unione.

$L_{spicchio} =$  3.93 m

Suddivisioni 16

$L_{suddivisione} =$  0.246 m

N.ro fori 0



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 58

Diam. fori . mm  
L spicchio 3929.88 mm

Passo fori 0 mm per L <= 0 m  
0 mm per L > 0 m

Diametro bulloni 12 mm

S res bulloni 84.3 mm<sup>2</sup>

File di fori 1

Spessore lamiera 3 mm

## Verifica bullonature orizzontali

S cono 28.29 m<sup>2</sup>

Ampiezza spicchio 18 °

S spicchio 1.41 m<sup>2</sup>

Pw max 1.01 t/m<sup>2</sup>

Pw per spicchio 1.44 t

Numero bulloni 21

Taglio per bullone 0.07 t

Diametro bulloni 12 mm

S res bulloni 84.3 mm<sup>2</sup>

$\tau_b$  0.08 t/cm<sup>2</sup>

$\sigma_{rif}$  0.19 t/cm<sup>2</sup>

## Verifica spessore lamiera e bullonature longitudinali

L	x	Pvf	Pve	Pnf	Ptf	Pne	Pte	pn,max	pt,max
m	m			t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>
0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.246	0.174	2.925	1.596	2.82	0.61	1.71	0.37	2.82	0.61
0.491	0.347	3.540	2.245	3.41	0.74	2.41	0.52	3.41	0.74
0.737	0.521	3.903	2.698	3.76	0.81	2.90	0.63	3.76	0.81
0.982	0.695	4.145	3.043	4.00	0.86	3.27	0.71	4.00	0.86
1.228	0.868	4.312	3.318	4.16	0.90	3.56	0.77	4.16	0.90
1.474	1.042	4.428	3.541	4.27	0.92	3.80	0.82	4.27	0.92
1.719	1.216	4.507	3.724	4.35	0.94	4.00	0.86	4.35	0.94
1.965	1.389	4.557	3.875	4.40	0.95	4.16	0.90	4.40	0.95
2.211	1.563	4.584	3.999	4.42	0.96	4.29	0.93	4.42	0.96
2.456	1.737	4.592	4.101	4.43	0.96	4.40	0.95	4.43	0.96
2.702	1.910	4.584	4.183	4.42	0.96	4.49	0.97	4.49	0.97
2.947	2.084	4.563	4.248	4.40	0.95	4.56	0.99	4.56	0.99
3.193	2.258	4.529	4.298	4.37	0.94	4.61	1.00	4.61	1.00
3.439	2.431	4.485	4.334	4.33	0.94	4.65	1.01	4.65	1.01
3.684	2.605	4.433	4.359	4.27	0.92	4.68	1.01	4.68	1.01
3.930	2.779	4.372	4.372	4.22	0.91	4.69	1.01	4.69	1.01



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

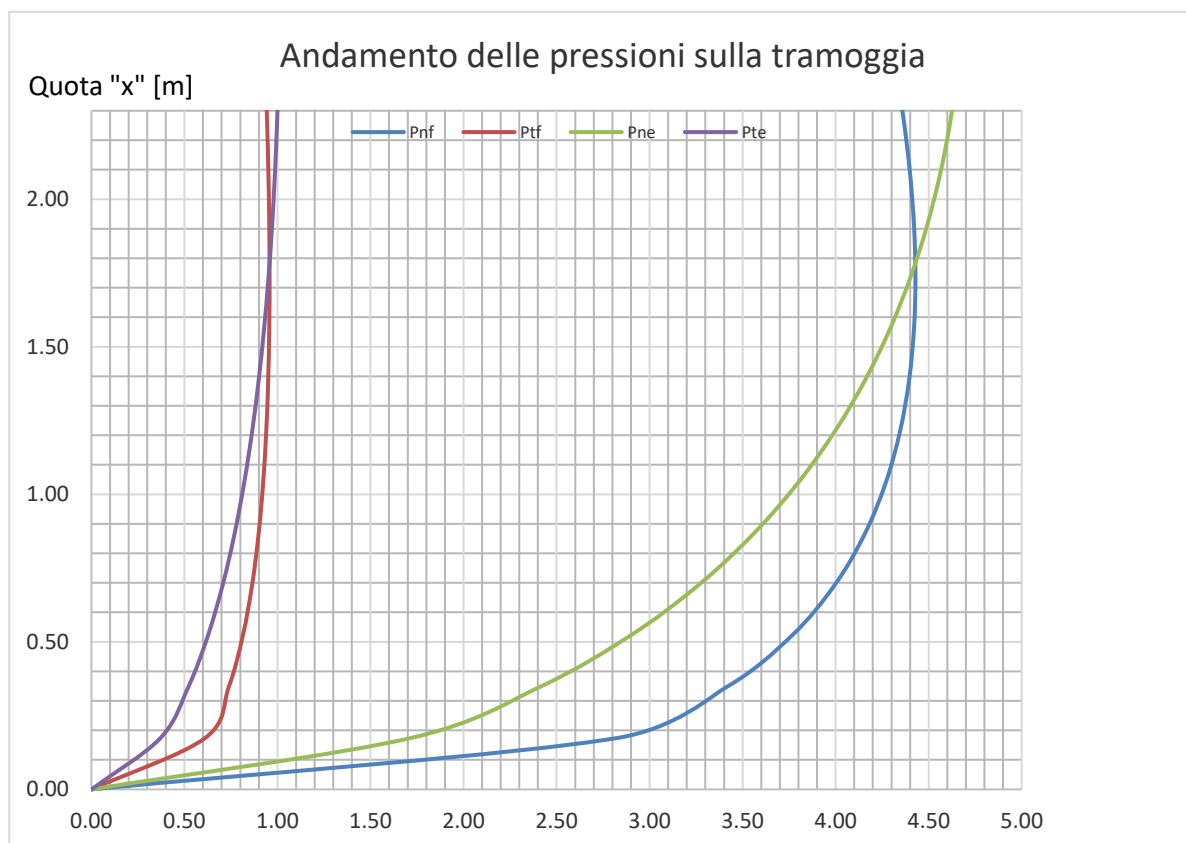


6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 59



x	$\sigma_{sd}$	Nsd	$\gamma_{Q1}$	V <sub>sd</sub>	$\Phi$ Bull.	Passo	F <sub>V,Rd</sub>	F <sub>b,Rd</sub>	Verifica
m	MPa	kN		kN/bull.		mm	kN	kN	
0.000	0.00	0.00	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
0.174	24.50	18.05	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
0.347	27.67	20.39	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
0.521	28.33	20.88	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
0.695	27.77	20.46	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
0.868	26.48	19.51	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
1.042	24.72	18.22	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
1.216	22.65	16.69	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
1.389	20.36	15.00	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
1.563	17.92	13.20	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
1.737	15.38	11.34	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
1.910	13.00	9.58	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
2.084	10.56	7.78	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
2.258	8.01	5.91	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
2.431	5.39	3.97	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
2.605	2.71	2.00	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0
2.779	0.00	0.00	1.5	0.00	M12	0	32.37	7.92	> 0



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 60

## 13. Carichi trasmessi alla struttura di sostegno

### RIEPILOGO CARICHI SUI MONTANTI CRITICI

	Compr.	Traz.	Taglio	Note
SLU-01	69.40	-	0.69	
SLU-02	8.34	-5.36	1.15	il segno negativo indica trazione
SLU-03	8.12	-5.58	1.15	il segno negativo indica trazione
SLU-04	83.92	-	9.40	
SLU-05	1.44	-	0.36	

valori in t

### RIEPILOGO CARICHI CON COEFFICIENTE DI SICUREZZA UNITARIO

valori riferiti al singolo piedino di appoggio

		Compr.	Traz.	Taglio	Note
G 1	Peso proprio struttura	0.82	-	-	
G 2	Peso non strutturale	0.13	-	-	
Q 1	Prodotto insilato	42.53	-	-	
Q 2	Neve	0.30	-	-	
Q 3	Vento	4.57	-4.57	0.77	
Q 4a	Sisma silos pieno	48.94	-48.94	9.40	
Q 4b	Sisma silos vuoto	-	-	0.36	

valori in t



## **15. Struttura di sostegno**

### **15.1 Caratteristiche della struttura**



La struttura di sostegno del silos è composta da una trave calandrata con profilo UPN 180 sulla quale viene appoggiato il silos. Tale trave poggia su 6 colonne con profilo HLS 200 alte 3.5 m disposte radialmente in corrispondenza della metà dei montanti del silos (uno sì/uno no).

Tra ciascuna coppia di colonne viene realizzato un controvento a "V" rovescia con 2 UPN 160 d=20mm



## 15.2 Materiali utilizzati

La struttura di sostegno del silos è realizzata utilizzando profili lamintati a caldo tagliati e forati secondo specifiche di progetto.

Si riportano di seguito i materiali considerati nella presente relazione di calcolo.

### - Profili laminati a caldo

Profilati in S275 UNI EN 10025-1:2005 – zincati a caldo per immersione.

### - Unioni bullonate

vite TE M8 in acciaio 8.8 secondo UNI 5739;  
vite TE M10 in acciaio 8.8 secondo UNI 5739;  
vite TE M14 in acciaio 8.8 secondo UNI 5739;  
vite TE M16 in acciaio 8.8 secondo UNI 5739;  
rosette piane in acciaio C 50 secondo UNI 6592  
dadi esagonali in acciaio 6S secondo UNI 5589

*Protezione alla corrosione:*

Zincatura elettrolitica



## 15.3 Analisi dei carichi e combinazioni considerate

Ai fini del dimensionamento strutturale, si considera il silos sovrastante la struttura come un corpo rigido che trasmette i carichi alla struttura stessa in corrispondenza dei piedi di appoggio del silos.

Si considerano gli stessi carichi definiti nell'analisi del silos, in particolare:

- Peso proprio della struttura;
- Peso proprio del silos;
- Carico sulla copertura dovuto alla neve;
- Carico dovuto all'azione del vento;
- Azione sismica.

Per tenere conto dei carichi di cui sopra si applicano ai nodi corrispondenti agli appoggi del silos le azioni determinate in precedenza ad eccezione dell'analisi sismica per la quale si procede ad un'analisi statica equivalente applicando la spinta sismica al baricentro del prodotto insilato e combinando le sollecitazioni così ottenute con i carichi statici.

Si riportano nel seguito i risultati delle analisi e le verifiche strutturali.

### 15.3.1 Sintesi dei carichi considerati

#### Azioni

Peso proprio strutturale	$G_1$	
Peso del prodotto insilato	$Q_1$	(valutato nella fase di svuotamento)
Carico della neve	$Q_2$	
Carico del vento	$Q_3$	
Carico del sisma	$Q_4$	



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 64

## 15.3.2 Combinazioni dei carichi

Si riportano di seguito le tipologie di combinazioni dei carichi considerate nelle analisi

### COMBINAZIONE SLU-01

Silos pieno durante la fase di scarico, azione contemporanea di vento e neve.

$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2}$	$\gamma_{G1}$	1.30
	$\gamma_{G2}$	1.50
	$\gamma_{Q1}$	1.50
	$\gamma_{Q2}$	1.50
	$\psi_{02}$	0.50
	$\gamma_{Q3}$	1.50
	$\psi_{03}$	0.60
	$\gamma_{Qi}$	1.50
	$\psi_{0i}$	-

### COMBINAZIONE SLU-02

Silos vuoto, azione dominante del vento.

$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2}$	$\gamma_{G1}$	1.30
	$\gamma_{G2}$	-
	$\gamma_{Q1}$	-
	$\gamma_{Q2}$	1.50
	$\psi_{02}$	-
	$\gamma_{Q3}$	1.50
	$\psi_{03}$	1.00
	$\gamma_{Qi}$	1.50
	$\psi_{0i}$	-



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 65

## COMBINAZIONE SLU-03

Silos pieno durante la fase di scarico, azione del sisma nella direzione controventata

E+G1+G2+y21Qk1	$\gamma_{G1}$	1.00
	$\gamma_{G2}$	1.00
	$\gamma_{Q1}$	0.80
	$\gamma_{Q4}$ (E)	1.00

## COMBINAZIONE SLU-04

Silos pieno durante la fase di scarico, azione del sisma nella direzione senza controventi

E+G1+G2+y21Qk1	$\gamma_{G1}$	1.00
	$\gamma_{G2}$	1.00
	$\gamma_{Q1}$	0.80
	$\gamma_{Q4}$ (E)	1.00



## 15.4 Modello di calcolo

Lo studio dell'opera oggetto della presente relazione è stata eseguita mediante software di analisi strutturale MIDAS GEN implementando un'analisi di tipo lineare statica.

La struttura di supporto del silos è stata modellata utilizzando elementi lineari "frame" ai quali è stata assegnata l'effettiva geometria dei componenti strutturali.

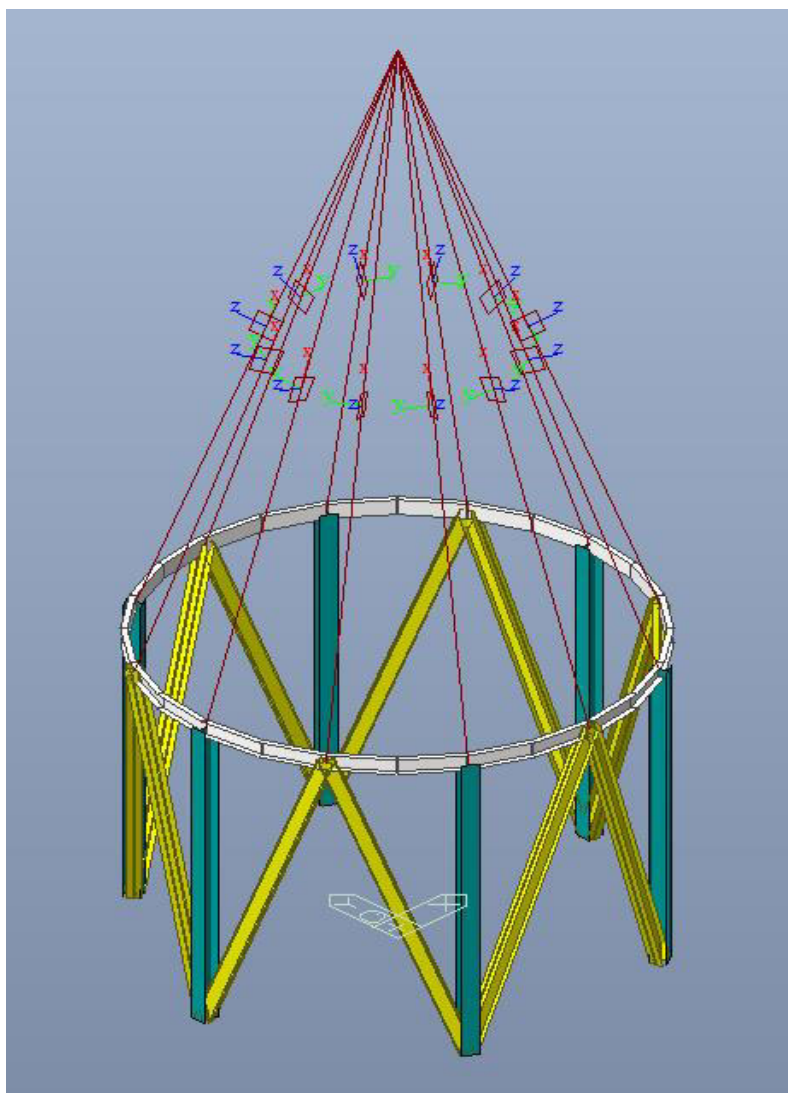


Fig. Vista estrusa del modello di calcolo



## RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 67

Come si evince dalla figura precedente, il silos è stato modellato considerando tutta la massa del prodotto insilato applicata in corrispondenza del baricentro e degli elementi rigidi di collegamento tra il baricentro stesso ed i punti di collegamento tra silos e struttura. Tale schematizzazione permette di cogliere l'effetto irrigidente fornito dal silos stesso e di cogliere gli aumenti dello sforzo normale e del momento alla base dovuti alle azioni orizzontali applicate alla quota del baricentro delle masse.

Come previsto dalla norma UNI EN 1998-4:2006 ai fini della determinazione dell'azione sismica, è stata considerato l'intero volume di prodotto insilato, ma avente massa pari all'80% della massa totale.

La norma prescrive, inoltre, che nell'applicare la massa al baricentro del silos si tenga in considerazione l'inerzia rotazionale dell'insilato attorno agli assi principali di inerzia del solido.

Tale parametro è stato determinato realizzando un modello solido del prodotto insilato mediante software Autodesk Inventor®.

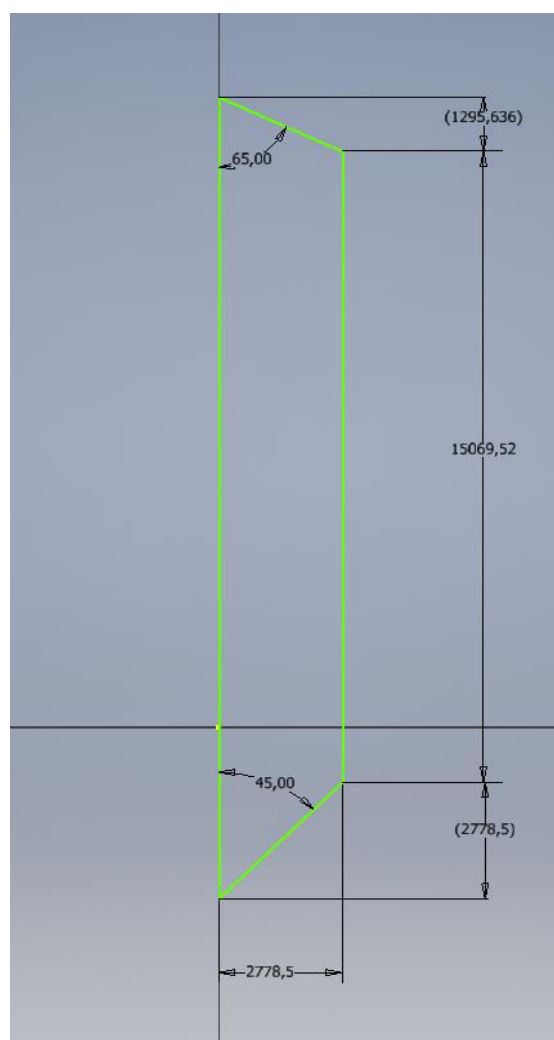


Fig. Parametri geometrici del prodotto insilato (sezione)



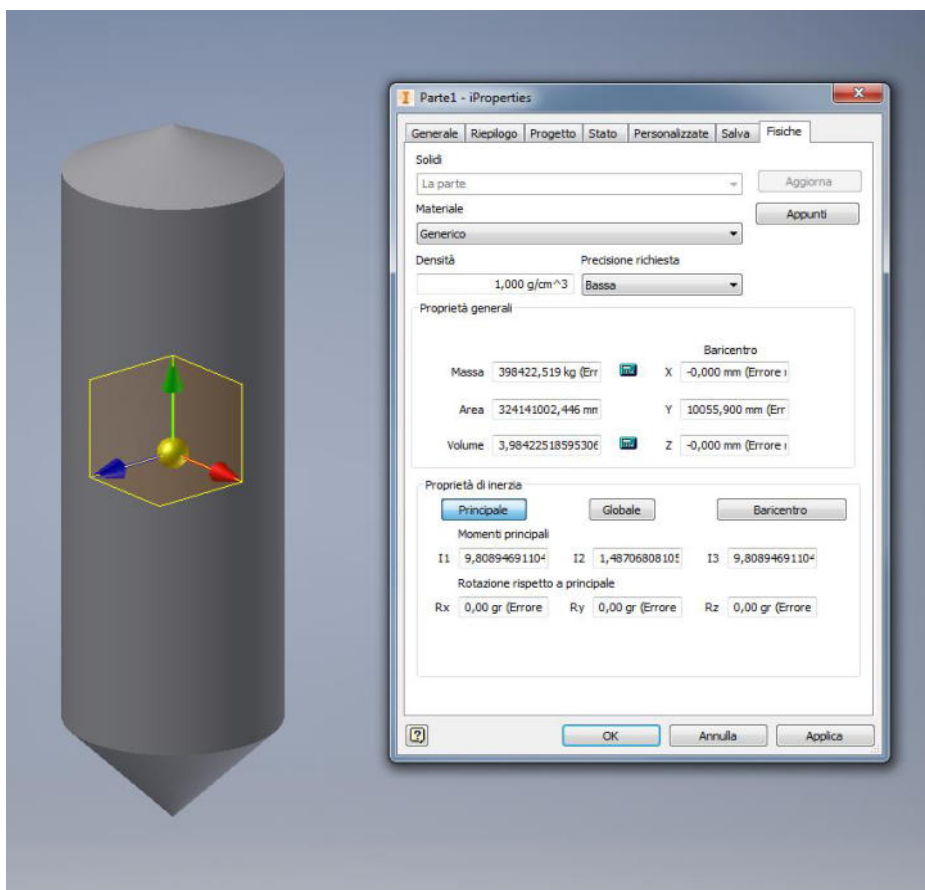


Fig. determinazione delle caratteristiche di inerzia del volume di prodotto

Il software restituisce i valori seguenti:

$$I1 = 9.809E+012 \text{ kg mm}^2$$

$$I2 = 1.487E+013 \text{ kg mm}^2$$

$$I3 = 9.809E+012 \text{ kg mm}^2$$

I valori di cui sopra sono stati assegnati al modello di calcolo in modo da cogliere l'effettiva rigidità dovuta al prodotto contenuto nel silos.

La massa totale del prodotto insilato è pari 398.4 t

Mentre il peso del silos è pari a: 9.85 t

Pertanto la massa assegnata al nodo è pari 327 t (80% del cereale + peso silos)

Il peso della struttura metallica che sostiene il silos viene determinato in automatico dal program



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 69

## 15.5 Giudizio di ammissibilità dei risultati ottenuti

L'affidabilità del programma di calcolo, il quale risulta validato attraverso numerosi casi di studio analizzati dalla casa distributrice del software i cui risultati sono disponibili contattando la società MIDAS information technology co. Ltd. ([www.midasuser.com](http://www.midasuser.com)).

E' stata eseguita una verifica dei risultati delle simulazioni in particolare per quanto riguarda il peso proprio della struttura modellata.

Si ritiene accettabile uno scostamento al più del 15% tra la struttura reale e quella modellata giustificata dal fatto che nel modello di calcolo le aste rappresentano gli assi delle travi reali e non vengono modelate piastre e fazzoletti di rinforzo, pertanto il peso proprio potrebbe discostarsi lievemente da quello reale.

Profilo dell'asta	Peso unitario	Lunghezza elemento	n°	Peso totale	
HLS200	34.60 kg/m	3.50 m	6	726.60	kg
UPN180	22.00 kg/m	2.91 m	6	384.12	kg
UPN160	18.80 kg/m	3.76 m	24	1696.51	kg

Peso totale della struttura: 2807.23 kg



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 70

Il peso proprio della struttura misurato dal programma di calcolo risulta:

BEAM & TRUSS BOM TYPE1 SECT ID, SECT NAME, MATERIAL							Unit System : kN , m	
SECT ID	SECTION NAME	MATERIAL ID	MATERIAL NAME	DENSITY	LENGTH	PAINT AREA INNER	PAINT AREA OUTER	WEIGHT
1	HLS200	1	S275	7.698e+001	2.157e+001	0.000e+000	2.438e+001	7.328e+000
2	UPN180	1	S275	7.698e+001	1.741e+001	0.000e+000	1.086e+001	3.753e+000
3	2UPN160	1	S275	7.698e+001	4.647e+001	0.000e+000	5.251e+001	1.722e+001
SUMMATION :					8.545e+001	0.000e+000	8.775e+001	2.830e+001

La differenza percentuale tra la massa calcolata dal programma e quella calcolata manualmente è pari a: 3%

Si ritiene quindi che il programma di calcolo sia adeguato allo studio della struttura in oggetto.



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03	Rev.00
28/02/2020	Pag. 71

## 15.6 Analisi modale della struttura e determinazione del periodo proprio

Per determinare l'entità dell'azione sismica da applicare secondo le due direzioni principali della struttura, è stata condotta un'analisi modale i cui risultati sono presentati di seguito.

Node	Mode	UX		UY		UZ	
EIGENVALUE ANALYSIS							
	Mode	Frequency				Period	
	No	(rad/sec)		(cycle/sec)		(sec)	
	1	0.2873		0.0457		21.8732	
	2	0.8397		0.1336		7.4825	
	3	0.8397		0.1336		7.4825	
	4	16.1431		2.5693		0.3892	
	5	16.1431		2.5693		0.3892	
	6	69.5501		11.0692		0.0903	
MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT							
	Mode	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	No	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.0151	0.0151	0.3115	0.3115	0	0
	3	0.3115	0.3267	0.0151	0.3267	0	0
	4	0.5456	0.8723	99.1277	99.4544	0	0
	5	99.1277	100	0.5456	100	0	0
	6	0	100	0	100	100	100
	Mode	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	No	MASS	SUM	MASS	SUM	MASS	SUM
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.1328	0.1328	2.7361	2.7361	0	0
	3	2.7361	2.8689	0.1328	2.8689	0	0
	4	4.7919	7.6608	870.6014	873.47	0	0
	5	870.601	878.2622	4.7919	878.262	0	0
	6	0	878.2622	0	878.262	878.2622	878.2622

Si può evidenziare come il primo modo significativo (4° modo) è tale per cui viene movimentato il 99% della massa, pertanto il periodo proprio della struttura corrispondente al 4° modo viene utilizzato per la determinazione dell'azione sismica.

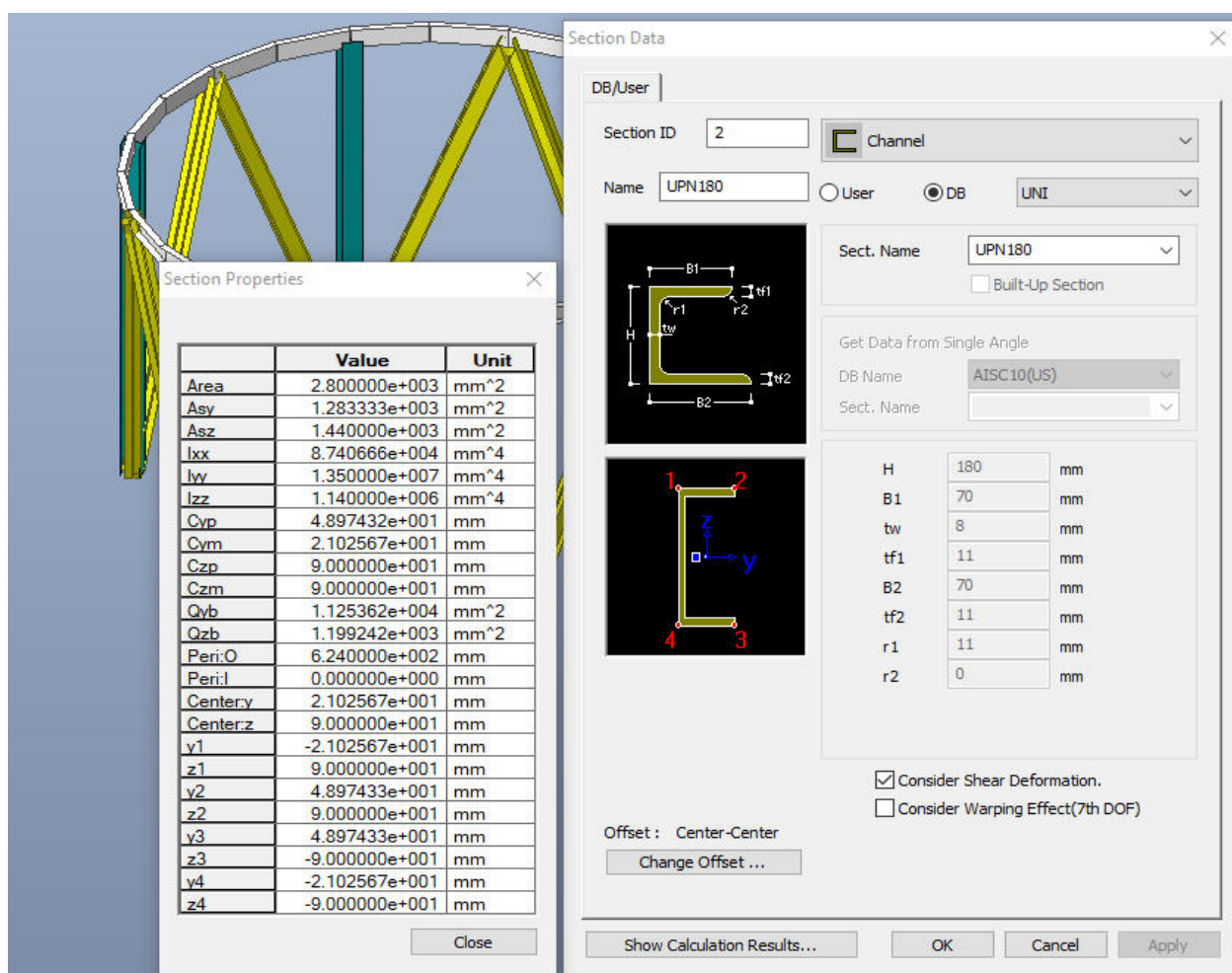


## 15.7 Verifiche sugli elementi strutturali

### 15.7.1 Travi di appoggio

Le travi sulle quali appoggia il silos sono realizzate con una coppia di profili laminati a caldo con sezione UPN180. Le travi sono realizzate in materiale S275 JR zincato a caldo.

Le caratteristiche inerziali della sezione sono le seguenti:



The image displays a structural analysis software interface. On the left, a 3D model of a silo structure is shown with yellow support beams. Overlaid on this is a 'Section Properties' window showing a table of values for various properties. On the right, a 'Section Data' window is open, showing the configuration for a 'Channel' section, specifically an 'UPN180' profile. This window includes geometric diagrams, a table of dimensions, and checkboxes for 'Consider Shear Deformation' and 'Consider Warping Effect (7th DOF)'.

	Value	Unit
Area	2.800000e+003	mm <sup>2</sup>
Asy	1.283333e+003	mm <sup>2</sup>
Asz	1.440000e+003	mm <sup>2</sup>
Ixx	8.740666e+004	mm <sup>4</sup>
Iyy	1.350000e+007	mm <sup>4</sup>
Izz	1.140000e+006	mm <sup>4</sup>
Cyp	4.897432e+001	mm
Cym	2.102567e+001	mm
Czp	9.000000e+001	mm
Czm	9.000000e+001	mm
Qyb	1.125362e+004	mm <sup>2</sup>
Qzb	1.199242e+003	mm <sup>2</sup>
Peri:O	6.240000e+002	mm
Peri:I	0.000000e+000	mm
Center:y	2.102567e+001	mm
Center:z	9.000000e+001	mm
y1	-2.102567e+001	mm
z1	9.000000e+001	mm
y2	4.897433e+001	mm
z2	9.000000e+001	mm
y3	4.897433e+001	mm
z3	-9.000000e+001	mm
y4	-2.102567e+001	mm
z4	-9.000000e+001	mm

**Section Data**

DB/User

Section ID: 2

Name: UPN180

Sect. Name: UPN180

Get Data from Single Angle

DB Name: AISC10(US)

Sect. Name:

H	180	mm
B1	70	mm
tw	8	mm
tf1	11	mm
B2	70	mm
tf2	11	mm
r1	11	mm
r2	0	mm

☒ Consider Shear Deformation.

☐ Consider Warping Effect (7th DOF)

Offset: Center-Center

Change Offset ...

Show Calculation Results... OK Cancel Apply



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03 Rev.00

28/02/2020 Pag. 73

Elem	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	M-z (kN*m)
9	STL ENV_STR(max)	0.06	0	0.21	0	0.08	0
13	STL ENV_STR(max)	0.06	0.02	0.21	0	0.08	0.01
24	STL ENV_STR(max)	0.06	0.01	-0.16	0	0.08	0.01
28	STL ENV_STR(max)	0.06	0.01	-0.16	0	0.08	0
7	STL ENV_STR(max)	0.15	0	0.21	0	0.07	0
8	STL ENV_STR(max)	0.15	0.02	-0.16	0	0.07	0
10	STL ENV_STR(max)	0.06	0.01	-0.15	0	0.07	0
11	STL ENV_STR(max)	0.2	0	0.21	0	0.07	0
12	STL ENV_STR(max)	0.2	0.03	-0.16	0	0.07	0
14	STL ENV_STR(max)	0.06	0.01	-0.15	0	0.07	0.01
15	STL ENV_STR(max)	0.08	0	0.21	0	0.07	0
16	STL ENV_STR(max)	0.08	0.01	-0.16	0	0.07	0
17	STL ENV_STR(max)	0.06	0.01	0.21	0	0.07	0
18	STL ENV_STR(max)	0.06	0.01	-0.15	0	0.07	0

Verifica flessionale:

$$\sigma = M/W_{el} = 0.53 \text{ MPa} < 261.9 \text{ Mpa}$$

Si osserva che la trave di sommità sostanzialmente non supporta alcun carico. Questo è dovuto al fatto che le colonne di sostegno della struttura sono posizionate sullo stesso asse verticale dei montanti e dei silos, pertanto la trave ha principalmente una funzione di irrigidimento della struttura.



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 74

## 15.7.3 Verifica colonne di sostegno

Le colonne sono realizzate mediante profili HLS200 realizzati con materiale S275JR zincato a caldo.

Le caratteristiche inerziali della sezione sono le seguenti:

The image displays a software interface for structural analysis. On the left, a 3D model of a curved structure with yellow and green members is shown. Overlaid on this is a 'Section Properties' window showing a table of values and units for various properties. To the right, a 'Section Data' window is open, showing the configuration for an I-section column (HLS200) with dimensions and material properties.

**Section Properties**

	Value	Unit
Area	4.413124e+003	mm <sup>2</sup>
Asy	2.666667e+003	mm <sup>2</sup>
Asz	1.023000e+003	mm <sup>2</sup>
Ixx	7.813825e+004	mm <sup>4</sup>
Iyy	2.944304e+007	mm <sup>4</sup>
Izz	1.068494e+007	mm <sup>4</sup>
Cyp	1.000000e+002	mm
Cym	1.000000e+002	mm
Czp	9.300000e+001	mm
Czm	9.300000e+001	mm
Qyb	2.950341e+004	mm <sup>2</sup>
Qzb	4.335635e+002	mm <sup>2</sup>
Peri:O	1.130097e+003	mm
Peri:l	0.000000e+000	mm
Center:y	1.000000e+002	mm
Center:z	9.300000e+001	mm
y1	-1.000000e+002	mm
z1	9.300000e+001	mm
y2	1.000000e+002	mm
z2	9.300000e+001	mm
y3	1.000000e+002	mm
z3	-9.300000e+001	mm
y4	-1.000000e+002	mm
z4	-9.300000e+001	mm

**Section Data**

DB/User

Section ID: 1

Name: HLS200

☒ User ☐ DB

AISC10(US)

Sect. Name: [ ]

☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name: AISC10(US)

Sect. Name: [ ]

H: 186 mm

B1: 200 mm

tw: 5.5 mm

tf1: 8 mm

B2: 0 mm

tf2: 0 mm

r1: 18 mm

r2: 0 mm

☒ Consider Shear Deformation.

☐ Consider Warping Effect(7th DOF)

Offset: Center-Center

Change Offset ...

Show Calculation Results... OK Cancel Apply



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 75

I puntoni inclinati che fungono da rompitratta per le travi di appoggio del silos sono collegati alla struttura mediante unioni bullonate in grado di trasferire sforzi normali e momenti flettenti.

Viene quindi condotta la verifica ad instabilità per sollecitazioni di presso flessione come indicato nel DM 14 Gennaio 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni"

Verifica secondo "Metodo B"

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_z \cdot f_{yk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_z \cdot f_{yk}} \leq 1 \quad (C4.2.37)$$

Con

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0 \quad \chi_{LT} = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \begin{cases} 1,0 \\ \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \cdot \frac{1}{f} \end{cases}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} \quad \Phi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[ 1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right]$$

$$\Phi = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad M_{cr} = \psi \cdot \frac{\pi}{L_{cr}} \cdot \sqrt{EJ_y \cdot GJ_T} \cdot \sqrt{1 + \left( \frac{\pi}{L_{cr}} \right)^2 \cdot \frac{EJ_{\omega}}{GJ_T}}$$



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

6042-RC-03 Rev.00

28/02/2020 Pag. 76

Il coefficiente di imperfezione viene estratto dalla tabella seguente:

Sezione trasversale		Limiti	Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità		
				S235, S275, S355, S420	S460	
Sezioni laminate		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a a <sub>0</sub>	
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b a	
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b a	
			$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d c	
Sezioni ad I saldate		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c	
		$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d	
Sezioni cave		Sezione formata "a caldo"	qualunque	a	a <sub>0</sub>	
		Sezione formata "a freddo"	qualunque	c	c	
Sezioni scatolari saldate		In generale	qualunque	b	b	
		saldature "spesse": $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ ; $h/t_w < 30$	qualunque	c	c	
Sezioni piene, ad U e T			qualunque	c	c	
Sezioni ad L			qualunque	b	b	
Curva di instabilità		a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Fattore di imperfezione $\alpha$		0,13	0,21	0,34	0,49	0,76



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

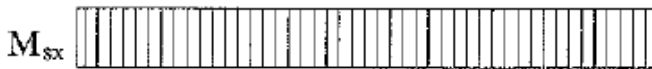







6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 77

Il fattore  $K_c$  dipende dalla distribuzione del momento flettente lungo l'asta secondo le formule riportate nella tabella seguente, estratta dalla normativa:

Distribuzione del momento flettente	Fattore correttivo $k_c$
 $\psi = M_{dx} / M_{sx} = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**mulmix**


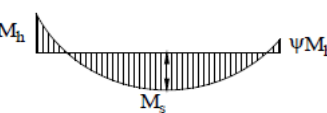
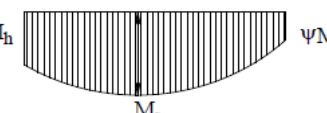
6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 78

I coefficienti correttivi  $\alpha$  ed i fattore di correlazione dei momenti flettenti  $K_{ii}$  vengono calcolati secondo le formule riportate nelle tabelle seguenti, estratte dalla normativa:

Diagramma del momento	Intervallo		Coefficienti $\alpha_{my}$ , $\alpha_{mz}$ , $\alpha_{mLT}$	
			Carico uniforme	Carico concentrato
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,1(1 - \psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h (1 + 2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h (1 + 2\psi)$

k	Sezioni di classe 3 e 4 (proprietà delle sezioni calcolate in campo elastico)	Sezioni di classe 1 e 2 (proprietà delle sezioni calcolate in campo plastico)
$k_{yy}$	$\alpha_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\alpha_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
$k_{yz}$	$k_{zz}$	$0,6 \cdot k_{zz}$
$k_{zy}$	$\left( 1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{(\alpha_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \geq \left( 1 - \frac{0,05}{(\alpha_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(\alpha_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \geq \left( 1 - \frac{0,1}{(\alpha_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$ per $\bar{\lambda}_z \geq 0,4$ $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(\alpha_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$ per $\bar{\lambda}_z < 0,4$
$k_{zz}$	$\alpha_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\alpha_{mz} \cdot \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 79

Si riportano nel seguito le verifiche eseguite secondo il metodo esposto nelle pagine precedenti.

## Sezione HLS200

	lo-2	3 500.00 mm	kyy	k33	0.49
	lo-3	3 500.00 mm	kyy	k32	0.77
			kxy	k23	0.76
	A	4 410.00 mm <sup>2</sup>	kxx	k22	1.29
Jx	J22	1.07E+07 mm <sup>4</sup>	wx	W22	107 000.00 mm <sup>3</sup>
Jy	J33	2.94E+07 mm <sup>4</sup>	wy	W33	317 000.00 mm <sup>3</sup>
	Jω	8.45E+07 mm <sup>6</sup>			
	JT	1.27E+05 mm <sup>4</sup>	L=0	M22	0
				M33	14 400 000
	fyk	275.00 Mpa		N	723 190 N
	γ <sub>M1</sub>	1.05	L=3.5 m	M22	0 Nmm
	f <sub>yd</sub>	261.90 Mpa		M33	-12 160 000 Nmm
	α <sub>x</sub>	0.34			
	α <sub>y</sub>	0.49	Inst-2	Verifica	0.98 < 1
	α <sub>LT</sub>	0.21	Inst-3	Verifica	0.80 < 1
	α <sub>my</sub> ; α <sub>mz</sub> ; α <sub>mLT</sub>	0.40			ASTE VERIFICATE
	α <sub>mz</sub>	1.00			
Ncrxx	Ncr22	1 806 984 N			
Ncryy	Ncr33	4 981 048 N			
λ <sub>x</sub>	λ <sub>22</sub>	0.82			
λ <sub>y</sub>	λ <sub>33</sub>	0.49			
Φ <sub>x</sub>	Φ <sub>22</sub>	0.94			
Φ <sub>y</sub>	Φ <sub>33</sub>	0.69			
χ <sub>x</sub>	χ <sub>22</sub>	0.71			
χ <sub>y</sub>	χ <sub>33</sub>	0.85			
	MA	-14 400 000			
	MB	12 160 000			
	ψ	3.41			
	Mcr	464957497 Nmm			
	K <sub>c</sub>	0.58			
	f	0.85			
	λ <sub>LT</sub>	0.43			
	Φ <sub>LT</sub>	0.62			
	χ <sub>LT</sub>	1.11			



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 80

Si riportano nel seguito estratto del tabulato dei parametri di sollecitazione estrapolati dal programma di calcolo

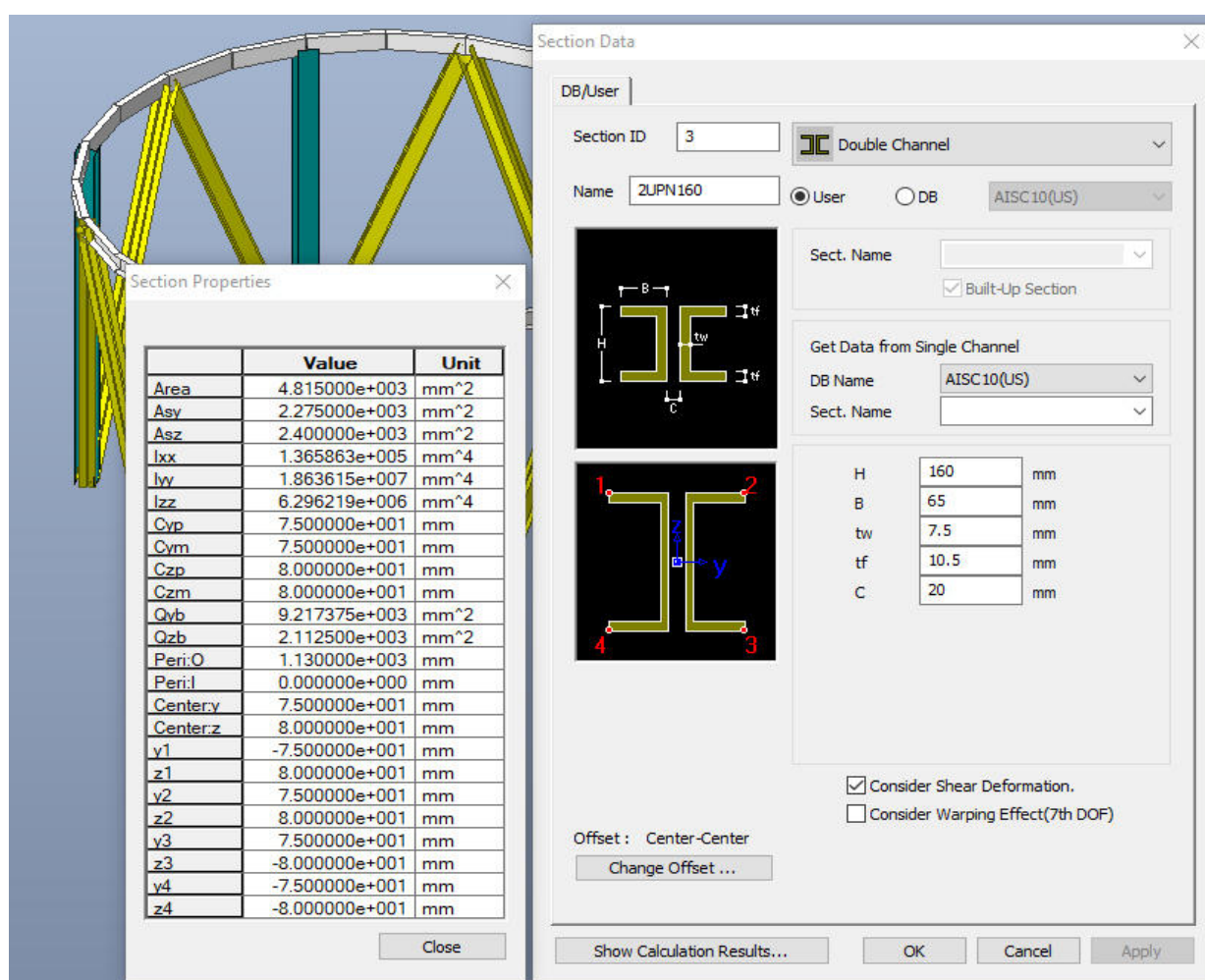
Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (k*m)	M-z (kN*m)
1	gLCB1	I[1]	-475.98	0	0	0	0	0
1	gLCB1	J[2]	-474.33	0	0	0	0	0
1	gLCB2	I[1]	-492.54	0	0	0	0	0
1	gLCB2	J[2]	-490.89	0	0	0	0	0
1	gLCB3	I[1]	-479.29	0	0	0	0	0
1	gLCB3	J[2]	-477.65	0	0	0	0	0
1	gLCB4	I[1]	-510.25	0	0.54	0	1.06	0
1	gLCB4	J[2]	-508.6	0	0.54	0	-0.89	0
1	gLCB5	I[1]	-533.09	0	0.9	0	1.76	0
1	gLCB5	J[2]	-531.44	0	0.9	0	-1.49	0
1	gLCB8	I[1]	-526.81	0	0.54	0	1.06	0
1	gLCB8	J[2]	-525.16	0	0.54	0	-0.89	0
1	gLCB9	I[1]	-549.65	0	0.9	0	1.76	0
1	gLCB9	J[2]	-548	0	0.9	0	-1.49	0
1	gLCB12	I[1]	-513.56	0	0.54	0	1.06	0
1	gLCB12	J[2]	-511.91	0	0.54	0	-0.89	0
1	<b>gLCB14</b>	<b>I[1]</b>	<b>-723.19</b>	<b>0</b>	<b>7.39</b>	<b>0</b>	<b>14.4</b>	<b>0</b>
1	<b>gLCB14</b>	<b>J[2]</b>	<b>-721.97</b>	<b>0</b>	<b>7.39</b>	<b>0</b>	<b>-12.16</b>	<b>0</b>
1	gLCB15	I[1]	-274.02	0	0.28	0	0.55	0
1	gLCB15	J[2]	-272.8	0	0.28	0	-0.46	0
1	gLCB18	I[1]	-318.17	0	0	0	0	0
1	gLCB18	J[2]	-316.95	0	0	0	0	0
1	gLCB19	I[1]	-329.21	0	0	0	0	0
1	gLCB19	J[2]	-327.99	0	0	0	0	0
1	gLCB20	I[1]	-320.38	0	0	0	0	0
1	gLCB20	J[2]	-319.16	0	0	0	0	0
1	gLCB21	I[1]	-341.02	0	0.36	0	0.71	0
1	gLCB21	J[2]	-339.8	0	0.36	0	-0.6	0
1	gLCB23	I[1]	-356.24	0	0.6	0	1.17	0
1	gLCB23	J[2]	-355.02	0	0.6	0	-0.99	0
1	gLCB25	I[1]	-352.06	0	0.36	0	0.71	0
1	gLCB25	J[2]	-350.84	0	0.36	0	-0.6	0
1	gLCB27	I[1]	-367.28	0	0.6	0	1.17	0



## 15.7.3 Verifica controventi a V

I controventi a V sono realizzati mediante 2 profili UPN160 realizzati con materiale S275JR zincato a caldo.

Le caratteristiche inerziali della sezione sono le seguenti:



The image shows a software interface for structural analysis. On the left, a 3D model of a curved structure is visible. In the center, a 'Section Properties' window displays a table of properties for a 'Double Channel' section. On the right, a 'Section Data' window shows the configuration for the section, including dimensions and material properties.

	Value	Unit
Area	4.815000e+003	mm <sup>2</sup>
Asy	2.275000e+003	mm <sup>2</sup>
Asz	2.400000e+003	mm <sup>2</sup>
Ixx	1.365863e+005	mm <sup>4</sup>
Iyy	1.863615e+007	mm <sup>4</sup>
Izz	6.296219e+006	mm <sup>4</sup>
Cyp	7.500000e+001	mm
Cym	7.500000e+001	mm
Czp	8.000000e+001	mm
Czm	8.000000e+001	mm
Qyb	9.217375e+003	mm <sup>2</sup>
Qzb	2.112500e+003	mm <sup>2</sup>
Peri:O	1.130000e+003	mm
Peri:I	0.000000e+000	mm
Center:y	7.500000e+001	mm
Center:z	8.000000e+001	mm
y1	-7.500000e+001	mm
z1	8.000000e+001	mm
y2	7.500000e+001	mm
z2	8.000000e+001	mm
y3	7.500000e+001	mm
z3	-8.000000e+001	mm
y4	-7.500000e+001	mm
z4	-8.000000e+001	mm

**Section Data**

DB/User

Section ID: 3

Name: 2UPN160

Double Channel

User

AISC10(US)

Sect. Name

Built-Up Section

Get Data from Single Channel

DB Name: AISC10(US)

Sect. Name

H: 160 mm

B: 65 mm

tw: 7.5 mm

tf: 10.5 mm

C: 20 mm

Consider Shear Deformation.

Consider Warping Effect(7th DOF)

Offset: Center-Center

Change Offset ...

Show Calculation Results... OK Cancel Apply



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 82

Si riportano nel seguito le verifiche eseguite secondo il metodo esposto nelle pagine precedenti.

## Sezione 2 UPN160

	lo-2	1 950.00 mm	kyy	k33	0.44
	lo-3	1 950.00 mm	kyy	k32	0.65
			kxy	k23	0.84
	A	4 815.00 mm <sup>2</sup>	kxx	k22	1.08
Jx	J22	6.30E+06 mm <sup>4</sup>	wx	W22	83 946.67 mm <sup>3</sup>
Jy	J33	1.86E+07 mm <sup>4</sup>	wy	W33	232 875.00 mm <sup>3</sup>
	Jω	3.26E+06 mm <sup>6</sup>			
	JT	1.37E+00 mm <sup>4</sup>	L=0	M22	0
				M33	290 000
	fyk	275.00 Mpa		N	774 890 N
	γM1	1.05	L=3.5 m	M22	0 Nmm
	fyd	261.90 Mpa		M33	-300 000 Nmm
	αx	0.34			
	αy	0.49	Inst-2	Verifica	0.91 < 1
	αLT	0.21	Inst-3	Verifica	0.76 < 1
αmy; αmz; αmLT		0.40			ASTE VERIFICATE
αmz		1.00			
Ncrxx	Ncr22	3 431 741 N			
Ncryy	Ncr33	10 154 597 N			
λx	λ22	0.62			
λy	λ33	0.36			
Φx	Φ22	0.76			
Φy	Φ33	0.60			
χx	χ22	0.83			
χy	χ33	0.92			
	MA	-300 000			
	MB	290 000			
	ψ	3.05			
	Mcr	7750006.2 Nmm			
	Kc	0.06			
	f	4.59			
	λLT	2.87			
	ΦLT	4.91			
	χLT	0.02			



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 83

Si riportano nel seguito estratto del tabulato dei parametri di sollecitazione estrapolati dal programma di calcolo

Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (k*m)	M-z (kN*m)
34	gLCB1	I[1]	-447.7	0	-0.91	0	-1.29	0
34	gLCB1	J[30]	-445.9	0	-0.19	0	0.82	0
34	gLCB2	I[1]	-463.27	0	-0.92	0	-1.32	0
34	gLCB2	J[30]	-461.48	0	-0.2	0	0.86	0
34	gLCB3	I[1]	-450.82	0	-0.91	0	-1.3	0
34	gLCB3	J[30]	-449.02	0	-0.19	0	0.83	0
34	gLCB4	I[1]	-486.88	0.1	-0.87	0	-1.21	0.2
34	gLCB4	J[30]	-485.08	0.1	-0.15	0	0.77	-0.17
34	gLCB5	I[1]	-512.99	0.16	-0.85	0	-1.16	0.33
34	gLCB5	J[30]	-511.19	0.16	-0.13	0	0.74	-0.28
34	gLCB8	I[1]	-502.45	0.1	-0.89	0	-1.25	0.2
34	gLCB8	J[30]	-500.65	0.1	-0.17	0	0.81	-0.17
34	gLCB9	I[1]	-528.56	0.16	-0.87	0	-1.2	0.33
34	gLCB9	J[30]	-526.76	0.16	-0.15	0	0.78	-0.28
34	gLCB12	I[1]	-489.99	0.1	-0.88	0	-1.22	0.2
34	gLCB12	J[30]	-488.19	0.1	-0.16	0	0.78	-0.17
<b>34</b>	<b>gLCB14</b>	<b>I[1]</b>	<b>-774.89</b>	<b>1.3</b>	<b>-0.11</b>	<b>0</b>	<b>0.29</b>	<b>2.71</b>
<b>34</b>	<b>gLCB14</b>	<b>J[30]</b>	<b>-773.55</b>	<b>1.3</b>	<b>0.42</b>	<b>0</b>	<b>-0.3</b>	<b>-2.31</b>
34	gLCB15	I[1]	-261.36	0.05	-0.54	0	-0.7	0.1
34	gLCB15	J[30]	-260.03	0.05	-0.01	0	0.37	-0.09
34	gLCB18	I[1]	-299.28	0	-0.63	0	-0.88	0
34	gLCB18	J[30]	-297.95	0	-0.1	0	0.53	0
34	gLCB19	I[1]	-309.66	0	-0.64	0	-0.9	0
34	gLCB19	J[30]	-308.33	0	-0.11	0	0.56	0
34	gLCB20	I[1]	-301.36	0	-0.63	0	-0.88	0
34	gLCB20	J[30]	-300.02	0	-0.1	0	0.54	0
34	gLCB21	I[1]	-325.39	0.06	-0.61	0	-0.83	0.13
34	gLCB21	J[30]	-324.06	0.06	-0.08	0	0.5	-0.11
34	gLCB23	I[1]	-342.8	0.11	-0.59	0	-0.79	0.22
34	gLCB23	J[30]	-341.47	0.11	-0.06	0	0.48	-0.19
34	gLCB25	I[1]	-335.78	0.06	-0.62	0	-0.85	0.13
34	gLCB25	J[30]	-334.44	0.06	-0.09	0	0.52	-0.11
34	gLCB27	I[1]	-353.18	0.11	-0.61	0	-0.82	0.22



# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

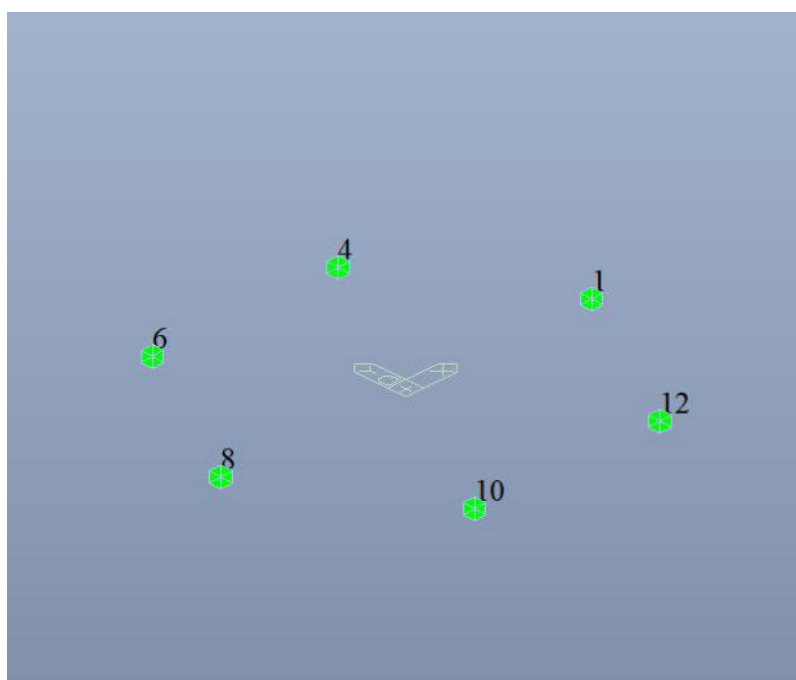
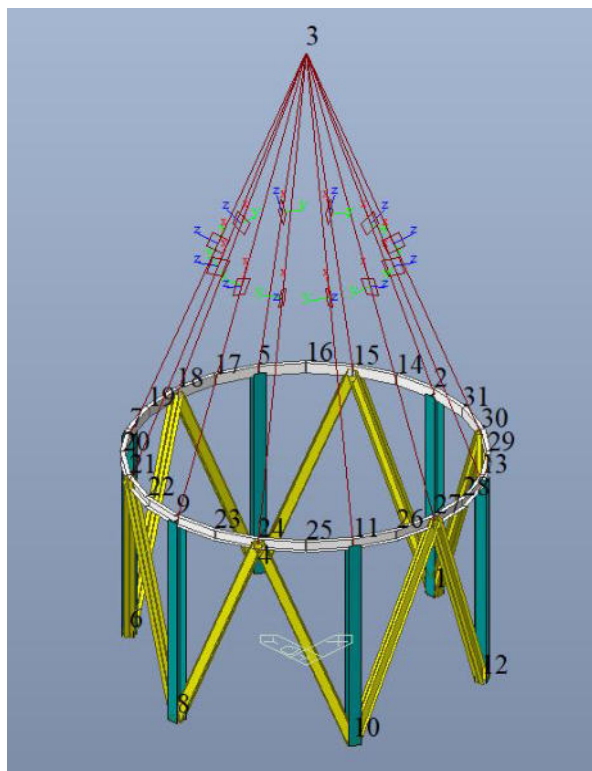
Rev.00

28/02/2020

Pag. 84

## 15.8 Reazioni vincolari alla base

Identificazione nodi alla base:





# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-03

Rev.00

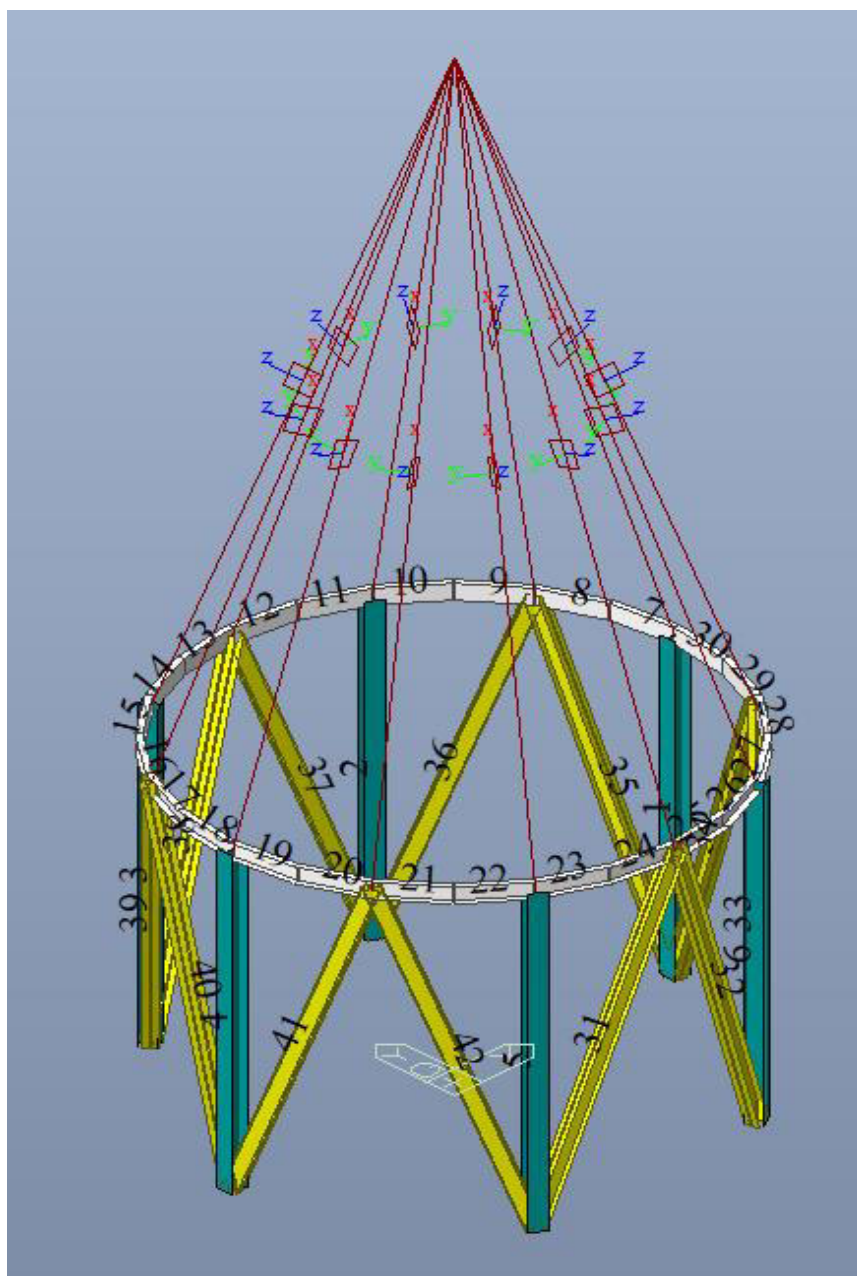
28/02/2020

Pag. 85

BASE REACTIONS							
Load	Node	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX[kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
STL ENV_STR(max)	1	-50.38	0.00	2162.14	0.00	0.68	0.00
	4	-31.63	25.30	1442.62	-0.35	0.34	0.00
	6	44.32	-42.39	1353.47	0.10	-0.33	0.00
	8	88.64	0.00	1353.47	0.00	-0.66	0.00
	10	44.32	105.12	1353.47	0.59	-0.33	0.47
	12	-31.63	76.77	1442.62	0.76	0.34	0.47
STL ENV_STR(min)	1	-158.85	0.00	759.74	0.00	-19.42	0.00
	4	-248.76	-76.77	731.99	-0.76	-20.35	-0.47
	6	-202.68	-105.12	-24.70	-0.59	-20.74	-0.47
	8	-66.68	0.00	-753.65	0.00	-20.18	0.00
	10	-202.68	42.39	-24.70	-0.10	-20.74	0.00
	12	-248.76	-25.30	731.99	0.35	-20.35	0.00



## 15.9 Numerazione delle aste





# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



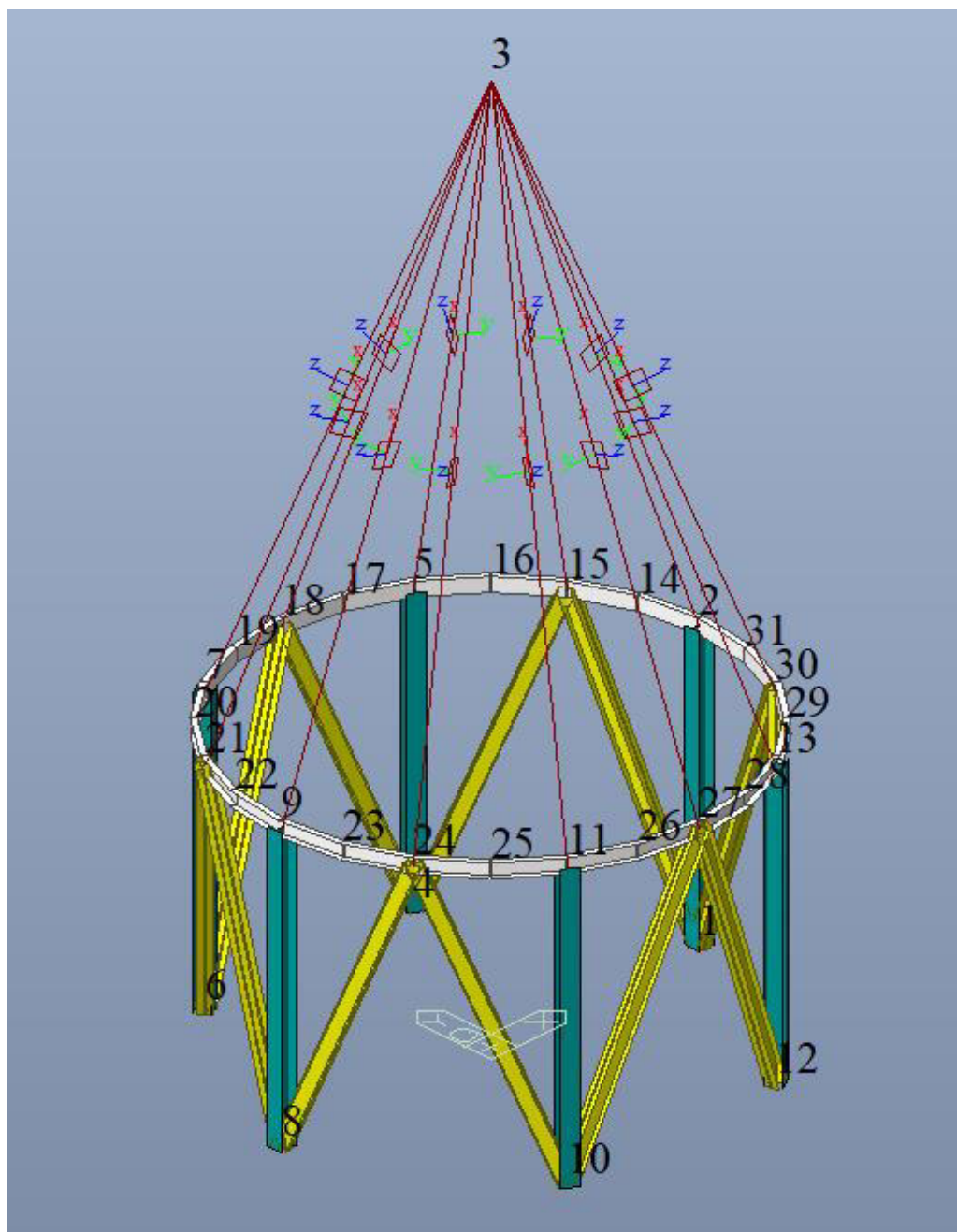
6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

Pag. 87

## 15.10 Numerazione dei nodi





# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

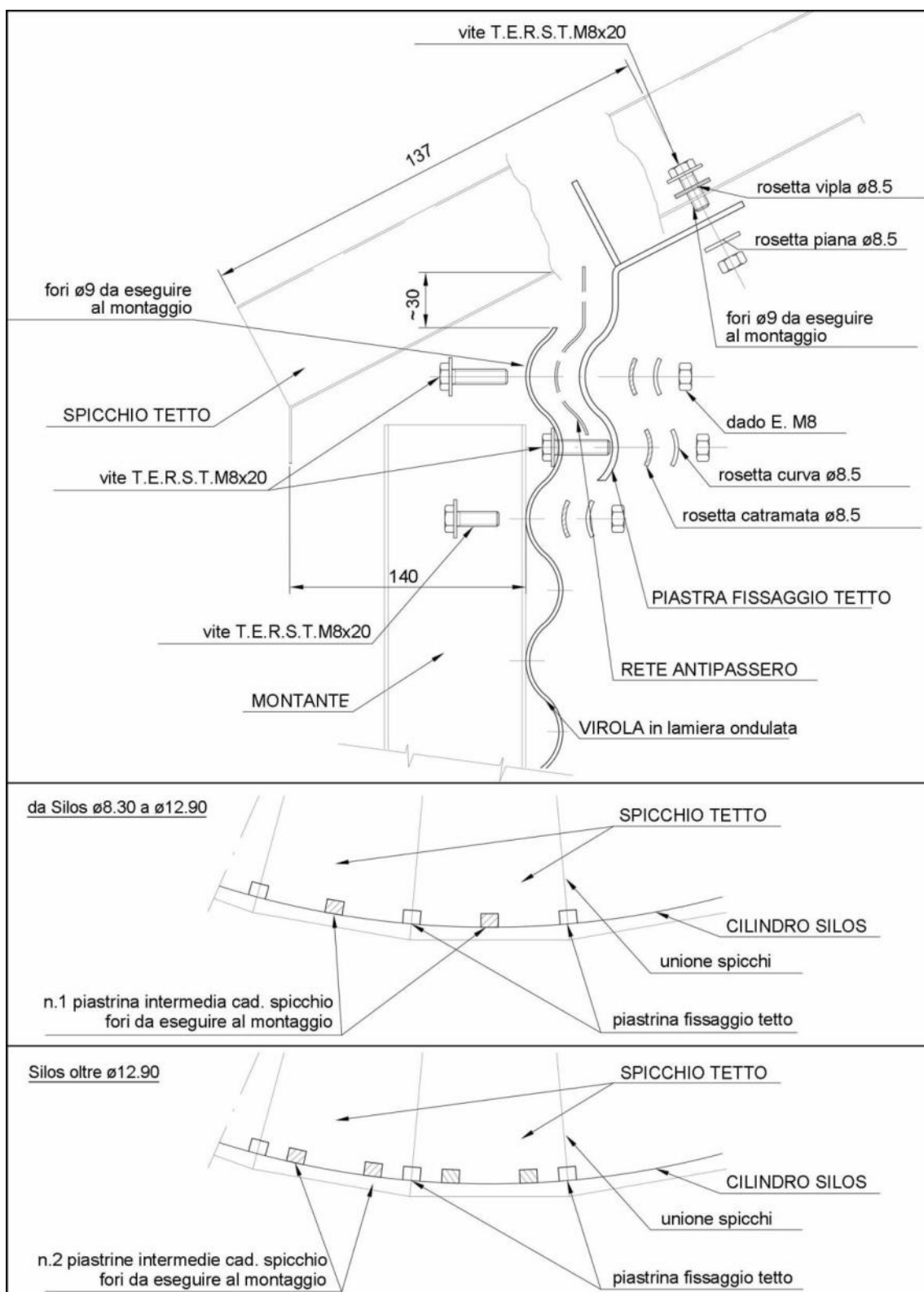
6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

App.1

## Appendice 1: Montaggio rete antipassero e piastrina di fissaggio tetto





# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

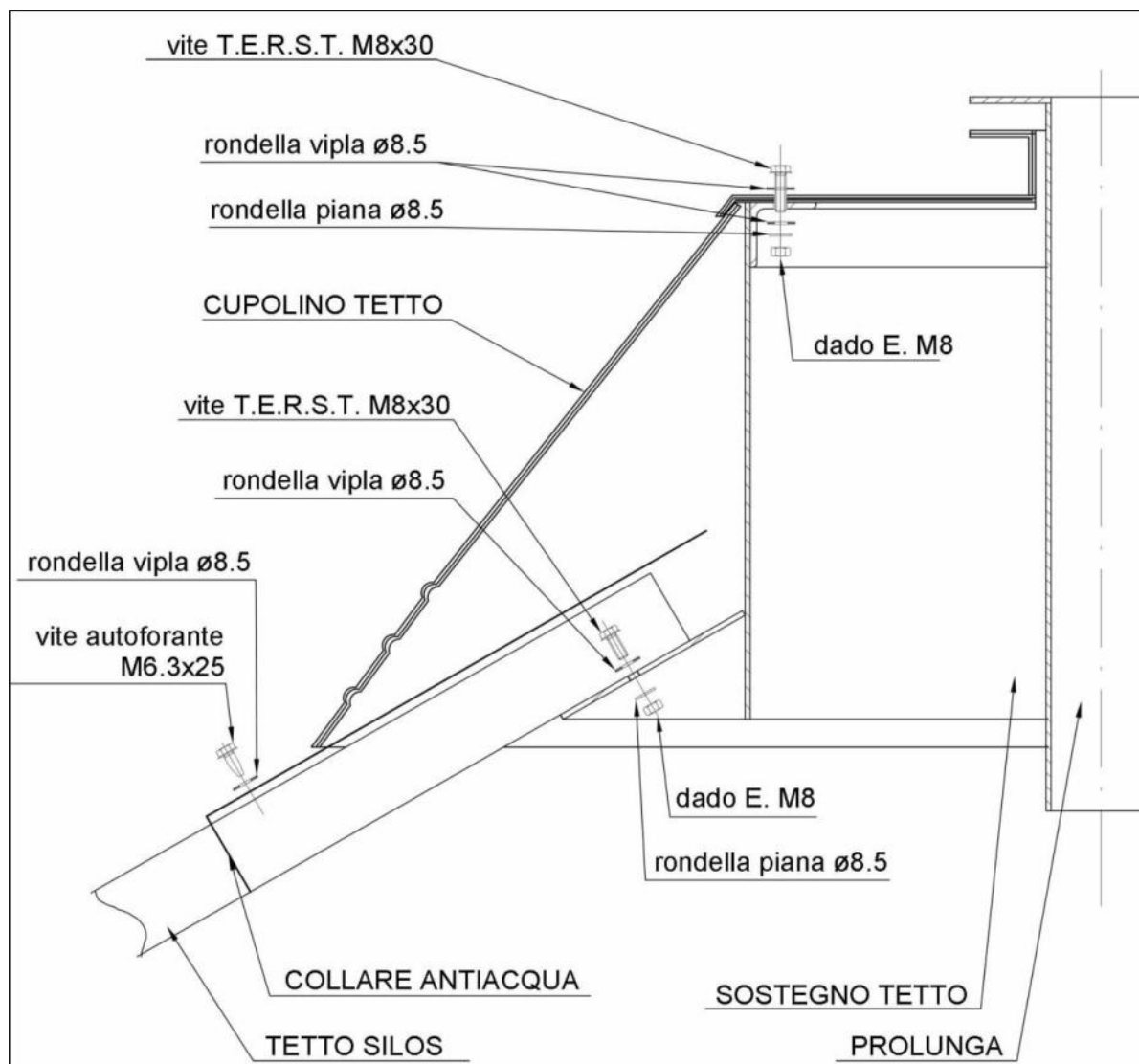
6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

App.2

## Appendice 2: Cupolino silos





# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

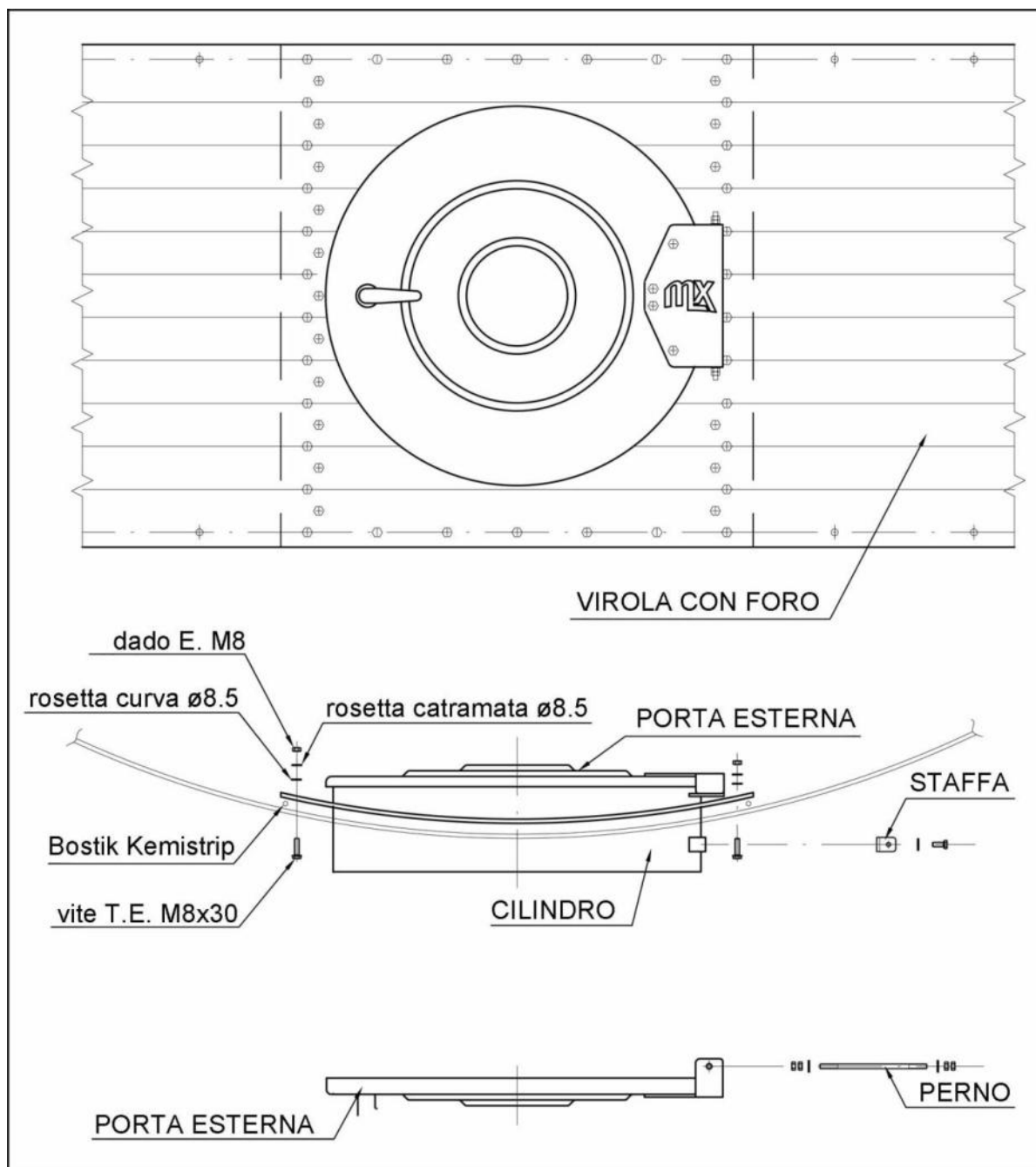
6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

App.3

## Appendice 3: Porta Silos





# RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**Mulmix**

6042-RC-03

Rev.00

28/02/2020

App.4

## Appendice 4: Montaggio montanti

