

**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 9)**

RELAZIONE TECNICA
SILOS STOCCAGGIO

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

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

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

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

SOMMARIO

INDIVIDUAZIONE DEL SITO

1.2 INDAGINE GEOLOGICA

1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2

2

2

1**INDIVIDUAZIONE DEL SITO**

LA PRESENTE RELAZIONE È RIFERITA AL PUNTO 9.

1.2 INDAGINE GEOLOGICA

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

1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

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

I CONTENUTI DEL CALCOLO SONO ALLEGATI DI SEGUITO

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

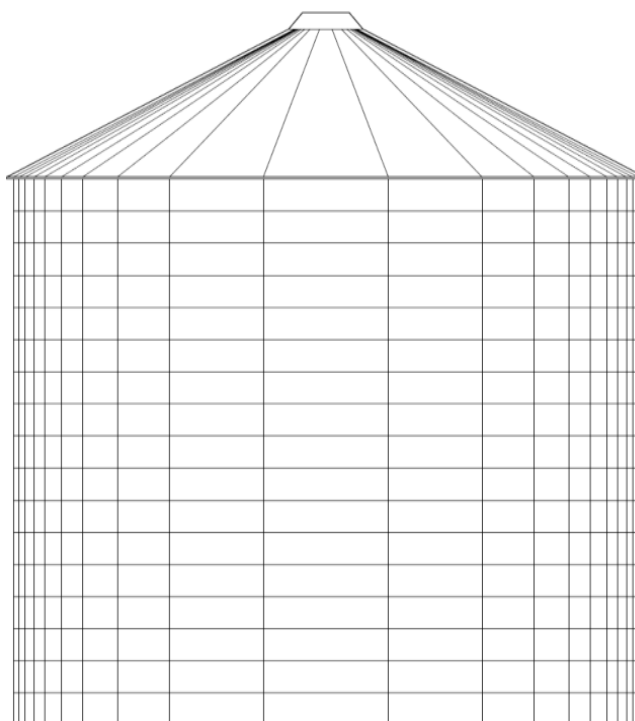
Pag. 1

Comune di

BAGNARA DI ROMAGNA

Provincia di

RAVENNA



Cliente

EUROVO s.r.l.

Titolo

SILOS DI STOCCAGGIO 8.34/17

Technical Dept.		Quality Dept.		Direction		Vers.
REDATTO		CONTROLLATO		APPROVATO		06

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

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-04 Composizione silos 8.34/17
 Dettagli componenti silos

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 3

RELAZIONE TECNICA E CALCOLO STRUTTURALE

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-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 4

Legenda

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

Dimensioni

R	m	raggio del silos
D	m	diametro del silos (= 2 R)
A	m ²	sezione del silos (= πR^2)
u	m	circonferenza interna del silos (= πD)
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
α	°	angolo della tramoggia
δ	°	angolo del tetto

Pressioni

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

Indici

e	svuotamento (scarico)
f	riempimento

Coefficienti

γ	N/m ³	densità del materiale (cereale) insilato
λ		rapporto delle pressioni (Ph / Pv)
μ		coefficiente di attrito della parete (Pw / Ph)
β		coefficiente del materiale
e _h		coefficiente di sovrappressione (usato per valutare Ph in fase di scarico: Phe = eh Phf)

Nota

γ, λ, e_h	coeff. dipendenti dal materiale
μ	coeff. dipendente dal materiale e dalla ruvidità delle pareti

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 5

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° sull'orizzontale.

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-02

Rev.00

26/02/2020

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 8 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 8 secondo UNI EN ISO 898-2.

Protezione alla corrosione:

Rivestimento Zincatura elettrolitica.

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 8

3. Caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati

Virole

Acciaio S350GD

σ_{yk}	3.5 t/cm ²
γ_{M0}	1.05
σ_{yd}	3.33 t/cm ²

Montanti

Acciaio S350GD

σ_{yk}	3.5 t/cm ²
γ_{M0}	1.05
σ_{yd}	3.33 t/cm ²

Bullonatura

diametro	8.0 mm	10.0 mm
S resistente	36.6 mm ²	57.3 mm ²
foro	9.0 mm	11.0 mm

classe viti	8.8
classe dadi	6S

$\tau_{b,Rd}$	4.80 t/cm ²
γ_{M2}	1.25
$\tau_{b,Rd}$	3.84 t/cm ²

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-02

Rev.00

26/02/2020

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 virole e montanti).

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

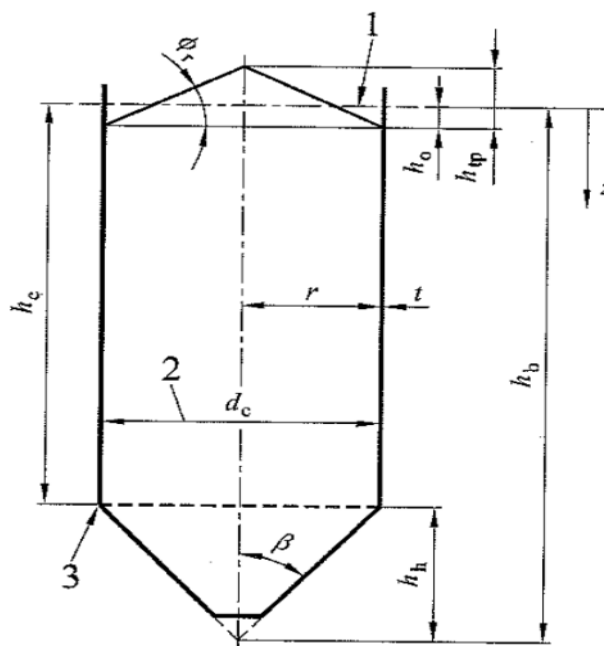


Fig. 1 Caratteristiche geometriche del silos, § UNI EN 1991-4:2006 1.1.2 figura 1.1

Definiamo:

Diametro silos	D	8.34 m
Sezione del silos	A	54.58 m ²
Circonferenza del silos	U	26.19 m
Eccentricità dello scarico	a	0.00 m
Altezza cilindro		14.1 m
Altezza tetto		2.4 m
Altezza totale		16.5 m
Altezza equivalente prodotto	h_c	14.7 m
Volume geometrico		792.3 m ³
Angolo di riposo del cereale	ϕ_R	34 °

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

Rapporto A/U	A/U	2.1 m
Rapporto h_c/d_c	h_c/d_c	1.8

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

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 $h_c/d_c = 1.76$, si tratta quindi di silos con rapporto di snellezza "intermediate slenderness". 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 ^{a) c)}	Peso dell'unità di volume ^{b)}		Angolo di riposo	Angolo di attrito interno		Coefficiente di spinta laterale		Coefficiente ^{d)} di attrito con la parete μ				Coefficiente di riferimento del carico locale ripartito C_{op}
	γ_i	γ_u	ϕ_r	ϕ_{im}	a_ϕ	K_m	a_K	$(\mu = \tan \phi_w)$				
	Inferiore	Superiore		Medio	Coefficiente	Medio	Coefficiente	Tipo di parete D1	Tipo di parete D2	Tipo di parete D3	a_μ	
	kN/m ³	kN/m ³	Gradi	Gradi				Medio	Medio	Medio	Coefficiente	
Materiale standard ^{a)}	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, poiché 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 γ_u è il valore caratteristico superiore, da utilizzare per tutti i calcoli delle azioni. Il valore caratteristico inferiore γ_i 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 incastramento 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-02

Rev.00

26/02/2020

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 μ	Coefficiente di spinta laterale K	Angolo di attrito interno ϕ_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 μ_{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 μ_{eff} risulta pari a 0.5379 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 μ	0.624	0.464
Angolo di attrito interno ϕ_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:

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

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

$$Y_R = \left\{ 1 - \left[\left(\frac{z - h_0}{z_0 - h_0} + 1 \right) \right]^n \right\}$$

$$n = -(1 + \tan \phi_R)(1 - h_0/z_0)$$

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

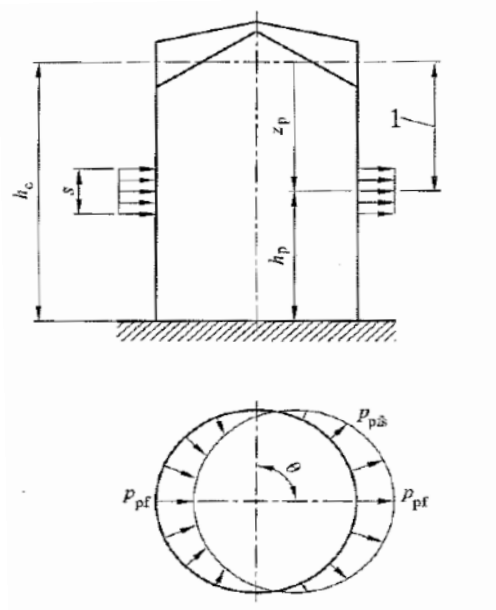


Fig. 4 Carico locale ripartito in fase di carico

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:

$$C_{pf} = 0.21 C_{op} [1 + 2E^2] \{1 - e^{[-1.5(h_c/d_c - 1)]}\} = 0.0852$$

$$E = 2e_f/d_c$$

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 del silos, alla generica quota z , può essere determinato mediante la seguente relazione:

$$p_{vf} = \gamma Z_v$$

Dove:

$$Z_v = h_0 - \frac{1}{(n+1)} \left[Z_0 - h_0 - \frac{(z+Z_0-2h_0)^{n+1}}{(Z_0-h_0)^n} \right]$$

Con Z_0 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 del silos viene determinato mediante:

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

Dove:

$$C_h = 1.0 + 0.15 C_s \quad 1.1136 \quad C_s = h_c/d_c - 1.0 = 0.7574$$

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

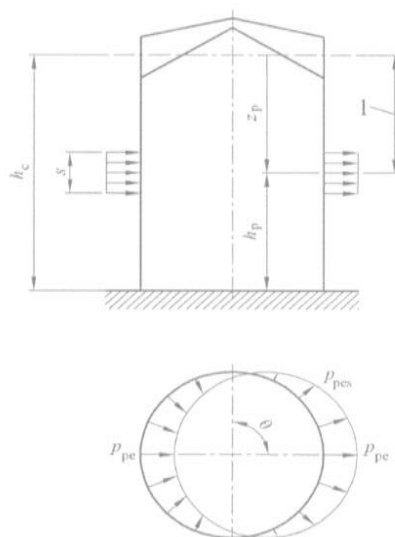


Fig. 5 Carico locale ripartito dovuto allo scarico

Il carico locale ripartito si ipotizza poter agire ad una quota qualsiasi della parete del silos.
I valori delle grandezze indicate in Fig. 5 sono calcolati mediante:

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

Dove per $h_c/d_c > 1.2$:

$$C_{pe} = 0.42 C_{op} [1 + 2E^2] \{1 - e^{[-1.5(h_c/d_c - 1)]}\} = 0.1703$$

$$E = 2e/d_c$$

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:

$$C_w = 1.0 + 0.10 C_s = 1.0757$$

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 del 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**

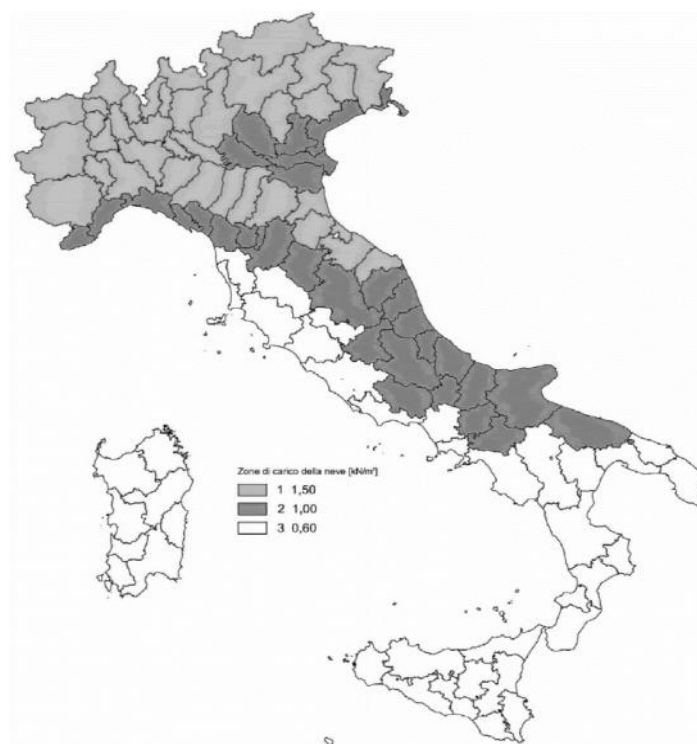


Fig. 6 Zone di carico da neve secondo NTC 2018

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 kg/m²

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 20

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 innevate 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-02

Rev.00

26/02/2020

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.

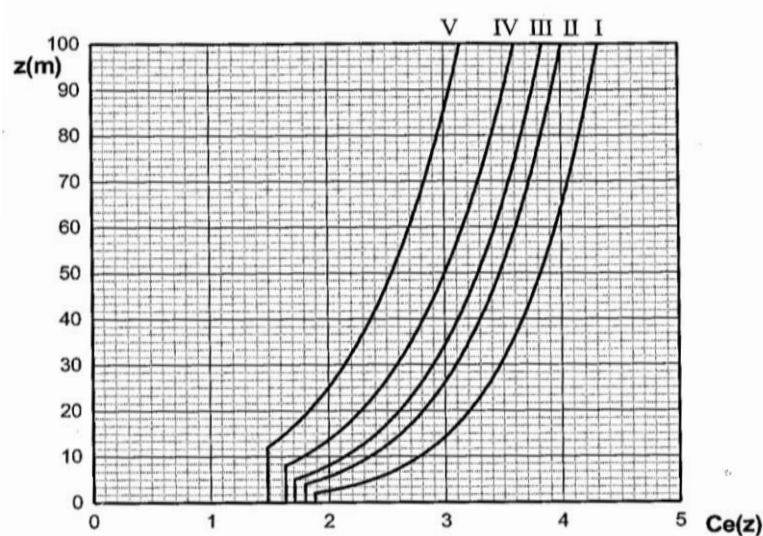


Fig. 8 Andamento del coefficiente di esposizione in funzione dell'altezza (z)

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

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

$$c_{e,\max} = c_e(z=14.12) = 2.58$$

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 α (rif. curva a).

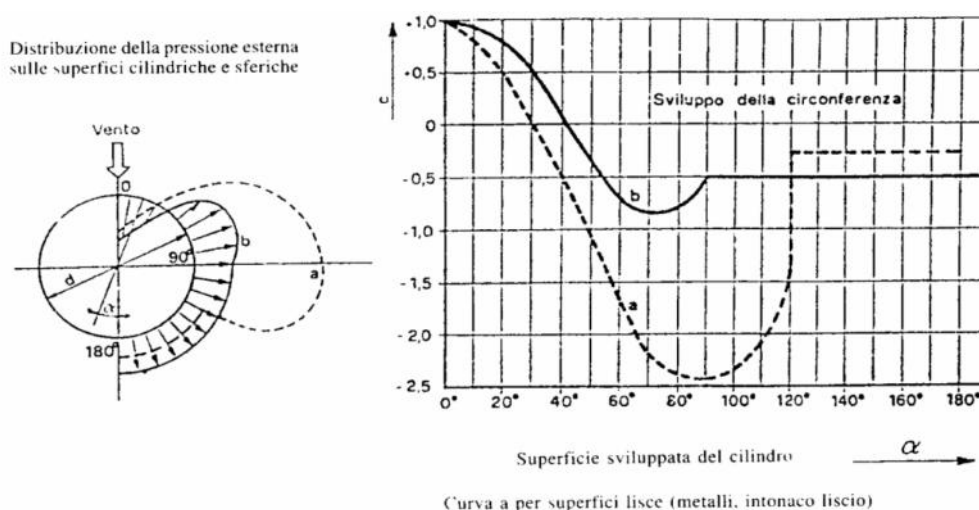


Fig. 9 Pressione locale su corpi cilindrici dovuta all'azione del vento

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

$$- Q_3 = q_b c_e c_p c_d = 390.63 \times 2.58 \times 0.70 \times 1 = 704.29 \text{ N/m}^2 = 70.429 \text{ kg/m}^2$$

Per le analisi che seguono, si considera a favore di sicurezza, l'azione dovuta ad una pressione pari a 110,0 kg/m², utilizzata dal progettista come azione minima di progetto.

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02	Rev.00
26/02/2020	Pag. 23

5.4 Azione sismica Q_4

(DM 17 gennaio 2018)

("AGGIORNAMENTO DELLE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI")

Caratteristiche della struttura

Classe dell'opera: Opere Ordinarie VN>50anni

Classe d'uso II: ambienti suscettibili a normale affollamento

Dati del sito

long.	11.8412	lat.	44.3905	secondo sistema WGS84	
Stati limite	SLV	Fo	2.406		
TR	475	Fv	1.42		
ag	1.8828	m/s ²	T*c	0.307	s

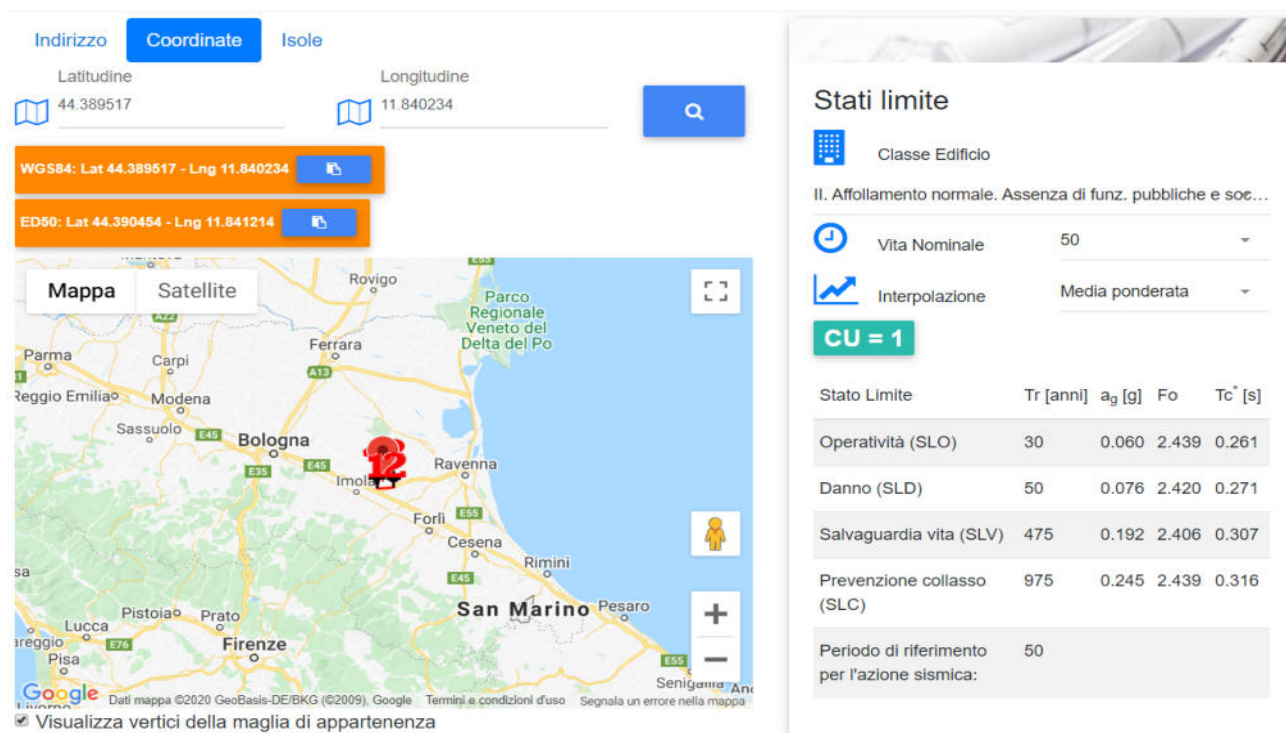


Fig. 10 Parametri sismici della località di installazione (<http://www.geostru.com>)

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

6042-RC-02	Rev.00
26/02/2020	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

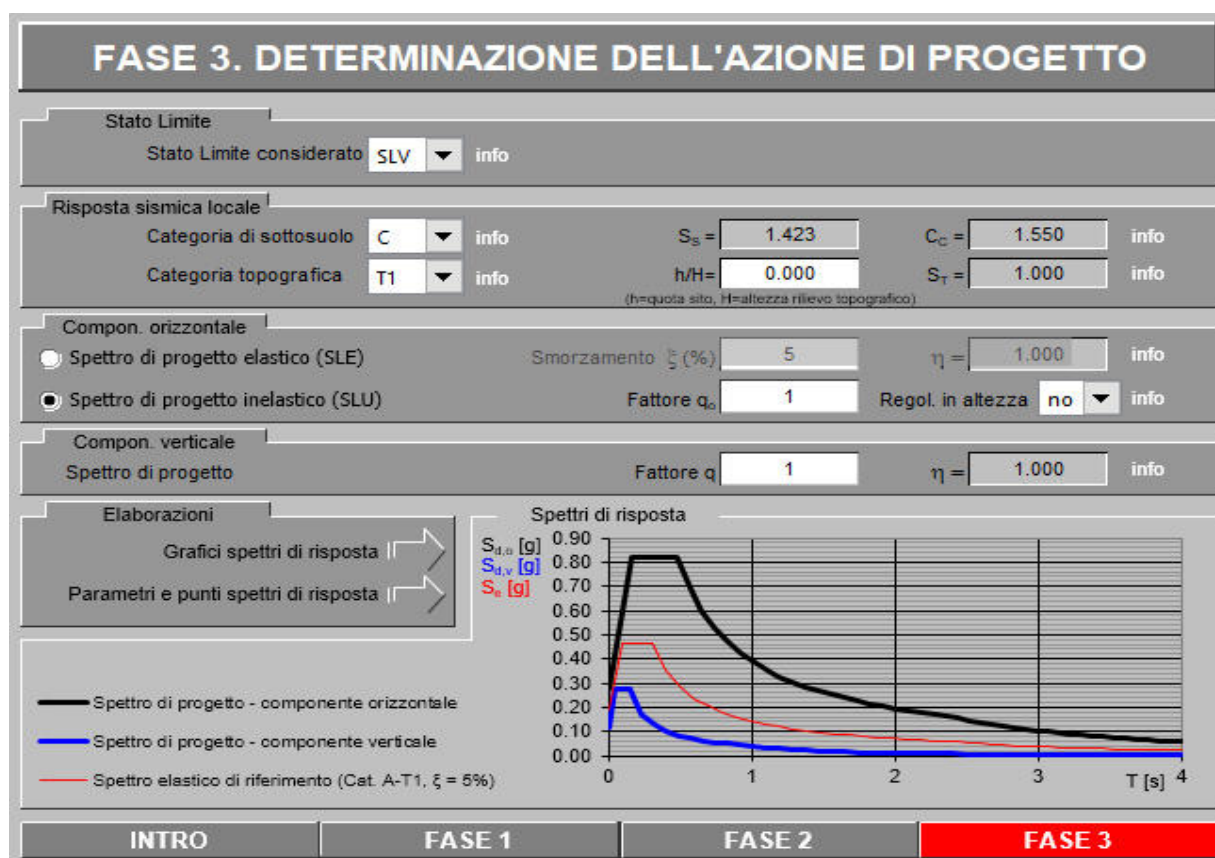


Fig. 15 Spettro elastico di riferimento valutato mediante software Spettri-NTCver.1.0.3 (<http://www.cslp.it>)

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-02

Rev.00

26/02/2020

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	
	η	1	
	$Se(T_B)$	6.446	m/s ²
	$Se(T_C)$	6.446	m/s ²
	$Se(T_D)$	1.296	m/s ²

Applicazione analisi lineare statica

$$T_1 = 0.64 \text{ s}$$

Dove:

$$T_1 = 0.85 h^{3/4}$$

Fattore di struttura	q	1.5	
	q_0	1.5	
	Kr	1	

Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

$Sd(T_B)$	4.297	m/s ²
$Sd(T_C)$	4.297	m/s ²
$Sd(T_D)$	0.864	m/s ²
$Sd(T_1)$	3.213	m/s²

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 26

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 m², 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:

$$G_{1,1} = 3,14 \times 8.34 \times 14.12 \times 35 = 13090 \text{ kg}$$

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/m² riferito all'area proiettata in pianta.

Il peso totale risulta quindi:

$$G_{1,2} = 3,14 \times 8.34^2 / 4 \times 25 = 1364.6 \text{ kg}$$

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 27

5.5.2. Peso proprio degli elementi non strutturali

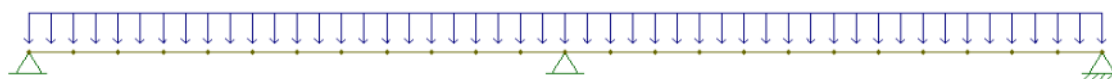
I silos di stoccaggio presenti nell'impianto vengono caricati automaticamente mediante trasportatori a catena sostenuti da un'opportuna passerella che permette anche l'ispezione delle macchine. Tale passerella viene appoggiata sulle coperture dei silos e su idonee strutture collegate al mantello dei 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 cui:



$$P = 1042.1 \text{ kg}$$

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:

$$G_2 = 1042.1 \times 2 + 200 = 2284.1 \text{ kg}$$

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: 37.514 m³

Le azioni riportate nella tabella a pag. 35 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 = 37.514 m³
- n = n° di montanti = 18

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 29

7. Determinazione delle azioni di progetto

7.1 Azione dovuta al prodotto insilato

7.1.1 Parametri geometrici del silos Modello 8.34/17

Lamiere per anello	9
Virole in altezza	17
Raggio silos	4.17 m
Altezza cilindro	14.12 m
Altezza equivalente prodotto	14.65 m
Rapporto h/d	1.76

Materiale insilato		Grano
Peso specifico	γ	0.917 t/m ³
Rapporto delle pressioni	k	0.540 (valore medio)
Coeff. di attrito sulle pareti	μ	0.570 (valore medio)
Coeff. C _b	C _b	1.000

Sezione silos	A	54.58 m ²
Circonferenza silos	u	26.19 m
Rapporto A/u	A/u	2.08 m
Coefficiente Z ₀ (1)	Z ₀	7.50 m
Coefficiente Z ₀ (2)	Z ₀	5.57 m

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

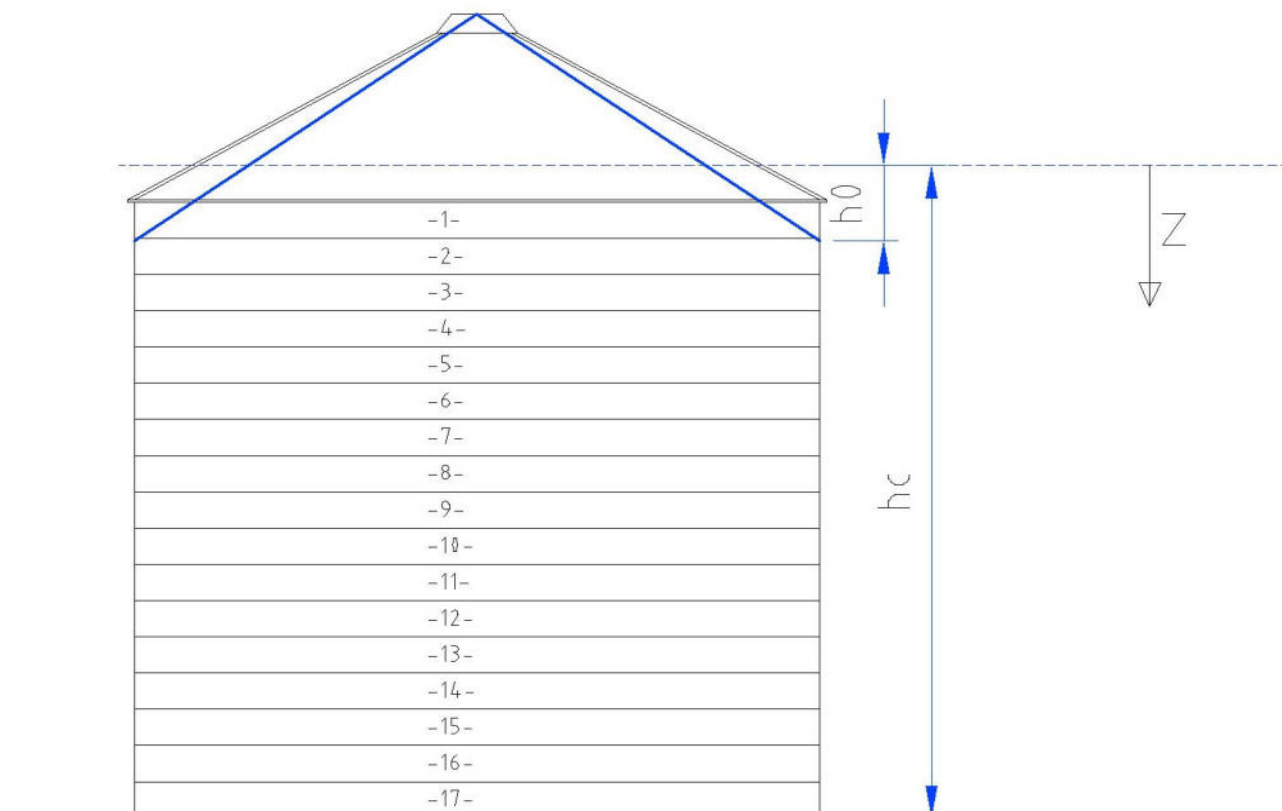
6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

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-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 31

7.1.2 Fase di carico

Viola	z	$Y_R(Z) (1)$	$Y_R(Z) (2)$	P_{wf}	Phf	P_{vf}	$P_{wf,u}$	Phf,u
	m			t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m ²
1	1.363	0.088	0.115	0.220	0.363	1.233	0.239	0.378
2	2.193	0.226	0.284	0.543	0.933	1.872	0.589	0.973
3	3.024	0.333	0.404	0.773	1.372	2.420	0.838	1.430
4	3.854	0.417	0.493	0.943	1.718	2.895	1.024	1.791
5	4.685	0.484	0.562	1.074	1.997	3.313	1.166	2.082
6	5.515	0.540	0.616	1.178	2.225	3.684	1.278	2.320
7	6.346	0.586	0.659	1.261	2.415	4.017	1.368	2.517
8	7.176	0.624	0.695	1.329	2.575	4.317	1.442	2.684
9	8.007	0.657	0.725	1.386	2.711	4.591	1.504	2.826
10	8.837	0.686	0.750	1.434	2.828	4.840	1.556	2.949
11	9.668	0.711	0.771	1.475	2.930	5.070	1.600	3.055
12	10.498	0.732	0.790	1.510	3.019	5.282	1.638	3.148
13	11.329	0.751	0.806	1.540	3.097	5.479	1.672	3.229
14	12.159	0.768	0.820	1.567	3.167	5.662	1.701	3.302
15	12.990	0.783	0.832	1.591	3.229	5.833	1.726	3.366
16	13.820	0.796	0.843	1.612	3.284	5.993	1.749	3.424
17	14.651	0.809	0.853	1.631	3.334	6.144	1.770	3.476

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-02

Rev.00

26/02/2020

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}	Pvsq
	m			t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m	t/m ²
1	1.363	0.088	0.115	0.237	0.404	0.438	0.277	1.233	0.061	1.483
2	2.193	0.226	0.284	0.584	1.039	1.128	0.683	1.872	0.470	2.123
3	3.024	0.333	0.404	0.831	1.528	1.658	0.973	2.420	1.164	2.670
4	3.854	0.417	0.493	1.015	1.913	2.076	1.188	2.895	2.065	3.146
5	4.685	0.484	0.562	1.156	2.223	2.413	1.353	3.313	3.123	3.564
6	5.515	0.540	0.616	1.267	2.478	2.689	1.483	3.684	4.302	3.935
7	6.346	0.586	0.659	1.356	2.689	2.918	1.587	4.017	5.579	4.268
8	7.176	0.624	0.695	1.430	2.867	3.111	1.673	4.317	6.934	4.568
9	8.007	0.657	0.725	1.491	3.019	3.276	1.745	4.591	8.354	4.841
10	8.837	0.686	0.750	1.542	3.150	3.418	1.805	4.840	9.828	5.091
11	9.668	0.711	0.771	1.586	3.263	3.541	1.856	5.070	11.349	5.321
12	10.498	0.732	0.790	1.624	3.362	3.648	1.901	5.282	12.910	5.533
13	11.329	0.751	0.806	1.657	3.449	3.743	1.939	5.479	14.505	5.730
14	12.159	0.768	0.820	1.686	3.527	3.827	1.973	5.662	16.130	5.913
15	12.990	0.783	0.832	1.711	3.596	3.902	2.003	5.833	17.781	6.084
16	13.820	0.796	0.843	1.734	3.657	3.969	2.029	5.993	19.456	6.244
17	14.651	0.809	0.853	1.754	3.713	4.029	2.053	6.144	21.151	6.395

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

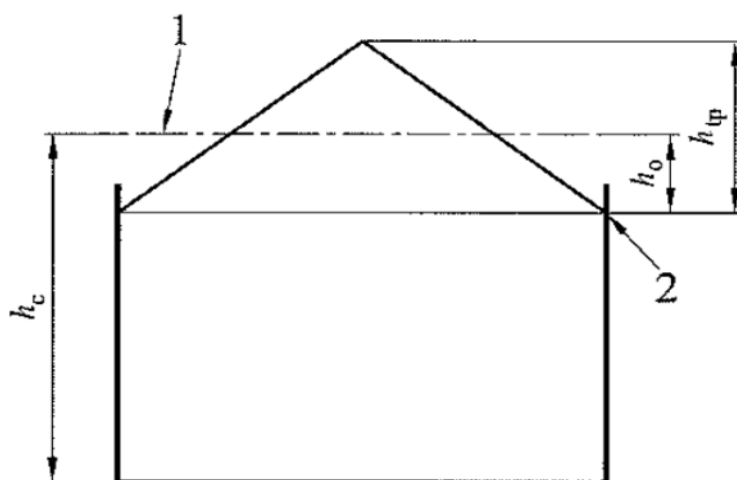
$$n_{zSk} = \int_0^z p_{we} dz = C_w \cdot \mu \cdot p_{h0} \cdot [z - z_V]$$

con:

$$z_V = h_0 - \frac{1}{(n+1)} \left(z_0 - h_0 - \frac{(z + z_0 - 2h_0)^{n+1}}{(z_0 - h_0)^n} \right)$$

Legenda (segue):

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



$$p_{vsq} = p_{vb} + \Delta p_{sq} \left(\frac{2,0 - h_c/d_c}{2,0 - h_{tp}/d_c} \right)$$

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

$$\Delta p_{vsq} = p_{vtp} - p_{vho} = \gamma z_V(h_o) - \gamma z_V(h_c)$$

con

$$z_V = h_o - \frac{1}{(n+1)} \left(z_0 - h_o - \frac{(z + z_0 - 2h_o)^{n+1}}{(z_0 - h_o)^n} \right)$$

7.2 Altre azioni di progetto

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

Peso cilindro	13 089.6 kg	}	Azioni verticali supportate dai montanti di irrigidimento
Peso tetto	1 364.6 kg		
Peso non strutturale	2 284 kg		
Carico neve	148.0 kg/m ²	}	Agisce sulla superficie proiettata della copertura
Pressione vento	100.0 kg/m ²		Agiscono sulla superficie laterale del cilindro e vengono trasferiti ai montanti come sovraccarico verticale
Sisma (Sd)	3.213 m/s ²		

Si riportano di seguito le caratteristiche dei montanti.

N. mont/lam	2
N° Montanti totali	18

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

Modulo elastico della sezione di base: $W_x =$	37.51 m ³
Tensione caratteristica di snervamento: $\sigma_{yk} =$	3.5 t/m ²

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-02 Rev.00

26/02/2020 Pag. 35

Vir	z	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₃ : Vento		Q ₄ : Sisma	
				Pwe,u(TOT)	Neve	Momento	Az. Vert.	Momento	Az. Vert.
	m	t	t	t	t	tm	t	tm	t
1	1.363	2.135	2.284	1.60	8.188	4.37	2.10	13.17	6.32
2	2.193	2.905	2.284	12.31	8.188	6.90	3.31	33.44	16.04
3	3.024	3.675	2.284	30.49	8.188	10.00	4.80	62.96	30.21
4	3.854	4.444	2.284	54.09	8.188	13.68	6.56	101.75	48.82
5	4.685	5.214	2.284	81.79	8.188	17.93	8.60	149.80	71.88
6	5.515	5.984	2.284	112.68	8.188	22.76	10.92	207.12	99.38
7	6.346	6.754	2.284	146.10	8.188	28.16	13.51	273.70	131.33
8	7.176	7.524	2.284	181.59	8.188	34.14	16.38	349.55	167.72
9	8.007	8.294	2.284	218.78	8.188	40.70	19.53	434.66	208.55
10	8.837	9.064	2.284	257.41	8.188	47.83	22.95	529.03	253.84
11	9.668	9.834	2.284	297.24	8.188	55.53	26.64	632.66	303.56
12	10.498	10.604	2.284	338.12	8.188	63.81	30.62	745.56	357.73
13	11.329	11.374	2.284	379.89	8.188	72.66	34.86	867.73	416.35
14	12.159	12.144	2.284	422.45	8.188	82.09	39.39	999.16	479.41
15	12.990	12.914	2.284	465.70	8.188	92.09	44.19	1139.85	546.92
16	13.820	13.684	2.284	509.55	8.188	102.67	49.26	1289.80	618.87
17	14.651	14.454	2.284	553.96	8.188	113.83	54.62	1449.02	695.26

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-02

Rev.00

26/02/2020

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.

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

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 37

8.2 COMBINAZIONE SLU-02

Silos vuoto, azione contemporanea di vento e neve.

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

8.3 COMBINAZIONE SLU-03

Silos vuoto, azione dominante del vento.

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

8.4 COMBINAZIONE SLU-04

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

E+G1+G2+y21Qk1	γ_{G1}	1.00
	γ_{G2}	1.00
	γ_{Q1}	0.80
	γ_{Q4} (E)	1.00
	γ_{Q5}	0.80

8.5 COMBINAZIONE SLU-05

Silos vuoto, azione del sisma.

E+G1+G2+y21Qk1	γ_{G1}	1.00
	γ_{G2}	1.00
	γ_{Q1}	-
	γ_{Q4} (E)	1.00
	γ_{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-02 Rev.00
26/02/2020 Pag. 39

9. Determinazione lamiera

9.1 Caratteristiche geometriche e meccaniche delle virole

La resistenza delle lamiera 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	9.8	32.3
8/10 3FFA	0.8	982	12	9	699	34	8	36.6	22.1	14.5	47.8
10/10 3FFA	1	982	12	9	874	34	8	36.6	27.6	19.5	47.8
12/10 3FFA	1.25	982	12	9	1093	34	8	36.6	34.5	26.4	47.8
15/10 3FFA 10	1.5	975	12	11	1265	34	10	57.3	42.1	42.8	74.8
17/10 3FFA 10	1.75	975	12	11	1475	34	10	57.3	49.2	50.0	74.8
20/10 3FFA 10	2	960	12	11	1656	34	10	57.3	55.2	57.1	74.8
25/10 4FFA 10	2.5	955	12	11	2058	44	10	57.3	68.7	92.4	96.8
30/10 4FFA 10	3	930	12	11	2394	44	10	57.3	79.9	110.9	96.8
S35/10 4FFA 10	3.5	950	12	11	2863	44	10	57.3	95.6	129.4	96.8
S40/10 5FFA 10	4	950	12	11	3272	55	10	57.3	109.4	184.8	121.0
S45/10 5FFA 10	4.5	950	12	11	3681	55	10	57.3	123.0	207.9	121.0
S50/10 5FFA 10	5	950	12	11	4090	55	10	57.3	136.7	231.0	121.0
S55/10 5FFA 10	5.5	930	12	11	4389	55	10	57.3	146.7	254.1	151.3
S60/10 5FFA 10	6	930	12	11	4788	55	10	57.3	160.0	277.2	151.3

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-02

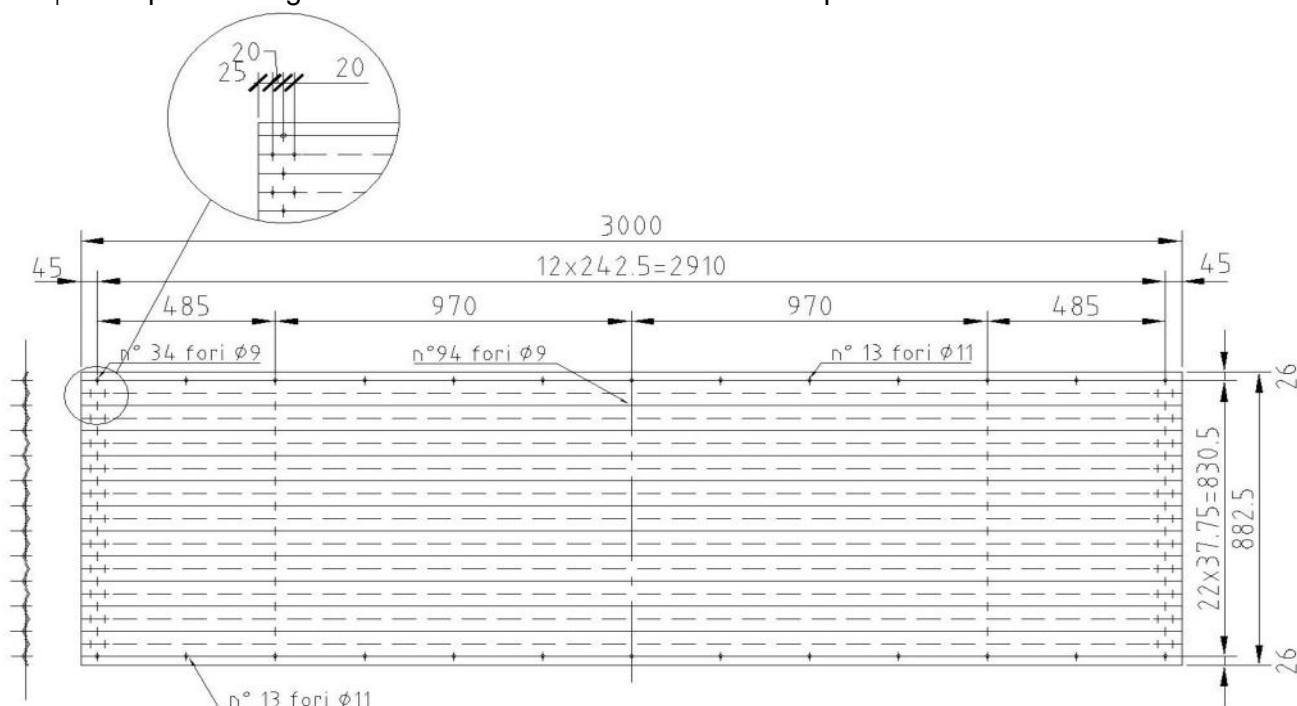
Rev.00

26/02/2020

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.



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

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

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

$$n = 12$$

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

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

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

$$\beta = 0.9402$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

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

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

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

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

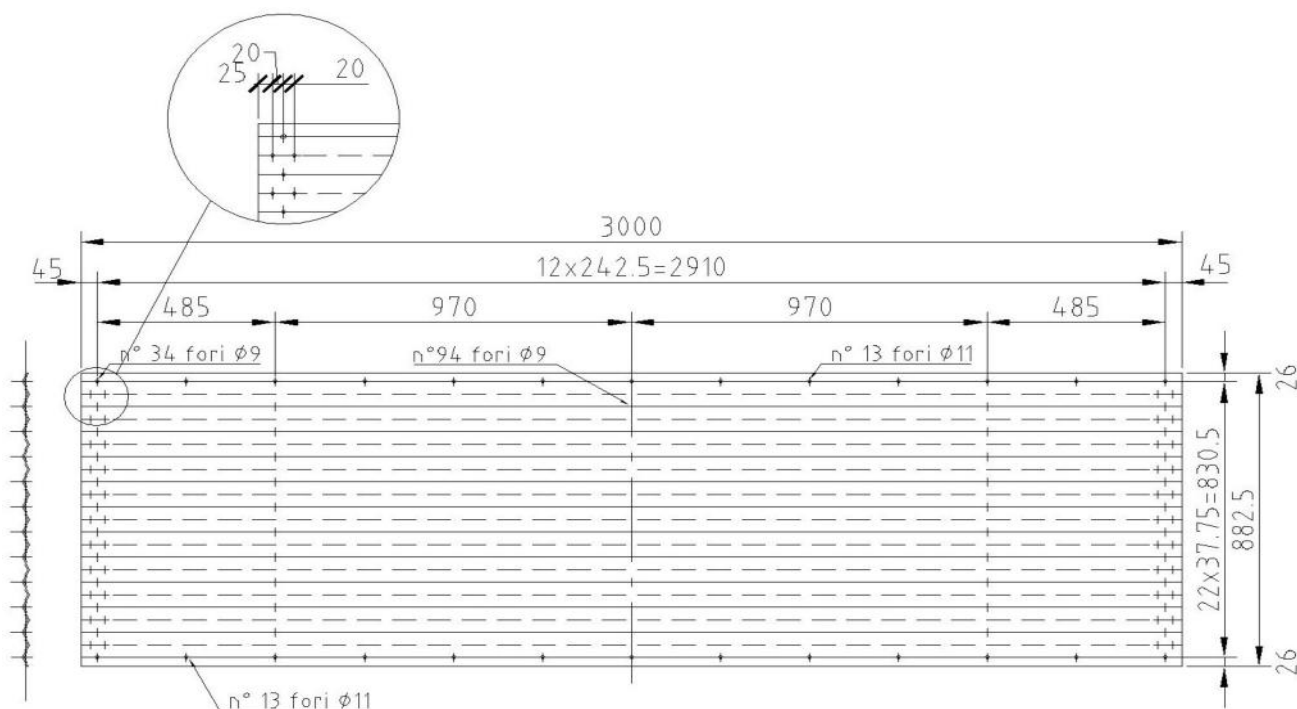
Mulmix

6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 41



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

$$\begin{aligned} t &= 1 \text{ mm} \\ d &= 8 \text{ mm} \\ n &= 34 \end{aligned}$$

$$k_t = \frac{0,8 \cdot t + 1,5}{2,5} = 0.92 \quad (\text{per } t < 1,25 \text{ mm})$$

$$\alpha_b = \min\left(1; \frac{e_1}{3 \cdot d}\right) = \min(1; 25/3 \times 8) = 0.9259$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

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

$$F_{b,Rd} = 194631.11 = 19.5 \text{ t}$$

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

$$A_{res} = 36.6 \text{ mm}^2$$

$$n = 34$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

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

$$F_{v,Rd} = 477849.60 = 47.8 \text{ t}$$

$$F_{Rd} = \min(F_{n,Rd}; F_{b,Rd}; F_{v,Rd}) = 19.5 \text{ t}$$

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

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.

Virola	z	Phe,u	D silos	h rif.	γ_{Q1}	Fa*	Lamiera
	m	t/m ²	m	m		t/lamiera	
1	1.363	0.438	8.34	0.8305	1.5	2.276	8/10 2FFA
2	2.193	1.128	8.34	0.8305	1.5	5.857	8/10 2FFA
3	3.024	1.658	8.34	0.8305	1.5	8.610	8/10 2FFA
4	3.854	2.076	8.34	0.8305	1.5	10.780	8/10 3FFA
5	4.685	2.413	8.34	0.8305	1.5	12.528	8/10 3FFA
6	5.515	2.689	8.34	0.8305	1.5	13.961	8/10 3FFA
7	6.346	2.918	8.34	0.8305	1.5	15.152	10/10 3FFA
8	7.176	3.111	8.34	0.8305	1.5	16.156	10/10 3FFA
9	8.007	3.276	8.34	0.8305	1.5	17.011	10/10 3FFA
10	8.837	3.418	8.34	0.8305	1.5	17.747	10/10 3FFA
11	9.668	3.541	8.34	0.8305	1.5	18.386	10/10 3FFA
12	10.498	3.648	8.34	0.8305	1.5	18.944	10/10 3FFA
13	11.329	3.743	8.34	0.8305	1.5	19.436	10/10 3FFA
14	12.159	3.827	8.34	0.8305	1.5	19.872	12/10 3FFA
15	12.990	3.902	8.34	0.8305	1.5	20.260	12/10 3FFA
16	13.820	3.969	8.34	0.8305	1.5	20.608	12/10 3FFA
17	14.651	4.029	8.34	0.8305	1.5	20.921	12/10 3FFA

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 43

9.3 Composizione delle virole

Gli spessori delle virole indicati nel capitolo 8 rappresentenano lo spessore minimo che soddisfa i requisiti di resistenza.

Gli spessori vengono maggiorati per esigenze di montaggio in particolare in corrispondenza della copertura e della base del silos e per evitare che la differenza di spessore tra un anello ed il successivo sia tale da rendere difficoltoso l'assemblaggio. Si riporta di seguito la composizione adeguata secondo questi criteri.

Virola	z	Lamiera	Lamiera
	m	minima	prescritta
1	1.363	8/10 2FFA	12/10 3FFA
2	2.193	8/10 2FFA	8/10 2FFA
3	3.024	8/10 2FFA	8/10 2FFA
4	3.854	8/10 3FFA	8/10 2FFA
5	4.685	8/10 3FFA	8/10 2FFA
6	5.515	8/10 3FFA	8/10 2FFA
7	6.346	10/10 3FFA	10/10 3FFA
8	7.176	10/10 3FFA	10/10 3FFA
9	8.007	10/10 3FFA	10/10 3FFA
10	8.837	10/10 3FFA	10/10 3FFA
11	9.668	10/10 3FFA	10/10 3FFA
12	10.498	10/10 3FFA	10/10 3FFA
13	11.329	10/10 3FFA	10/10 3FFA
14	12.159	12/10 3FFA	12/10 3FFA
15	12.990	12/10 3FFA	12/10 3FFA
16	13.820	12/10 3FFA	12/10 3FFA
17	14.651	12/10 3FFA	12/10 3FFA

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

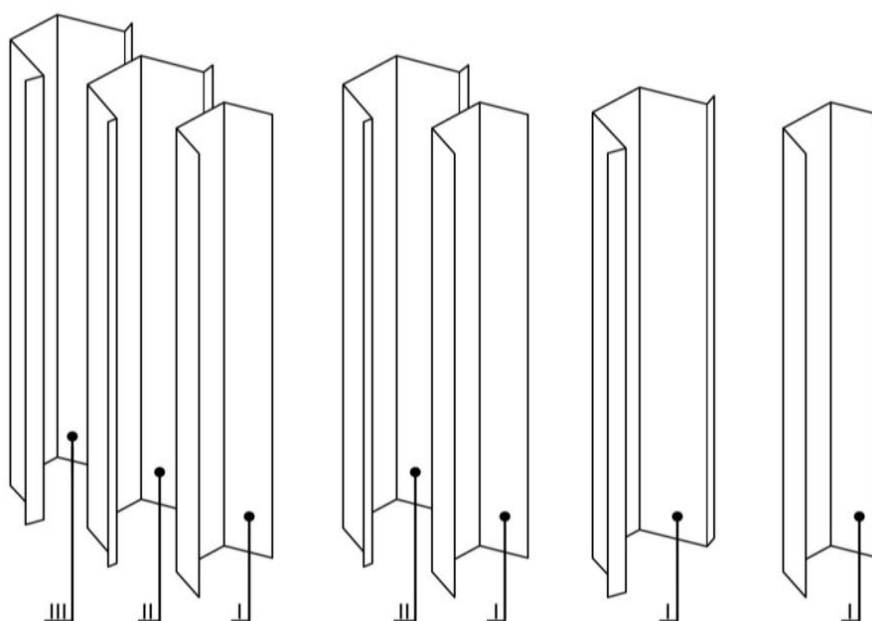
26/02/2020

Pag. 44

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-02

Rev.00

26/02/2020

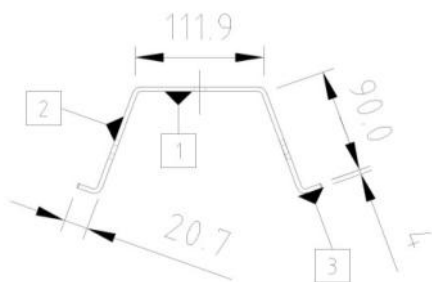
Pag. 45

10.1 Caratteristiche meccaniche dei montanti

	Sp.	Wx [mm³]	Wy [mm³]	Jx [mm⁴]	A eff [mm²]	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-02 Rev.00
26/02/2020 Pag. 46

10.3 Verifica a compressione

Vir	z	SLU-01	SLU-02	SLU-03	SLU-04	SLU-05	N _{sd} max	Montante	
	m	t	t	t	t	t	t/mont	mm ²	tipo
1	1.36	16.63	15.49	9.34	12.02	4.48	0.92	27.71	L2NS
2	2.19	34.79	18.31	12.17	31.08	5.35	1.93	57.98	L2NS
3	3.02	64.40	21.54	15.40	60.56	6.26	3.58	107.33	L2NS
4	3.85	102.39	25.19	19.05	98.82	7.22	5.69	170.65	L2NS
5	4.68	146.78	29.25	23.11	144.81	8.22	8.15	244.63	L2NS
6	5.52	196.19	33.73	27.59	197.79	9.26	10.99	329.65	L2NS
7	6.35	249.66	38.62	32.48	257.25	10.35	14.29	428.75	L2NS
8	7.18	306.48	43.92	37.78	322.80	11.49	17.93	538.00	L3NS
9	8.01	366.10	49.64	43.50	394.16	12.66	21.90	656.93	L3NS
10	8.84	428.11	55.77	49.63	471.11	13.89	26.17	785.18	L3NS
11	9.67	492.19	62.32	56.18	553.47	15.15	30.75	922.46	L3NS
12	10.50	558.08	69.28	63.14	641.11	16.47	35.62	1068.52	L4NS
13	11.33	625.56	76.65	70.51	733.92	17.82	40.77	1223.20	L4NS
14	12.16	694.48	84.44	78.30	831.80	19.22	46.21	1386.33	L5NS
15	12.99	764.67	92.64	86.50	934.67	20.67	51.93	1557.79	L5NS
16	13.82	836.03	101.25	95.11	1042.48	22.16	57.92	1737.47	L7ND
17	14.65	908.45	110.28	104.14	1155.17	23.69	64.18	1925.28	L7ND

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-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 47

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 ²	Verifica
1	1.36	12.85	9.20	3.06	-0.62	4.36	-0.03	1.04	VERIF.
2	2.19	28.83	8.38	2.24	-1.00	5.03	-0.06	1.67	VERIF.
3	3.02	55.76	7.15	1.01	0.14	5.66	0.01	-0.23	VERIF.
4	3.85	90.58	5.50	-0.64	1.18	6.24	-0.04	1.07	VERIF.
5	4.68	131.29	3.44	-2.70	1.05	6.78	-0.15	4.50	VERIF.
6	5.52	176.53	0.96	-5.18	-0.97	7.27	-0.29	8.63	VERIF.
7	6.35	225.34	-1.92	-8.06	-5.41	7.73	-0.45	13.44	VERIF.
8	7.18	276.99	-5.23	-11.37	-12.64	8.13	-0.70	21.06	VERIF.
9	8.01	330.95	-8.94	-15.08	-22.95	8.49	-1.27	38.25	VERIF.
10	8.84	386.81	-13.07	-19.21	-36.56	8.81	-2.03	60.94	VERIF.
11	9.67	444.23	-17.61	-23.75	-53.65	9.08	-2.98	89.42	VERIF.
12	10.50	502.97	-22.57	-28.71	-74.35	9.31	-4.13	123.92	VERIF.
13	11.33	562.81	-27.94	-34.08	-98.78	9.49	-5.49	164.63	VERIF.
14	12.16	623.58	-33.73	-39.87	-127.02	9.63	-7.06	211.71	VERIF.
15	12.99	685.13	-39.93	-46.07	-159.16	9.73	-8.84	265.27	VERIF.
16	13.82	747.35	-46.54	-52.68	-195.26	9.78	-10.85	325.43	VERIF.
17	14.65	810.14	-53.57	-59.71	-235.36	9.79	-13.08	392.27	VERIF.

Legenda:

SLU-01 ÷ 05

N_{sd} max

Azione verticale complessiva alla base del silos

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-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 48

10.4 Verifica unioni bullonate

Vir	z	N _{Sd} max	N _{Sd} min	ΔN (1)	ΔN (2)	ΔN _{Sd}	Montante		
	m	t/mont	t/mont	t/mont	t/mont	t/mont	Tipo	Unione	V _{Rd} [t]
1	1.36	0.92	-0.03	0.92	0.03	0.92	L2NS	11 M8	15.46
2	2.19	1.93	-0.06	1.01	0.02	1.01	L2NS	11 M8	15.46
3	3.02	3.58	0.01	1.64	0.06	1.64	L2NS	11 M8	15.46
4	3.85	5.69	-0.04	2.11	0.04	2.11	L2NS	11 M8	15.46
5	4.68	8.15	-0.15	2.47	0.11	2.47	L2NS	11 M8	15.46
6	5.52	10.99	-0.29	2.83	0.14	2.83	L2NS	11 M8	15.46
7	6.35	14.29	-0.45	3.30	0.16	3.30	L2NS	11 M8	15.46
8	7.18	17.93	-0.70	3.64	0.25	3.64	L3NS	11 M8	15.46
9	8.01	21.90	-1.27	3.96	0.57	3.96	L3NS	11 M8	15.46
10	8.84	26.17	-2.03	4.27	0.76	4.27	L3NS	11 M8	15.46
11	9.67	30.75	-2.98	4.58	0.95	4.58	L3NS	11 M8	15.46
12	10.50	35.62	-4.13	4.87	1.15	4.87	L4NS	11 M8	15.46
13	11.33	40.77	-5.49	5.16	1.36	5.16	L4NS	11 M8	15.46
14	12.16	46.21	-7.06	5.44	1.57	5.44	L5NS	11 M8	15.46
15	12.99	51.93	-8.84	5.72	1.79	5.72	L5NS	11 M8	15.46
16	13.82	57.92	-10.85	5.99	2.01	5.99	L7ND	11 M8	15.46
17	14.65	64.18	-13.08	6.26	2.23	6.26	L7ND	11 M8	15.46

La bullonatura verticale dei montanti, realizzata con passo 75,5 mm, trasferisce il carico verticale dalle lamiere 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.

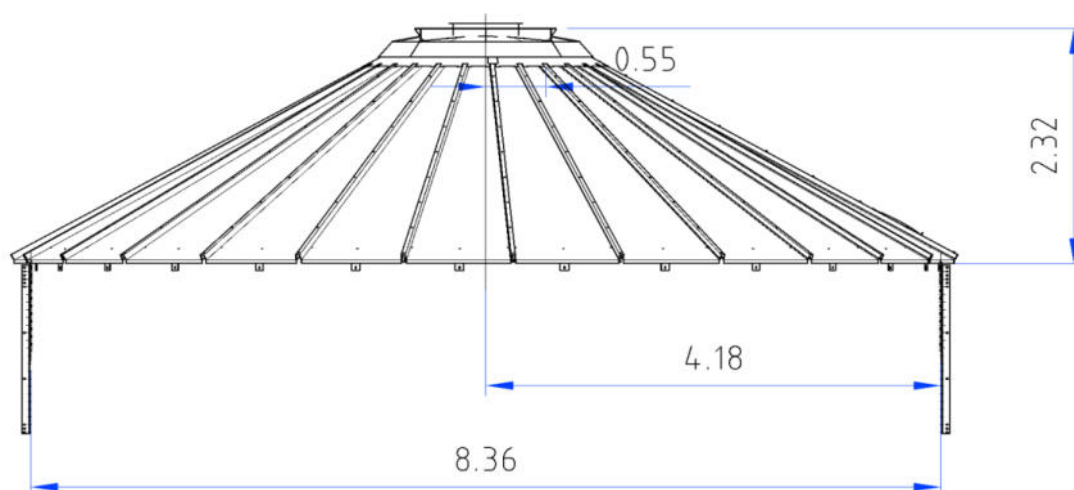
Il carico trasmesso da ciascun anello corrisponde alla variazione di carico verticale tra l'anello precedente e quello considerato.

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

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

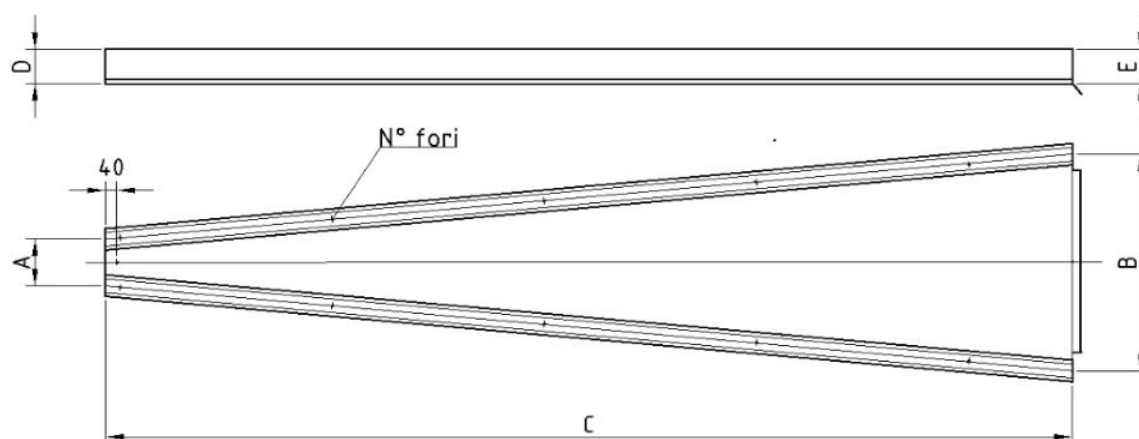
Mulmix

6042-RC-02

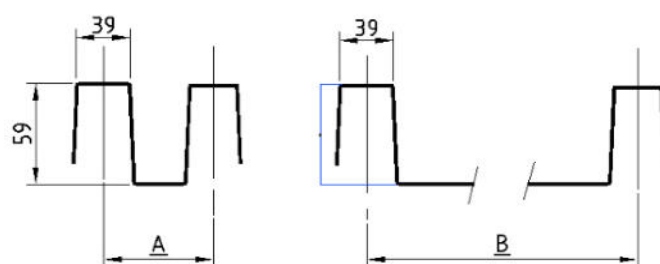
Rev.00

26/02/2020

Pag. 50



SEZIONI A LARGHEZZA VARIABILE



Spicchio	A	B	C	D	E	N° fori	N° spicchi
	205	1012	3985	59	59	22	27

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 51

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.

$$G1 = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$G2 = 2284.1 \text{ kg}$$

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

11.3 Combinazioni dei carichi

Si considera la combinazione dei carichi seguente:

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

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

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

$$\text{Carico distribuito: } Q = 2.58 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carico concentrato: } P = 0.74 \text{ kN/m}$$

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.

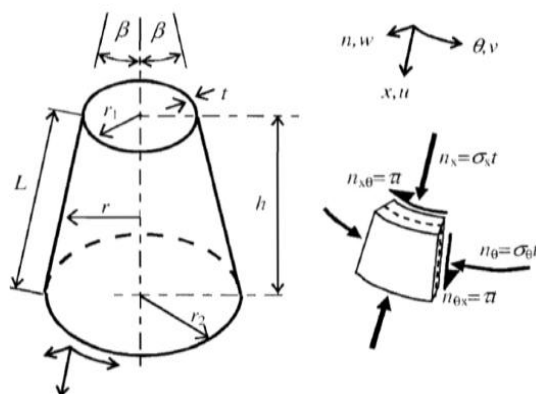


Figure D.9: Cone geometry, membrane stresses and stress resultants

11.5 Caratteristiche geometriche e meccaniche della copertura

h	2.41	[m]
L	4.81	[m]
r1	0.55	[m]
r2	4.17	[m]
β	30	[°]
	0.52	[rad]
t	0.001	[m]
E	210000	[Mpa]
σ_{yk}	140	[Mpa]
γ_{M1}	1.05	
σ_{yd}	133.33	[Mpa]

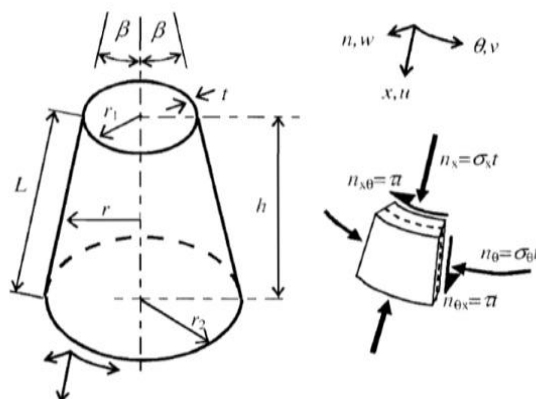


Figure D.9: Cone geometry, membrane stresses and stress resultants

11.6 Azioni meridiane

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

$$\ell_e = L = 4.81 \text{ m} \quad r_e = \frac{r}{\cos \beta} = 8.34 \text{ m}$$

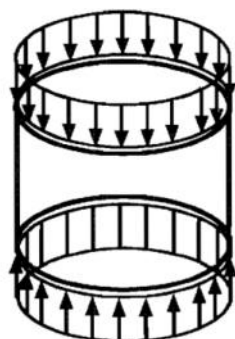
Il carico meridiano è dato da due componenti: una pressione radiale dovuta al peso proprio della copertura e della neve ed un carico lineare dovuto al carico premanente non strutturale sulla copertura.

q1	1.29	[kN/m²]	(Q x sen30°)
q2	0.2129	[kN/m]	(P)

$\sigma_{x,Ed1}$	-6.20	[MPa]
$\sigma_{x,Ed2}$	-0.213	[MPa]

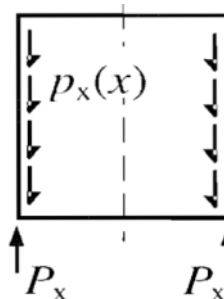
La tensione totale risulta:

$$\sigma_{x,Ed} = -6.41 \text{ [MPa]}$$



$$F_x = 2\pi r p_x$$

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



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

11.7 Azioni circonferenziali

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

l_e : minimo tra le seguenti:

$$l_e = L$$

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

Risulta:

$$l_e = 3.8727 \text{ m}$$

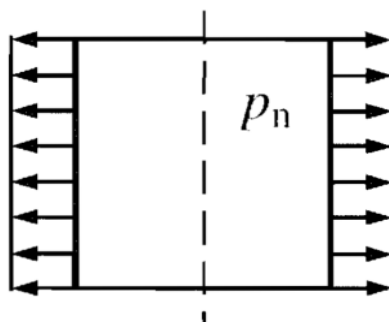
$$r_e = 5.2991 \text{ m}$$

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

$$q = 2.23 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (Q \times \cos 30^\circ)$$

$$\sigma_{\theta, Ed} = 11.82 \text{ [MPa]}$$

calcolata come:



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

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 55

11.8 Verifica

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

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

$$\sigma_{\theta,Ed} = 11.82 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = -6.41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq,Ed} = 16.015 \text{ MPa}$$

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

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	175	kN
- n° staffe	36	
- taglio su ciascuna staffa	4.86	kN
- n° bulloni per staffa	3	
- taglio su ciascun bullone	1.62	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 mm ²
$\gamma_{M2} =$	1.25
$f_{tk} =$	800 MPa
$F_{v,Rd} =$	14.1 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 mm
$d =$	8 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 MPa
$F_{b,Rd} =$	4.4 kN

Il collegamento risulta verificato

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

Pag. 57

12. Carichi trasmessi alla fondazione

Pressione sul fondo **9.22 t/m²** alle pareti
(valori max. secondo UNI EN 1991-4:2006 (EC 1) **9.59 t/m²** al centro
NON UNIFORME

NOTE: Il valore c icui sopra è calcolato considerando un coefficiente di sicurezza pari a 1,5

RIEPILOGO CARICHI SUI MONTANTI CRITICI

	Compr.	Traz.	Taglio	Note
SLU-01	50.47	-	0.69	
SLU-02	6.13	-2.98	1.15	il segno negativo indica trazione
SLU-03	5.79	-3.32	1.15	il segno negativo indica trazione
SLU-04	64.18	- 13.08	10.99	
SLU-05	1.32	-	0.30	

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	0.80	-	-	
G 2	Peso non strutturale	0.13	-	-	
Q 1	Prodotto insilato	30.78	-	-	
Q 2	Neve	0.45	-	-	
Q 3	Vento	3.03	-3.03	0.77	
Q 4a	Sisma silos pieno	38.63	-38.63	10.99	
Q 4b	Sisma silos vuoto	-	-	0.30	

valori in t

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

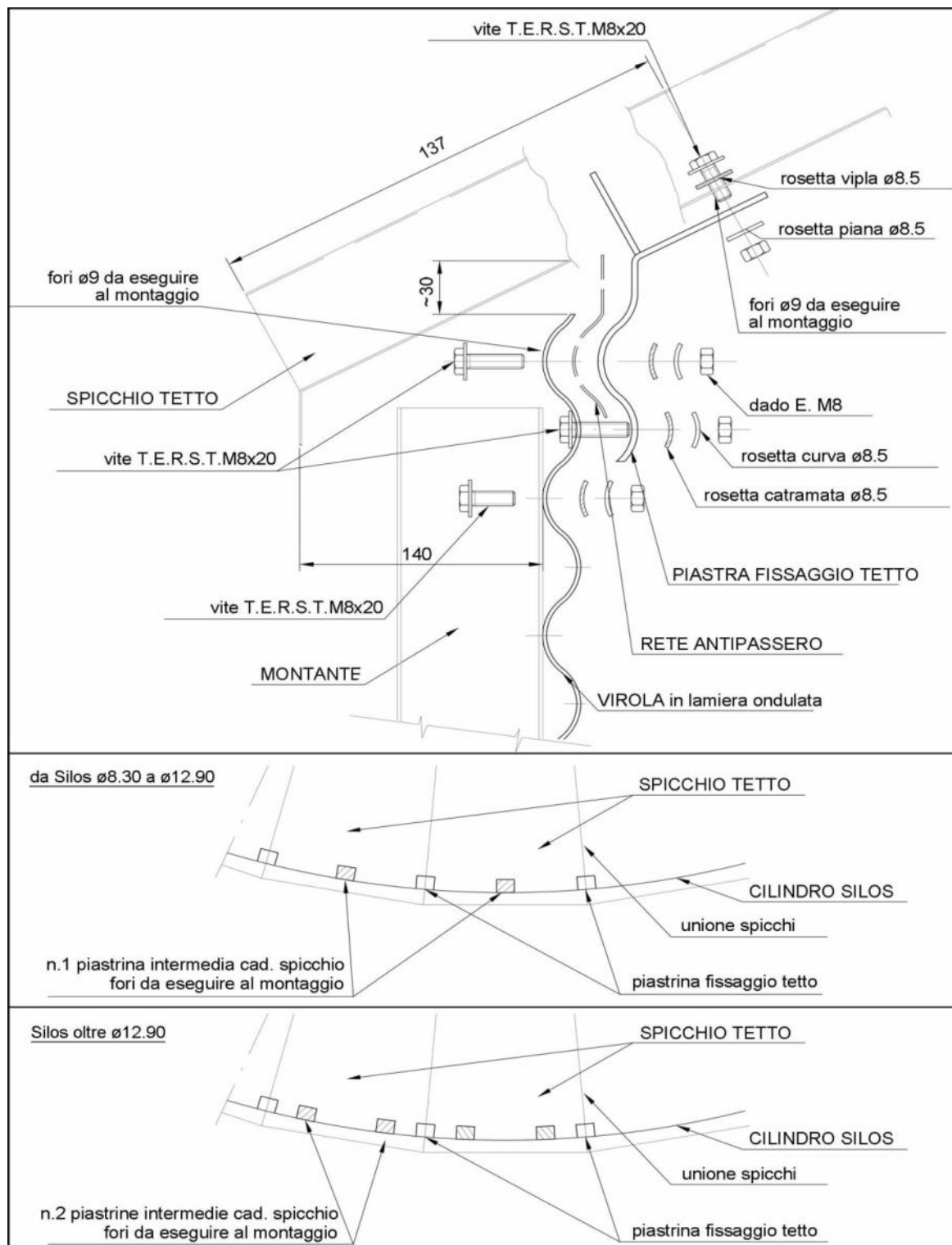
6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

App.1

Appendice 1: Montaggio rete antipassero e piastrina di fissaggio tetto



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

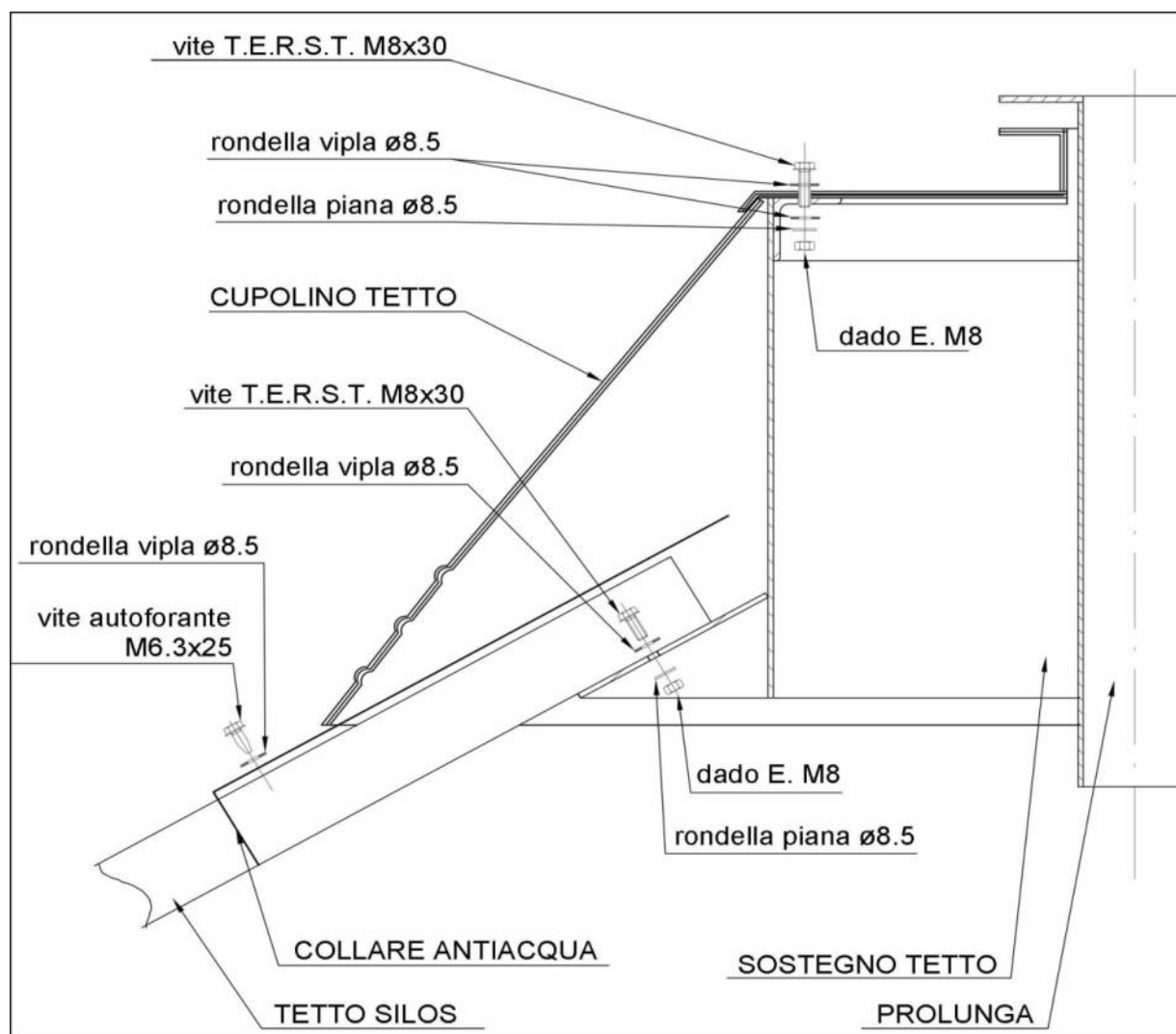
6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

App.2

Appendice 2: Cupolino silos



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

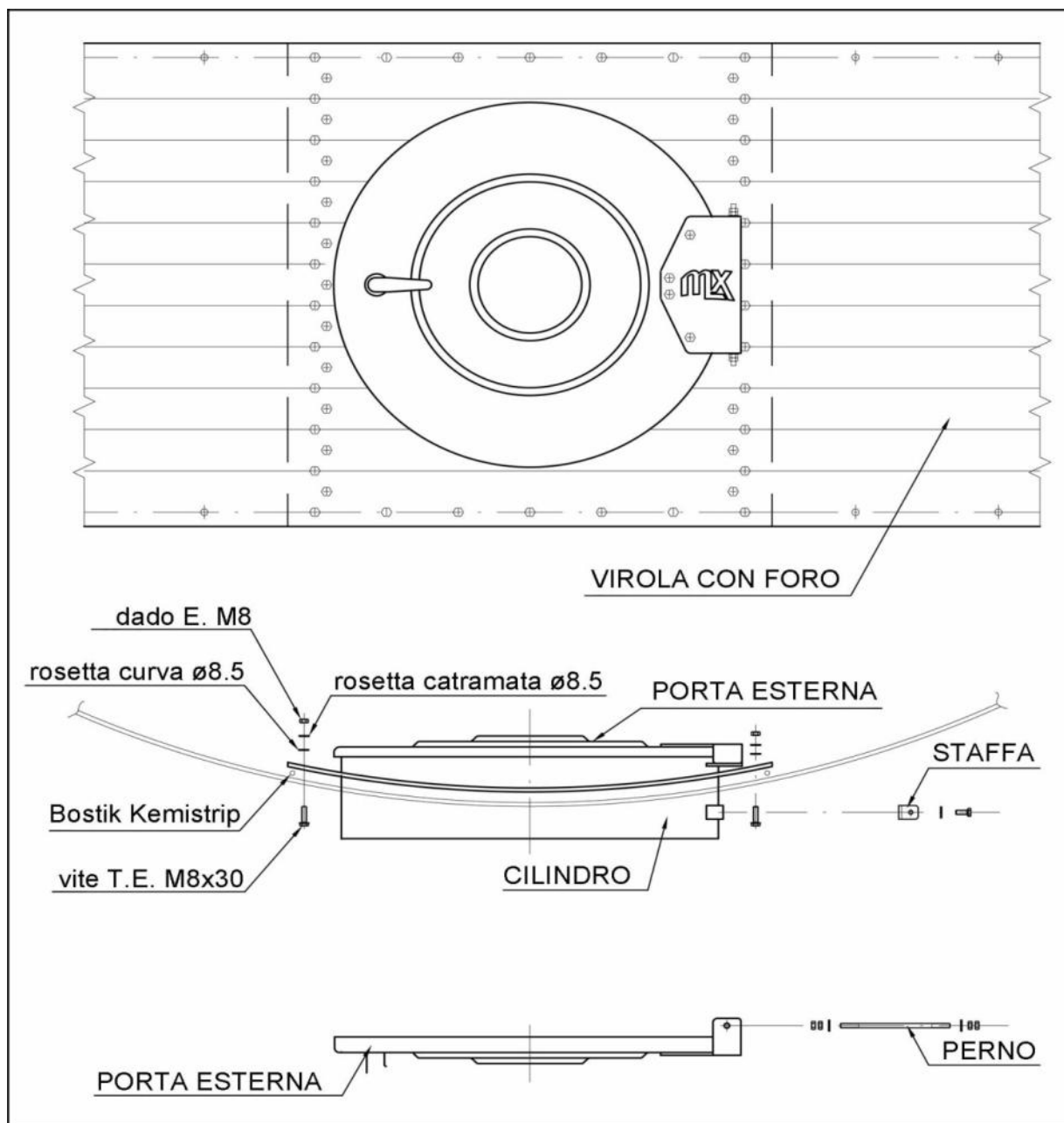
6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

App.3

Appendice 3: Porta Silos



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

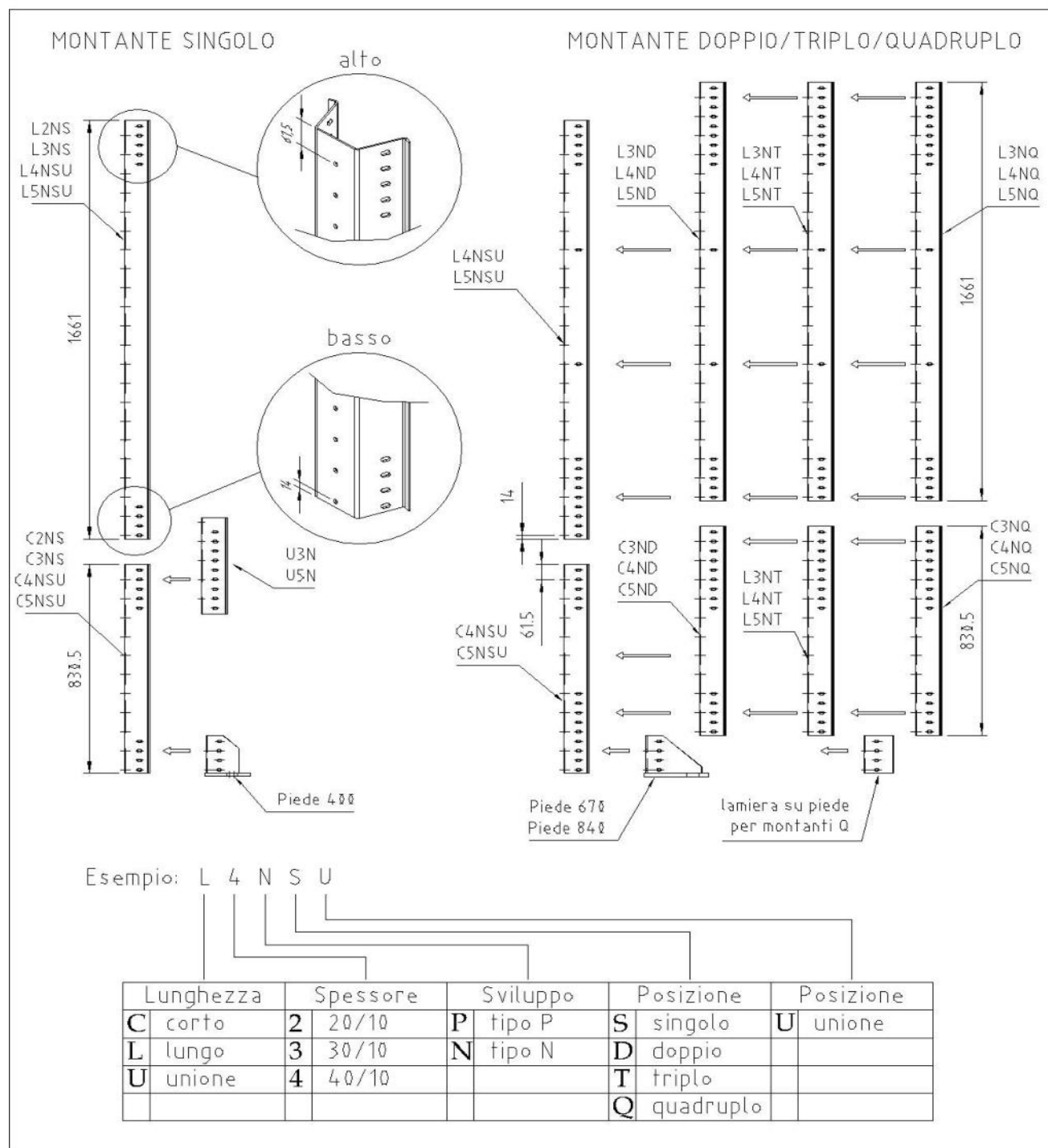
6042-RC-02

Rev.00

26/02/2020

App.4

Appendice 4: Montaggio montanti



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

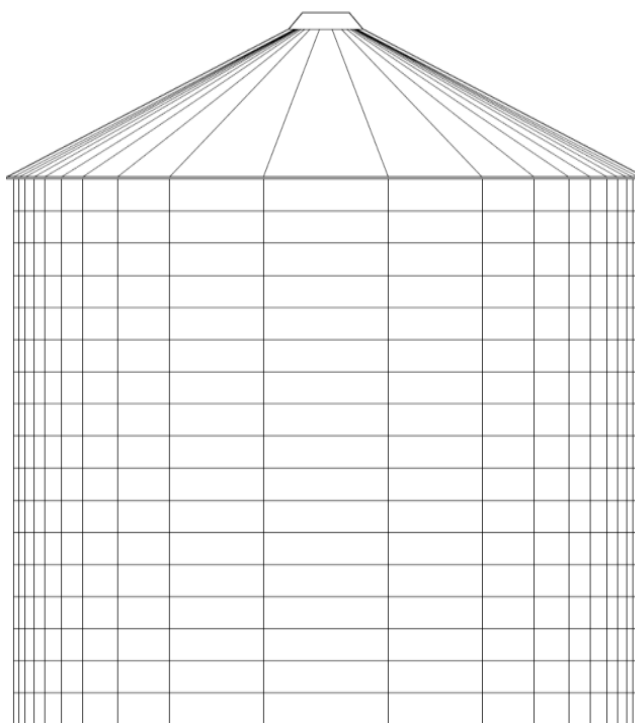
26/02/2020

Pag. 1

Comune di

BAGNARA DI ROMAGNA

Provincia di

RAVENNA

Cliente

EUROVO s.r.l.

Titolo

SILOS DI STOCCAGGIO 14.82/17

Technical Dept.		Quality Dept.		Direction		Vers.
REDATTO		CONTROLLATO		APPROVATO		06

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

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-03 Composizione silos 14.82/17
 Dettagli componenti silos

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 3

RELAZIONE TECNICA E CALCOLO STRUTTURALE

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-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 4

Legenda

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

Dimensioni

R	m	raggio del silos
D	m	diametro del silos (= 2 R)
A	m ²	sezione del silos (= πR^2)
u	m	circonferenza interna del silos (= πD)
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
α	°	angolo della tramoggia
δ	°	angolo del tetto

Pressioni

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

Indici

e	svuotamento (scarico)
f	riempimento

Coefficienti

γ	N/m ³	densità del materiale (cereale) insilato
λ		rapporto delle pressioni (Ph / Pv)
μ		coefficiente di attrito della parete (Pw / Ph)
β		coefficiente del materiale
e _h		coefficiente di sovrappressione (usato per valutare Ph in fase di scarico: Phe = eh Phf)

Nota

γ, λ, e_h	coeff. dipendenti dal materiale
μ	coeff. dipendente dal materiale e dalla ruvidità delle pareti

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 5

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° sull'orizzontale.

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-01

Rev.00

26/02/2020

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 circonferenziali 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 8 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 8 secondo UNI EN ISO 898-2.

Protezione alla corrosione:

Rivestimento Zincatura elettrolitica.

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 8

3. Caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati

Virole

Acciaio S350GD

σ_{yk}	3.5 t/cm ²
γ_{M0}	1.05
σ_{yd}	3.33 t/cm ²

Montanti

Acciaio S350GD

σ_{yk}	3.5 t/cm ²
γ_{M0}	1.05
σ_{yd}	3.33 t/cm ²

Bullonatura

diámetro	8.0 mm	10.0 mm
S resistente	36.6 mm ²	57.3 mm ²
foro	9.0 mm	11.0 mm

classe viti	8.8
classe dadi	6S

$\tau_{b,Rd}$	4.80 t/cm ²
γ_{M2}	1.25
$\tau_{b,Rd}$	3.84 t/cm ²

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-01

Rev.00

26/02/2020

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 virole e montanti).

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

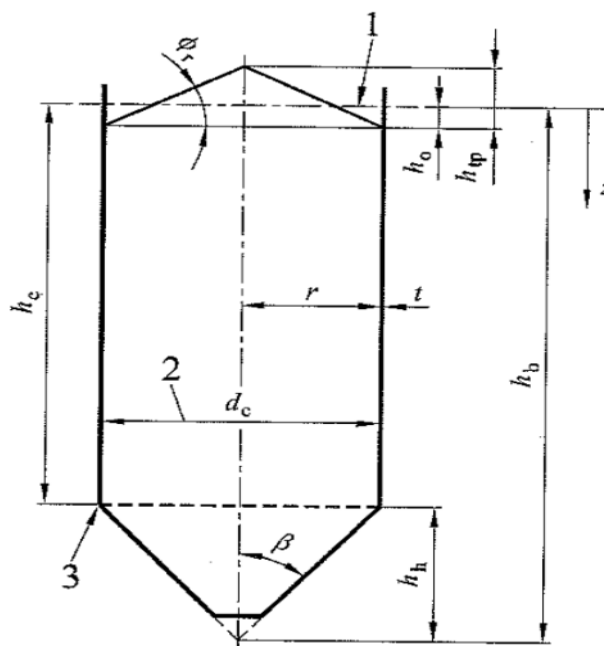


Fig. 1 Caratteristiche geometriche del silos, § UNI EN 1991-4:2006 1.1.2 figura 1.1

Definiamo:

Diametro silos	D	14.82 m
Sezione del silos	A	172.51 m ²
Circonferenza del silos	U	46.56 m
Eccentricità dello scarico	a	0.00 m
Altezza cilindro		14.1 m
Altezza tetto		4.3 m
Altezza totale		18.4 m
Altezza equivalente prodotto	h_c	15.1 m
Volume geometrico		2557.4 m ³
Angolo di riposo del cereale	ϕ_R	34 °

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

Rapporto A/U	A/U	3.7 m
Rapporto h_c/d_c	h_c/d_c	1.0

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

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 $h_c/d_c = 1.02$, si tratta quindi di silos con rapporto di snellezza "intermediate slenderness". 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 ^{a) c)}	Peso dell'unità di volume ^{b)}		Angolo di riposo	Angolo di attrito interno		Coefficiente di spinta laterale		Coefficiente ^{d)} di attrito con la parete μ				Coefficiente di riferimento del carico locale ripartito C_{op}
	γ_i	γ_u	ϕ_r	ϕ_{im}	a_ϕ	K_m	a_K	$(\mu = \tan \phi_w)$				
	Inferiore	Superiore		Medio	Coefficiente	Medio	Coefficiente	Tipo di parete D1	Tipo di parete D2	Tipo di parete D3	a_μ	
	kN/m ³	kN/m ³	Gradi	Gradi				Medio	Medio	Medio	Coefficiente	
Materiale standard ^{a)}	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, poiché 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 γ_u è il valore caratteristico superiore, da utilizzare per tutti i calcoli delle azioni. Il valore caratteristico inferiore γ_i 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 incastramento 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-01

Rev.00

26/02/2020

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 μ	Coefficiente di spinta laterale K	Angolo di attrito interno ϕ_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 μ_{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 μ_{eff} risulta pari a 0.5379 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 μ	0.624	0.464
Angolo di attrito interno ϕ_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:

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

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

$$Y_R = \left\{ 1 - \left[\left(\frac{z-h_0}{z_0-h_0} + 1 \right) \right]^n \right\}$$

$$n = -(1 + \tan \phi_R)(1 - h_0/z_0)$$

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

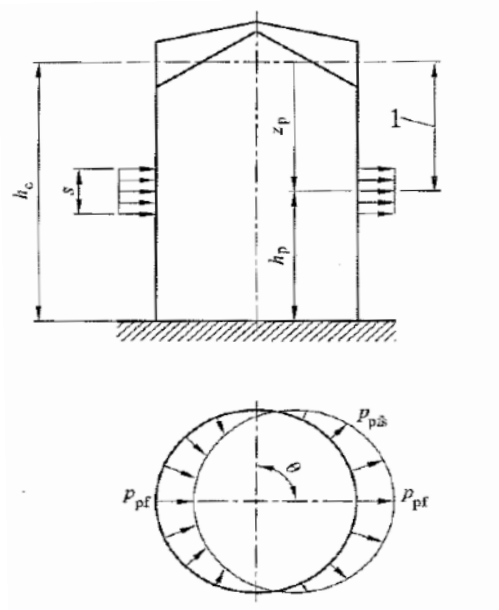


Fig. 4 Carico locale ripartito in fase di carico

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:

$$C_{pf} = 0.21 C_{op} [1 + 2E^2] \{1 - e^{[-1.5(h_c/d_c - 1)]}\} = 0.0028$$

$$E = 2e_f/d_c$$

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 del silos, alla generica quota z , può essere determinato mediante la seguente relazione:

$$p_{vf} = \gamma Z_V$$

Dove:

$$Z_V = h_0 - \frac{1}{(n+1)} \left[Z_0 - h_0 - \frac{(z+Z_0-2h_0)^{n+1}}{(Z_0-h_0)^n} \right]$$

Con Z_0 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 del silos viene determinato mediante:

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

Dove:

$$C_h = 1.0 + 0.15 C_s \quad 1.0025 \quad C_s = h_c/d_c - 1.0 = 0.0165$$

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

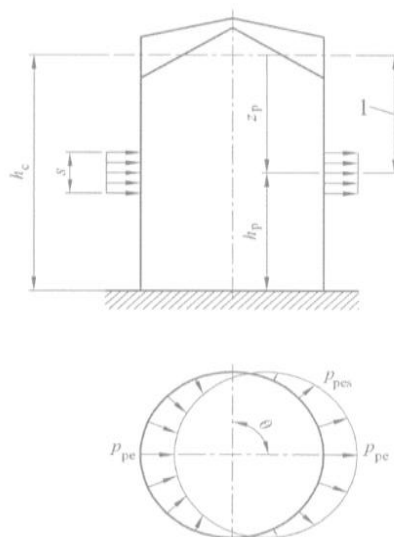


Fig. 5 Carico locale ripartito dovuto allo scarico

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

I valori delle grandezze indicate in Fig. 5 sono calcolati mediante:

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

Dove per $h_c/d_c > 1.2$:

$$C_{pe} = 0.42 C_{op} [1 + 2E^2] \{1 - e^{[-1.5(h_c/d_c - 1)]}\} = 0.0294$$

$$E = 2e/d_c$$

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:

$$C_w = 1.0 + 0.10 C_s = 1.0016$$

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 del 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**

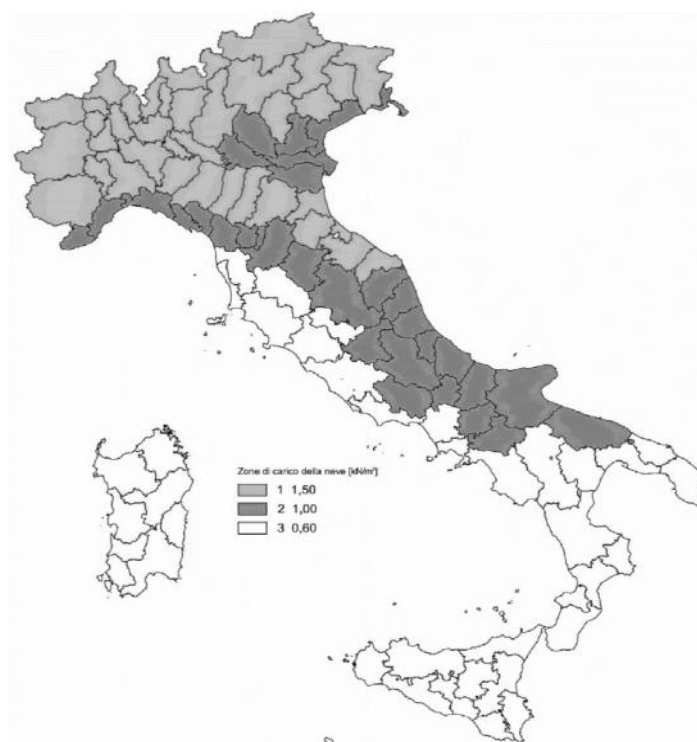


Fig. 6 Zone di carico da neve secondo NTC 2018

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 kg/m²

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 20

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 innevate 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-01

Rev.00

26/02/2020

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.

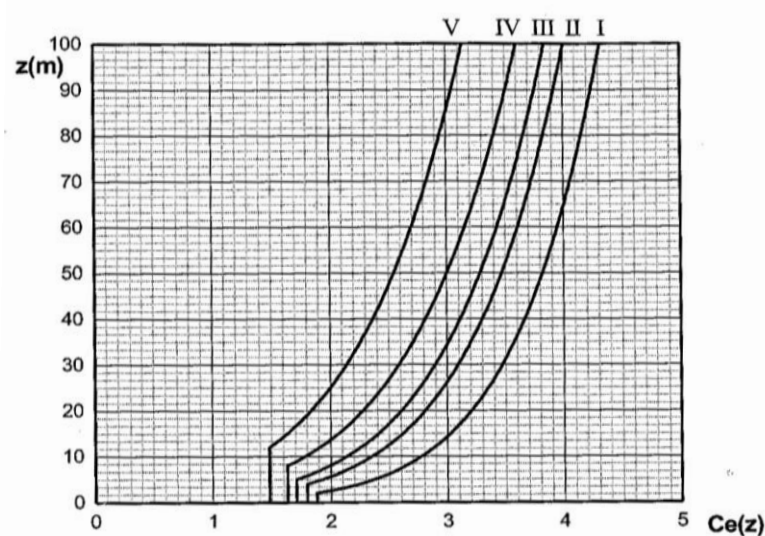


Fig. 8 Andamento del coefficiente di esposizione in funzione dell'altezza (z)

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

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

$$c_{e,\max} = c_e(z=14.12) = 2.58$$

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 α (rif. curva a).

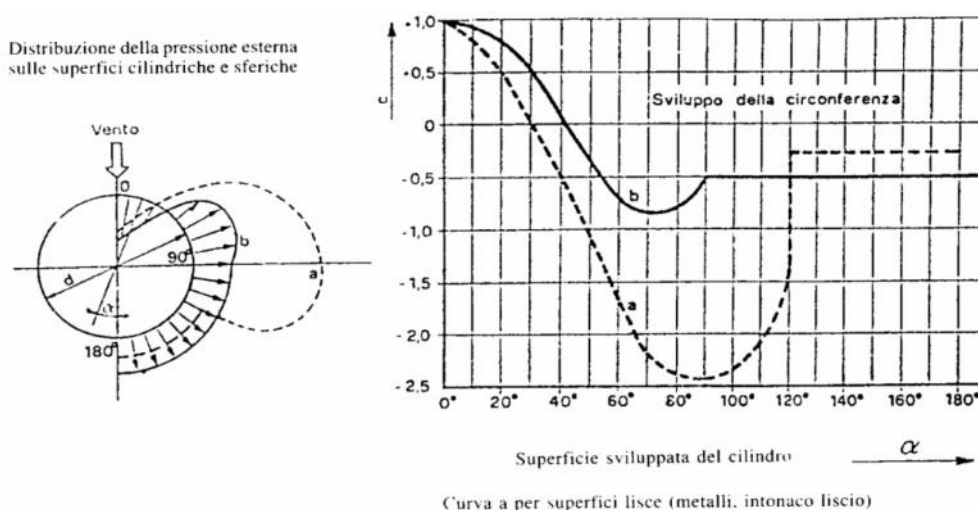


Fig. 9 Pressione locale su corpi cilindrici dovuta all'azione del vento

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

$$- Q_3 = q_b c_e c_p c_d = 390.63 \times 2.58 \times 0.70 \times 1 = 704.29 \text{ N/m}^2 = 70.429 \text{ kg/m}^2$$

Per le analisi che seguono, si considera a favore di sicurezza, l'azione dovuta ad una pressione pari a 110,0 kg/m², utilizzata dal progettista come azione minima di progetto.

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 23

5.4 Azione sismica Q_4

(DM 17 gennaio 2018)

("AGGIORNAMENTO DELLE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI")

Caratteristiche della struttura

Classe dell'opera: Opere Ordinarie VN>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 ²	T*c	0.307	s

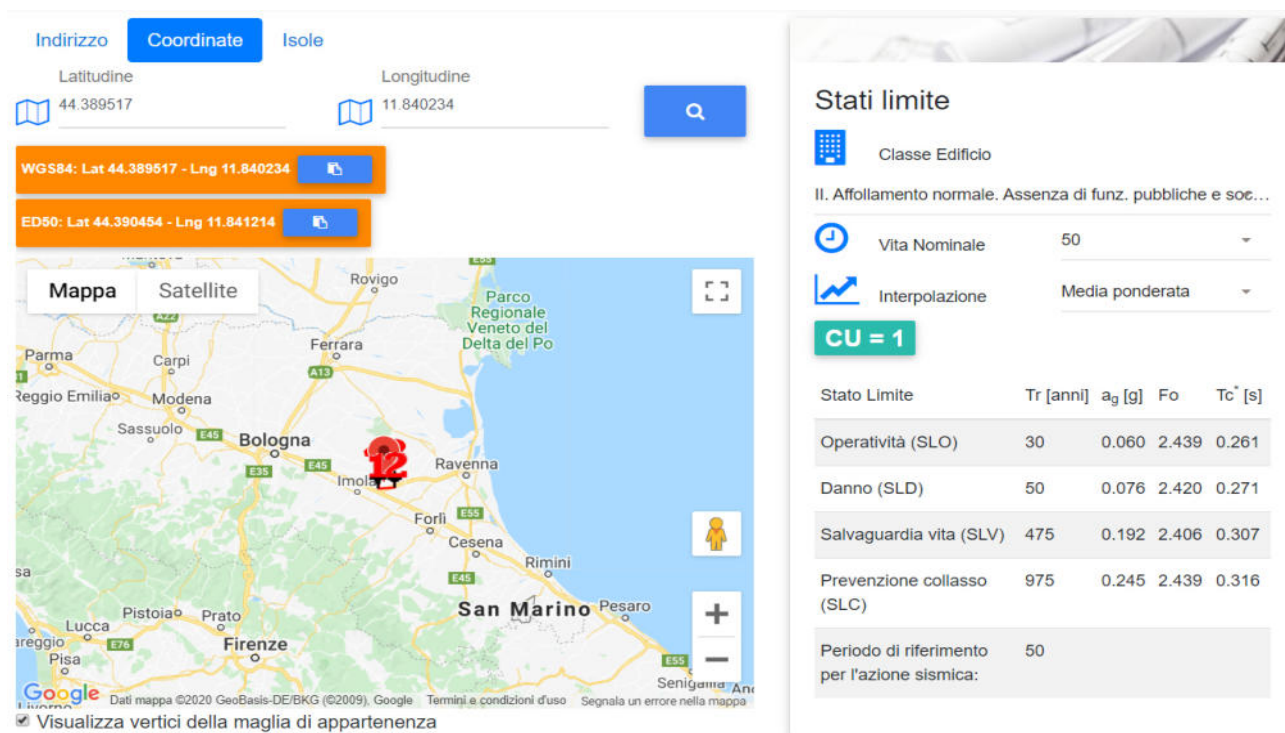


Fig. 10 Parametri sismici della località di installazione (<http://www.geostru.com>)

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

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

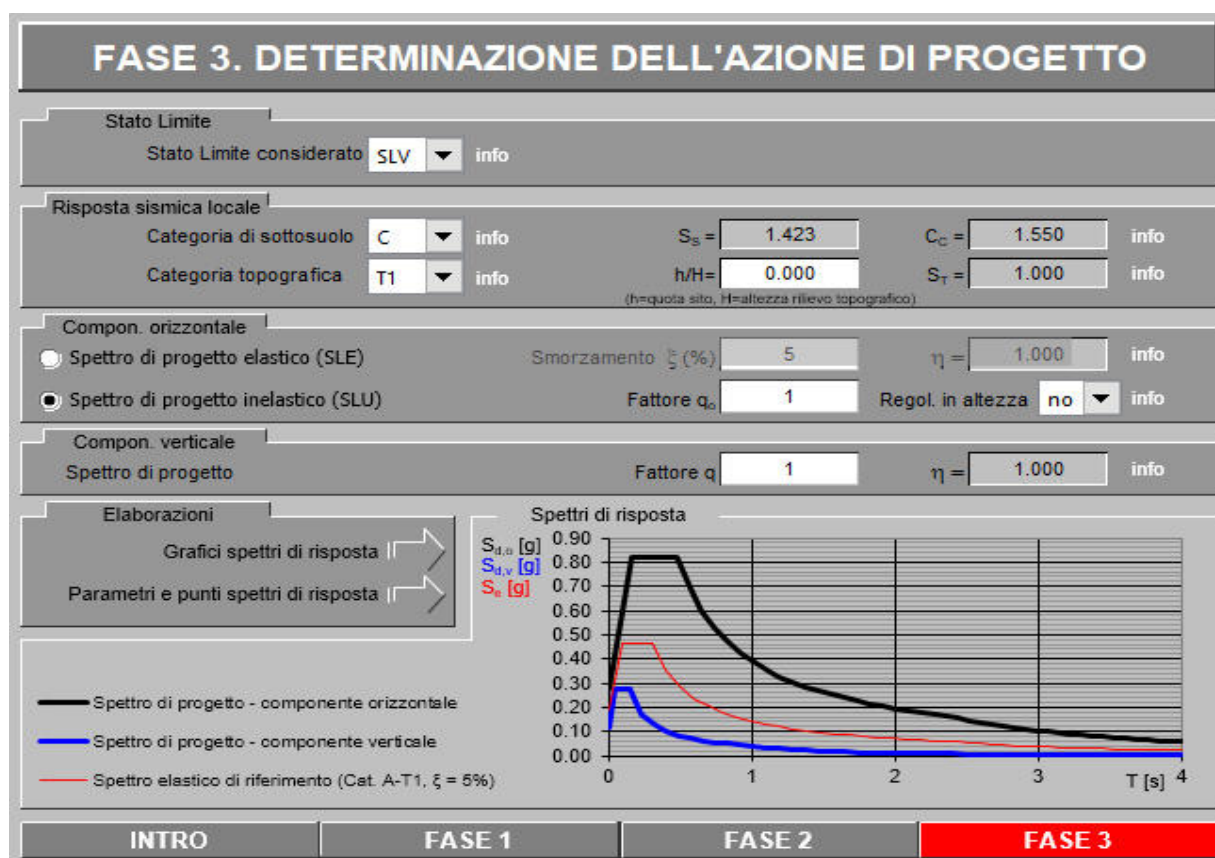


Fig. 15 Spettro elastico di riferimento valutato mediante software Spettri-NTCver.1.0.3 (<http://www.cslp.it>)

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-01

Rev.00

26/02/2020

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	
	η	1	
	$Se(T_B)$	6.446	m/s ²
	$Se(T_C)$	6.446	m/s ²
	$Se(T_D)$	1.296	m/s ²

Applicazione analisi lineare statica

$$T_1 = 0.65 \text{ s}$$

Dove:

$$T_1 = 0.85 h^{3/4}$$

Fattore di struttura	q	1.5	
	q_0	1.5	
	Kr	1	

Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

$Sd(T_B)$	4.297	m/s ²
$Sd(T_C)$	4.297	m/s ²
$Sd(T_D)$	0.864	m/s ²
$Sd(T_1)$	3.147	m/s²

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 m², 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:

$$G_{1,1} = 3,14 \times 14.82 \times 14.12 \times 35 = 23270 \text{ kg}$$

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/m² riferito all'area proiettata in pianta.

Il peso totale risulta quindi:

$$G_{1,2} = 3,14 \times 14.82^2 / 4 \times 25 = 4312.8 \text{ kg}$$

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 27

5.5.2. Peso proprio degli elementi non strutturali

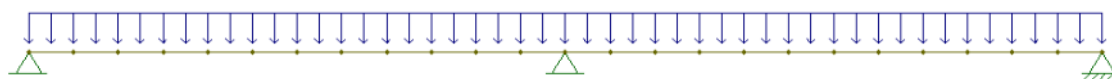
I silos di stoccaggio presenti nell'impianto vengono caricati automaticamente mediante trasportatori a catena sostenuti da un'opportuna passerella che permette anche l'ispezione delle macchine. Tale passerella viene appoggiata sulle coperture dei silos e su idonee strutture collegate al mantello del 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 cui:



$$P = 1852.6 \text{ kg}$$

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:

$$G_2 = 1852.6 \times 2 + 200 = 3905.1 \text{ kg}$$

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: 118.56 m³

Le azioni riportate nella tabella a pag. 35 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 = 118.56 m³
- n = n° di montanti = 32

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 29

7. Determinazione delle azioni di progetto

7.1 Azione dovuta al prodotto insilato

7.1.1 Parametri geometrici del silos Modello 14.82/17

Lamiere per anello	16
Virole in altezza	17
Raggio silos	7.41 m
Altezza cilindro	14.12 m
Altezza equivalente prodotto	15.06 m
Rapporto h/d	1.02

Materiale insilato		Grano
Peso specifico	γ	0.917 t/m ³
Rapporto delle pressioni	k	0.540 (valore medio)
Coeff. di attrito sulle pareti	μ	0.570 (valore medio)
Coeff. C _b	C _b	1.000

Sezione silos	A	172.51 m ²
Circonferenza silos	u	46.56 m
Rapporto A/u	A/u	3.71 m
Coefficiente Z ₀ (1)	Z ₀	13.33 m
Coefficiente Z ₀ (2)	Z ₀	9.91 m

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

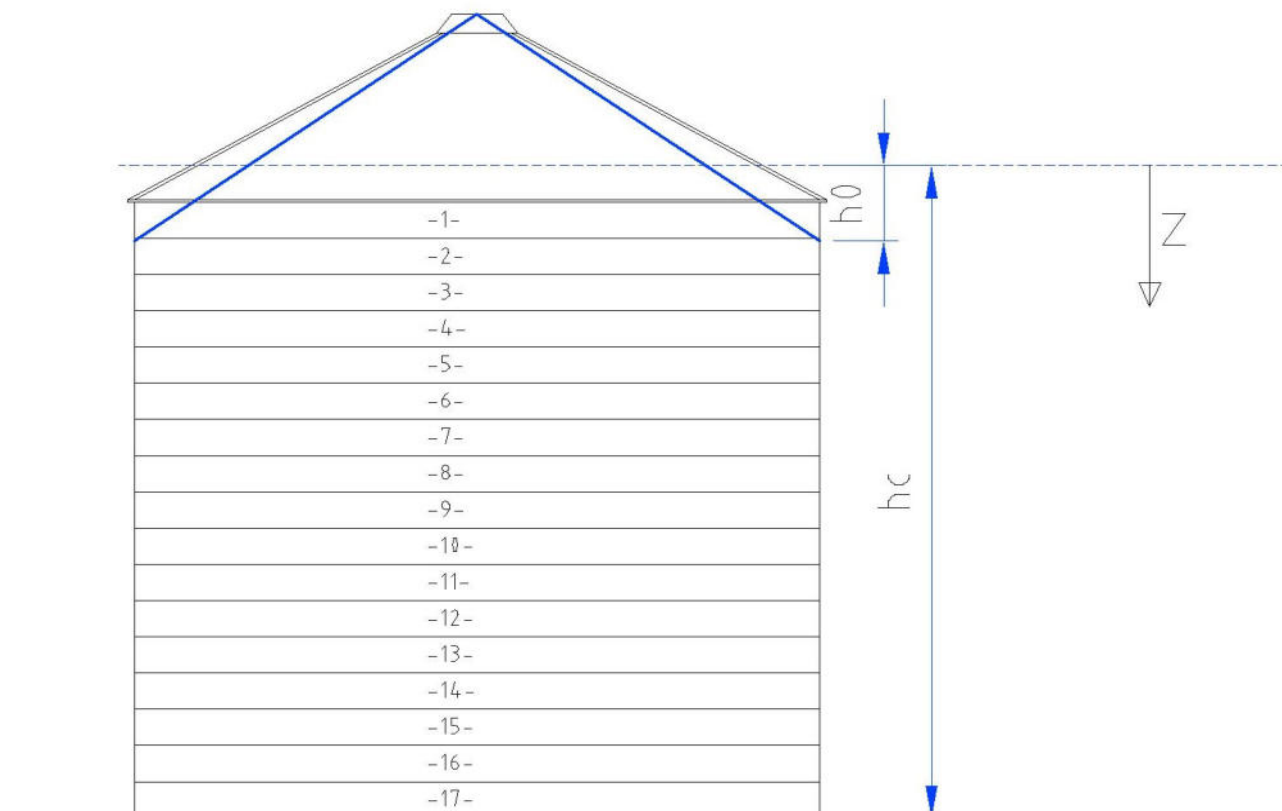
6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

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-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 31

7.1.2 Fase di carico

Viola	z	$Y_R(z) (1)$	$Y_R(z) (2)$	P_{wf}	Phf	P_{vf}	$P_{wf,u}$	Phf,u
	m			t/m^2	t/m^2	t/m^2	t/m^2	t/m^2
1	1.777	0.014	0.018	0.063	0.101	1.629	0.063	0.101
2	2.607	0.107	0.140	0.475	0.788	2.344	0.477	0.789
3	3.438	0.187	0.238	0.807	1.372	2.993	0.810	1.374
4	4.268	0.255	0.318	1.080	1.873	3.586	1.083	1.876
5	5.099	0.315	0.384	1.306	2.307	4.130	1.310	2.310
6	5.929	0.366	0.441	1.497	2.686	4.632	1.502	2.690
7	6.760	0.412	0.488	1.660	3.020	5.097	1.665	3.024
8	7.590	0.452	0.530	1.801	3.315	5.529	1.806	3.319
9	8.421	0.488	0.566	1.923	3.577	5.933	1.928	3.582
10	9.251	0.520	0.597	2.029	3.812	6.310	2.035	3.817
11	10.082	0.549	0.625	2.124	4.023	6.665	2.130	4.029
12	10.912	0.575	0.649	2.207	4.214	6.999	2.213	4.220
13	11.743	0.598	0.671	2.282	4.387	7.314	2.288	4.393
14	12.573	0.620	0.691	2.349	4.544	7.611	2.355	4.550
15	13.404	0.639	0.709	2.409	4.688	7.893	2.416	4.694
16	14.234	0.657	0.725	2.464	4.819	8.161	2.471	4.826
17	15.065	0.674	0.739	2.513	4.940	8.416	2.520	4.947

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-01

Rev.00

26/02/2020

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}	Pvsq
	m			t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m	t/m ²
1	1.777	0.014	0.018	0.063	0.101	0.102	0.064	1.629	0.004	3.438
2	2.607	0.107	0.140	0.476	0.790	0.801	0.490	2.344	0.241	4.152
3	3.438	0.187	0.238	0.809	1.375	1.395	0.833	2.993	0.795	4.801
4	4.268	0.255	0.318	1.082	1.878	1.905	1.113	3.586	1.606	5.394
5	5.099	0.315	0.384	1.309	2.313	2.347	1.347	4.130	2.631	5.938
6	5.929	0.366	0.441	1.500	2.693	2.733	1.544	4.632	3.834	6.440
7	6.760	0.412	0.488	1.663	3.027	3.072	1.712	5.097	5.188	6.905
8	7.590	0.452	0.530	1.804	3.323	3.372	1.857	5.529	6.671	7.337
9	8.421	0.488	0.566	1.926	3.586	3.639	1.983	5.933	8.267	7.741
10	9.251	0.520	0.597	2.033	3.821	3.878	2.093	6.310	9.960	8.119
11	10.082	0.549	0.625	2.127	4.033	4.092	2.190	6.665	11.739	8.473
12	10.912	0.575	0.649	2.211	4.224	4.286	2.276	6.999	13.594	8.807
13	11.743	0.598	0.671	2.286	4.398	4.462	2.353	7.314	15.517	9.122
14	12.573	0.620	0.691	2.353	4.555	4.622	2.422	7.611	17.500	9.419
15	13.404	0.639	0.709	2.413	4.699	4.769	2.484	7.893	19.537	9.702
16	14.234	0.657	0.725	2.468	4.831	4.902	2.540	8.161	21.624	9.969
17	15.065	0.674	0.739	2.517	4.953	5.026	2.592	8.416	23.756	10.224

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

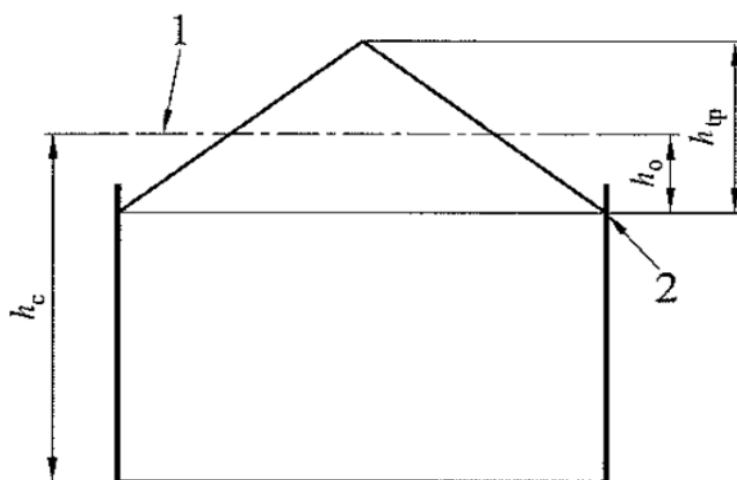
$$n_{zSk} = \int_0^z p_{we} dz = C_w \cdot \mu \cdot p_{h0} \cdot [z - z_V]$$

con:

$$z_V = h_0 - \frac{1}{(n+1)} \left(z_0 - h_0 - \frac{(z + z_0 - 2h_0)^{n+1}}{(z_0 - h_0)^n} \right)$$

Legenda (segue):

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



$$p_{vsq} = p_{vb} + \Delta p_{sq} \left(\frac{2,0 - h_c/d_c}{2,0 - h_{tp}/d_c} \right)$$

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

$$\Delta p_{vsq} = p_{vtp} - p_{vho} = \gamma z_V(h_o) - \gamma z_V(h_c)$$

con

$$z_V = h_o - \frac{1}{(n+1)} \left(z_0 - h_o - \frac{(z + z_0 - 2h_o)^{n+1}}{(z_0 - h_o)^n} \right)$$

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 34

7.2 Altre azioni di progetto

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

Peso cilindro	23 270.5 kg	}	Azioni verticali supportate dai montanti di irrigidimento
Peso tetto	4 312.8 kg		
Peso non strutturale	3 905 kg		
Carico neve	148.0 kg/m ²	}	Agisce sulla superficie proiettata della copertura
Pressione vento	100.0 kg/m ²		Agiscono sulla superficie laterale del cilindro e vengono trasferiti ai montanti come sovraccarico verticale
Sisma (Sd)	3.147 m/s ²		

Si riportano di seguito le caratteristiche dei montanti.

N. mont/lam	2
N° Montanti totali	32

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

Modulo elastico della sezione di base: $W_x =$	118.56 m ³
Tensione caratteristica di snervamento: $\sigma_{yk} =$	3.5 t/m ²

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-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 35

Vir	z	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₃ : Vento		Q ₄ : Sisma	
				Pwe,u(TOT)	Neve	Momento	Az. Vert.	Momento	Az. Vert.
	m	t	t	t	t	tm	t	tm	t
1	1.777	5.682	3.905	0.17	25.877	19.34	5.22	66.86	18.04
2	2.607	7.050	3.905	11.20	25.877	26.14	7.06	142.67	38.51
3	3.438	8.419	3.905	37.00	25.877	33.96	9.17	246.87	66.63
4	4.268	9.788	3.905	74.80	25.877	42.81	11.55	379.46	102.42
5	5.099	11.157	3.905	122.50	25.877	52.67	14.22	540.44	145.86
6	5.929	12.526	3.905	178.50	25.877	63.56	17.15	729.81	196.97
7	6.760	13.895	3.905	241.54	25.877	75.47	20.37	947.57	255.75
8	7.590	15.264	3.905	310.60	25.877	88.40	23.86	1193.72	322.18
9	8.421	16.632	3.905	384.89	25.877	102.36	27.63	1468.26	396.28
10	9.251	18.001	3.905	463.72	25.877	117.33	31.67	1771.18	478.04
11	10.082	19.370	3.905	546.56	25.877	133.33	35.99	2102.50	567.46
12	10.912	20.739	3.905	632.93	25.877	150.35	40.58	2462.20	664.54
13	11.743	22.108	3.905	722.45	25.877	168.40	45.45	2850.30	769.28
14	12.573	23.477	3.905	814.79	25.877	187.46	50.60	3266.78	881.69
15	13.404	24.846	3.905	909.67	25.877	207.55	56.02	3711.65	1001.76
16	14.234	26.214	3.905	1006.83	25.877	228.66	61.72	4184.91	1129.49
17	15.065	27.583	3.905	1106.06	25.877	250.79	67.69	4686.56	1264.89

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-01

Rev.00

26/02/2020

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.

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

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 37

8.2 COMBINAZIONE SLU-02

Silos vuoto, azione contemporanea di vento e neve.

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

8.3 COMBINAZIONE SLU-03

Silos vuoto, azione dominante del vento.

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

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 38

8.4 COMBINAZIONE SLU-04

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

E+G1+G2+y21Qk1	γ_{G1}	1.00
	γ_{G2}	1.00
	γ_{Q1}	0.80
	γ_{Q4} (E)	1.00
	γ_{Q5}	0.80

8.5 COMBINAZIONE SLU-05

Silos vuoto, azione del sisma.

E+G1+G2+y21Qk1	γ_{G1}	1.00
	γ_{G2}	1.00
	γ_{Q1}	-
	γ_{Q4} (E)	1.00
	γ_{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-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 39

9. Determinazione lamiera

9.1 Caratteristiche geometriche e meccaniche delle virole

La resistenza delle lamiera 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	9.8	32.3
8/10 3FFA	0.8	982	12	9	699	34	8	36.6	22.1	14.5	47.8
10/10 3FFA	1	982	12	9	874	34	8	36.6	27.6	19.5	47.8
12/10 3FFA	1.25	982	12	9	1093	34	8	36.6	34.5	26.4	47.8
15/10 3FFA 10	1.5	975	12	11	1265	34	10	57.3	42.1	42.8	74.8
17/10 3FFA 10	1.75	975	12	11	1475	34	10	57.3	49.2	50.0	74.8
20/10 3FFA 10	2	960	12	11	1656	34	10	57.3	55.2	57.1	74.8
25/10 4FFA 10	2.5	955	12	11	2058	44	10	57.3	68.7	92.4	96.8
30/10 4FFA 10	3	930	12	11	2394	44	10	57.3	79.9	110.9	96.8
S35/10 4FFA 10	3.5	950	12	11	2863	44	10	57.3	95.6	129.4	96.8
S40/10 5FFA 10	4	950	12	11	3272	55	10	57.3	109.4	184.8	121.0
S45/10 5FFA 10	4.5	950	12	11	3681	55	10	57.3	123.0	207.9	121.0
S50/10 5FFA 10	5	950	12	11	4090	55	10	57.3	136.7	231.0	121.0
S55/10 5FFA 10	5.5	930	12	11	4389	55	10	57.3	146.7	254.1	151.3
S60/10 5FFA 10	6	930	12	11	4788	55	10	57.3	160.0	277.2	151.3

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-01

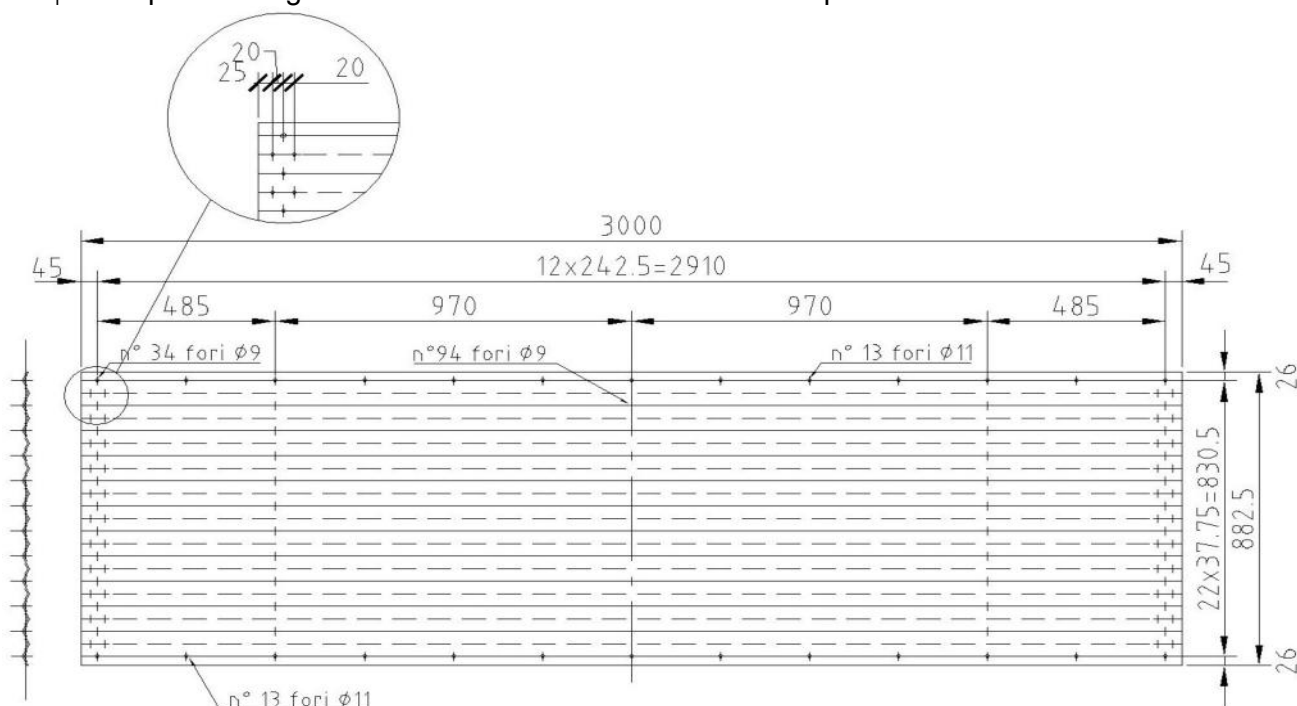
Rev.00

26/02/2020

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.



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

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

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

$$n = 12$$

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

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

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

$$\beta = 0.9402$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

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

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

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

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

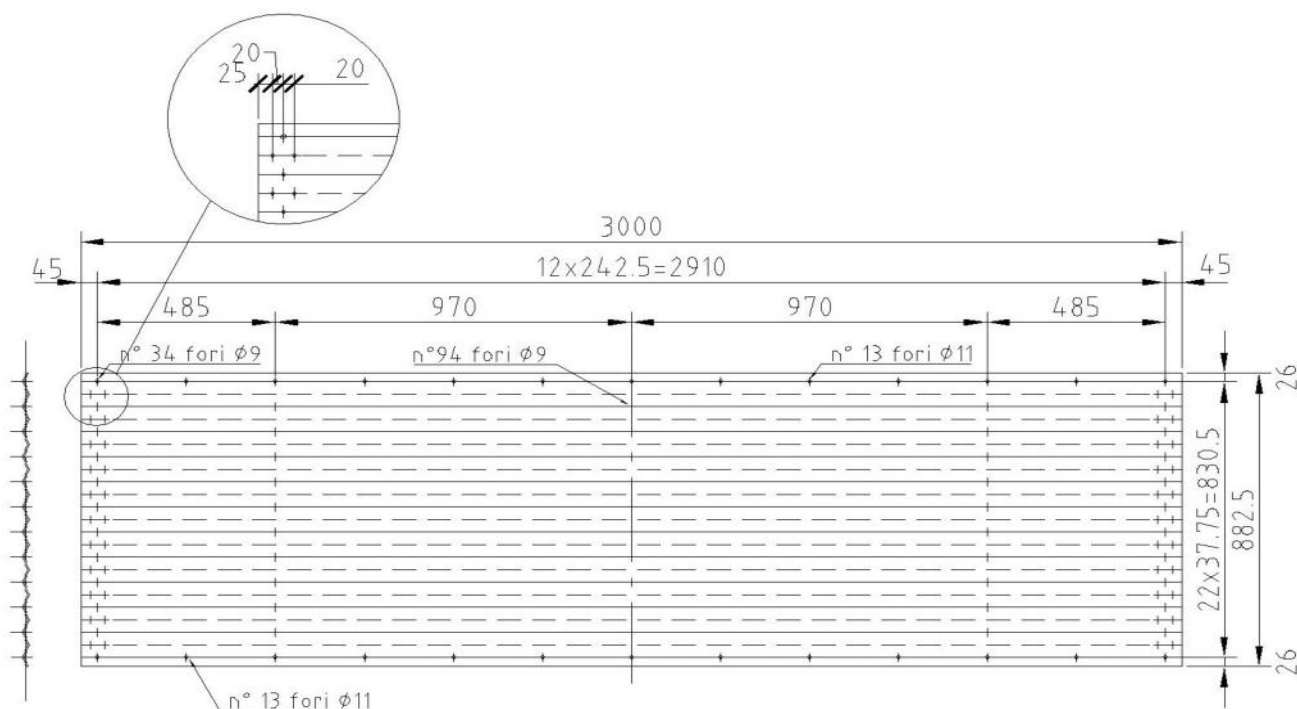
Mulmix

6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 41



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

$$\begin{aligned} t &= 1 \text{ mm} \\ d &= 8 \text{ mm} \\ n &= 34 \end{aligned}$$

$$k_t = \frac{0,8 \cdot t + 1,5}{2,5} = 0.92 \quad (\text{per } t < 1,25 \text{ mm})$$

$$\alpha_b = \min\left(1; \frac{e_1}{3 \cdot d}\right) = \min(1; 25/3 \times 8) = 0.9259$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

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

$$F_{b,Rd} = 194631.11 = 19.5 \text{ t}$$

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

$$A_{res} = 36.6 \text{ mm}^2$$

$$n = 34$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

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

$$F_{v,Rd} = 477849.60 = 47.8 \text{ t}$$

$$F_{Rd} = \min(F_{n,Rd}; F_{b,Rd}; F_{v,Rd}) = 19.5 \text{ t}$$

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

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.

Virola	z	Phe,u	D silos	h rif.	γ_{Q1}	Fa*	Lamiera
	m	t/m ²	m	m		t/lamiera	
1	1.777	0.102	14.82	0.8305	1.5	0.945	8/10 2FFA
2	2.607	0.801	14.82	0.8305	1.5	7.397	8/10 2FFA
3	3.438	1.395	14.82	0.8305	1.5	12.881	8/10 3FFA
4	4.268	1.905	14.82	0.8305	1.5	17.588	10/10 3FFA
5	5.099	2.347	14.82	0.8305	1.5	21.666	12/10 3FFA
6	5.929	2.733	14.82	0.8305	1.5	25.225	12/10 3FFA
7	6.760	3.072	14.82	0.8305	1.5	28.356	15/10 3FFA 10
8	7.590	3.372	14.82	0.8305	1.5	31.125	15/10 3FFA 10
9	8.421	3.639	14.82	0.8305	1.5	33.590	15/10 3FFA 10
10	9.251	3.878	14.82	0.8305	1.5	35.796	15/10 3FFA 10
11	10.082	4.092	14.82	0.8305	1.5	37.779	15/10 3FFA 10
12	10.912	4.286	14.82	0.8305	1.5	39.570	15/10 3FFA 10
13	11.743	4.462	14.82	0.8305	1.5	41.193	15/10 3FFA 10
14	12.573	4.622	14.82	0.8305	1.5	42.671	17/10 3FFA 10
15	13.404	4.769	14.82	0.8305	1.5	44.020	17/10 3FFA 10
16	14.234	4.902	14.82	0.8305	1.5	45.256	17/10 3FFA 10
17	15.065	5.026	14.82	0.8305	1.5	46.392	17/10 3FFA 10

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 43

9.3 Composizione delle virole

Gli spessori delle virole indicati nel capitolo 8 rappresentenano lo spessore minimo che soddisfa i requisiti di resistenza.

Gli spessori vengono maggiorati per esigenze di montaggio in particolare in corrispondenza della copertura e della base del silos e per evitare che la differenza di spessore tra un anello ed il successivo sia tale da rendere difficoltoso l'assemblaggio. Si riporta di seguito la composizione adeguata secondo questi criteri.

Virola	z	Lamiera	Lamiera
	m	minima	prescritta
1	1.777	8/10 2FFA	15/10 3FFA 10
2	2.607	8/10 2FFA	8/10 2FFA
3	3.438	8/10 3FFA	8/10 2FFA
4	4.268	10/10 3FFA	10/10 3FFA
5	5.099	12/10 3FFA	12/10 3FFA
6	5.929	12/10 3FFA	12/10 3FFA
7	6.760	15/10 3FFA 10	15/10 3FFA 10
8	7.590	15/10 3FFA 10	15/10 3FFA 10
9	8.421	15/10 3FFA 10	15/10 3FFA 10
10	9.251	15/10 3FFA 10	15/10 3FFA 10
11	10.082	15/10 3FFA 10	15/10 3FFA 10
12	10.912	15/10 3FFA 10	15/10 3FFA 10
13	11.743	15/10 3FFA 10	15/10 3FFA 10
14	12.573	17/10 3FFA 10	17/10 3FFA 10
15	13.404	17/10 3FFA 10	17/10 3FFA 10
16	14.234	17/10 3FFA 10	17/10 3FFA 10
17	15.065	17/10 3FFA 10	17/10 3FFA 10

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

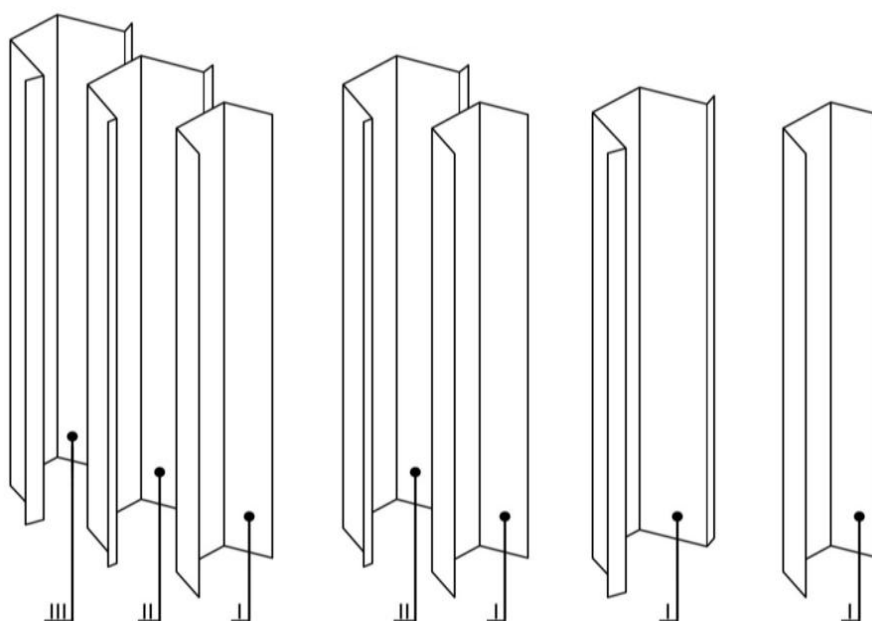
26/02/2020

Pag. 44

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-01

Rev.00

26/02/2020

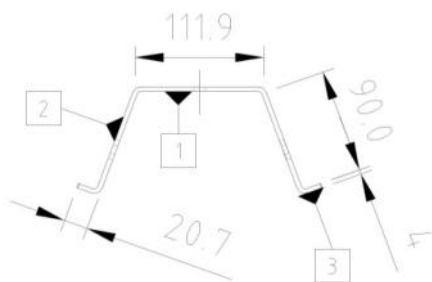
Pag. 45

10.1 Caratteristiche meccaniche dei montanti

	Sp.	Wx [mm³]	Wy [mm³]	Jx [mm⁴]	A eff [mm²]	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-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 46

10.3 Verifica a compressione

Vir	z	SLU-01	SLU-02	SLU-03	SLU-04	SLU-05	N _{sd} max	Montante	
	m	t	t	t	t	t	t/mont	mm ²	tipo
1	1.78	37.60	40.48	21.07	27.76	9.77	1.27	37.95	L2NS
2	2.61	57.58	45.01	25.61	58.42	11.34	1.83	54.77	L2NS
3	3.44	99.96	49.96	30.55	108.55	12.99	3.39	101.77	L2NS
4	4.27	160.58	55.32	35.91	175.95	14.72	5.50	164.95	L2NS
5	5.10	236.31	61.09	41.69	258.93	16.52	8.09	242.74	L2NS
6	5.93	324.74	67.28	47.87	356.20	18.40	11.13	333.94	L2NS
7	6.76	423.97	73.88	54.47	466.78	20.36	14.59	437.60	L2NS
8	7.59	532.49	80.90	61.49	589.83	22.39	18.43	552.97	L3NS
9	8.42	649.08	88.33	68.92	724.72	24.50	22.65	679.43	L3NS
10	9.25	772.75	96.17	76.76	870.92	26.69	27.22	816.49	L3NS
11	10.08	902.67	104.43	85.02	1027.98	28.95	32.12	963.73	L3NS
12	10.91	1038.15	113.10	93.69	1195.53	31.29	37.36	1120.81	L4NS
13	11.74	1178.59	122.18	102.77	1373.26	33.71	42.91	1287.43	L4NS
14	12.57	1323.51	131.68	112.27	1560.91	36.20	48.78	1463.35	L5NS
15	13.40	1472.48	141.59	122.18	1758.24	38.77	54.95	1648.35	L5NS
16	14.23	1625.13	151.92	132.51	1965.07	41.41	61.41	1842.26	L7ND
17	15.06	1781.14	162.66	143.25	2181.23	44.14	68.16	2044.90	L7ND

Legenda:

SLU-01 ÷ 05

N_{sd} max

Azione verticale complessiva alla base del silos

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-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 47

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 ²	Verifica
1	1.78	28.20	24.82	5.41	-8.32	9.41	-0.26	7.80	VERIF.
2	2.61	44.88	23.85	4.44	-18.59	10.57	-0.58	17.43	VERIF.
3	3.44	83.46	22.46	3.05	-24.70	11.66	-0.77	23.16	VERIF.
4	4.27	139.79	20.66	1.25	-28.88	12.67	-0.90	27.08	VERIF.
5	5.10	210.73	18.45	-0.96	-32.80	13.60	-1.03	30.75	VERIF.
6	5.93	293.86	15.82	-3.59	-37.74	14.46	-1.18	35.38	VERIF.
7	6.76	387.30	12.77	-6.63	-44.72	15.24	-1.40	41.92	VERIF.
8	7.59	489.54	9.32	-10.09	-54.53	15.95	-1.70	51.12	VERIF.
9	8.42	599.36	5.45	-13.96	-67.83	16.57	-2.12	63.59	VERIF.
10	9.25	715.75	1.16	-18.24	-85.15	17.13	-2.66	79.83	VERIF.
11	10.08	837.90	-3.53	-22.94	-106.93	17.60	-3.34	100.25	VERIF.
12	10.91	965.10	-8.64	-28.05	-133.55	18.00	-4.17	125.20	VERIF.
13	11.74	1096.78	-14.17	-33.58	-165.31	18.32	-5.17	154.98	VERIF.
14	12.57	1232.44	-20.11	-39.52	-202.48	18.56	-6.33	189.82	VERIF.
15	13.40	1371.65	-26.46	-45.87	-245.28	18.73	-7.66	229.95	VERIF.
16	14.23	1514.04	-33.23	-52.64	-293.91	18.82	-9.18	275.54	VERIF.
17	15.06	1659.30	-40.41	-59.82	-348.55	18.84	-10.89	326.76	VERIF.

Legenda:

SLU-01 ÷ 05

N_{sd} max

Azione verticale complessiva alla base del silos

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-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 48

10.4 Verifica unioni bullonate

Vir	z	N _{Sd} max	N _{Sd} min	ΔN (1)	ΔN (2)	ΔN _{Sd}	Montante		
	m	t/mont	t/mont	t/mont	t/mont	t/mont	Tipo	Unione	V _{Rd} [t]
1	1.78	1.27	-0.26	1.27	0.26	1.27	L2NS	11 M8	15.46
2	2.61	1.83	-0.58	0.56	0.32	0.56	L2NS	11 M8	15.46
3	3.44	3.39	-0.77	1.57	0.19	1.57	L2NS	11 M8	15.46
4	4.27	5.50	-0.90	2.11	0.13	2.11	L2NS	11 M8	15.46
5	5.10	8.09	-1.03	2.59	0.12	2.59	L2NS	11 M8	15.46
6	5.93	11.13	-1.18	3.04	0.15	3.04	L2NS	11 M8	15.46
7	6.76	14.59	-1.40	3.46	0.22	3.46	L2NS	11 M8	15.46
8	7.59	18.43	-1.70	3.85	0.31	3.85	L3NS	11 M8	15.46
9	8.42	22.65	-2.12	4.22	0.42	4.22	L3NS	11 M8	15.46
10	9.25	27.22	-2.66	4.57	0.54	4.57	L3NS	11 M8	15.46
11	10.08	32.12	-3.34	4.91	0.68	4.91	L3NS	11 M8	15.46
12	10.91	37.36	-4.17	5.24	0.83	5.24	L4NS	11 M8	15.46
13	11.74	42.91	-5.17	5.55	0.99	5.55	L4NS	11 M8	15.46
14	12.57	48.78	-6.33	5.86	1.16	5.86	L5NS	11 M8	15.46
15	13.40	54.95	-7.66	6.17	1.34	6.17	L5NS	11 M8	15.46
16	14.23	61.41	-9.18	6.46	1.52	6.46	L7ND	11 M8	15.46
17	15.06	68.16	-10.89	6.75	1.71	6.75	L7ND	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.

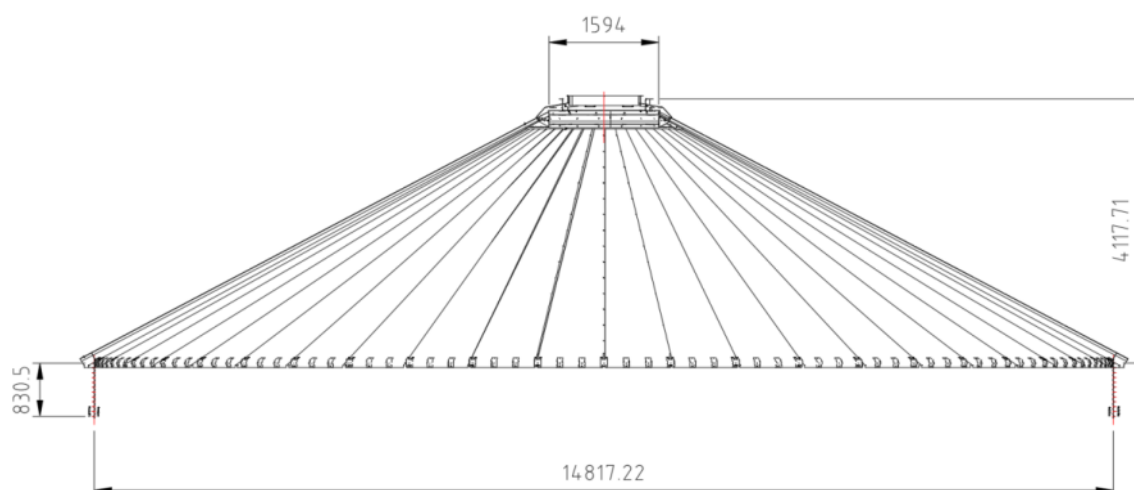
Il carico trasmesso da ciascun anello corrisponde alla variazione di carico verticale tra l'anello precedente e quello considerato.

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

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

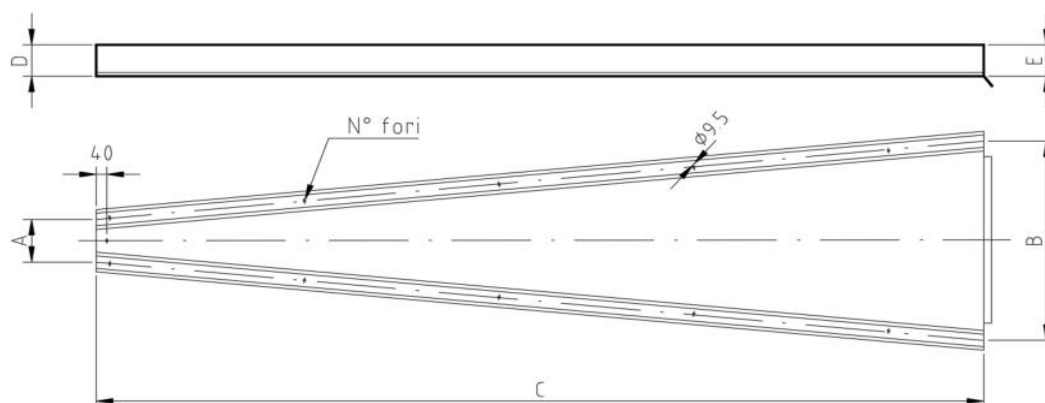
Mulmix

6042-RC-01

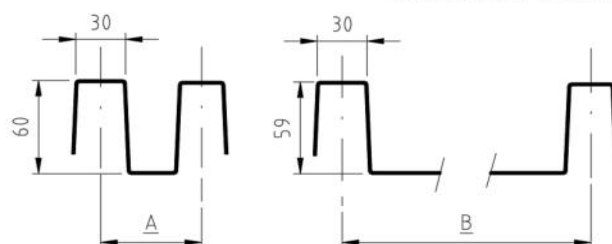
Rev.00

26/02/2020

Pag. 50



SEZIONI A LARGHEZZA VARIABILE



Spicchio	A	B	C	D	E	N° fori	N° spicchi	Massa Kg	Codice
	135	990	7637	60	60	37	48	50.2	C160116A2000

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 51

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.

$$G1 = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$G2 = 3905.1 \text{ kg}$$

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

11.3 Combinazioni dei carichi

Si considera la combinazione dei carichi seguente:

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

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

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

$$\text{Carico distribuito: } Q = 2.58 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carico concentrato: } P = 1.26 \text{ kN/m}$$

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.

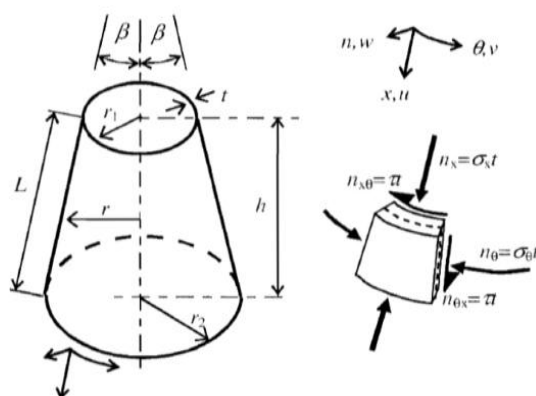


Figure D.9: Cone geometry, membrane stresses and stress resultants

11.5 Caratteristiche geometriche e meccaniche della copertura

h	4.28	[m]
L	8.56	[m]
r1	0.55	[m]
r2	7.41	[m]
β	30	[°]
	0.52	[rad]
t	0.001	[m]
E	210000	[Mpa]
σ _{yk}	140	[Mpa]
γ _{M1}	1.05	
σ _{yd}	133.33	[Mpa]

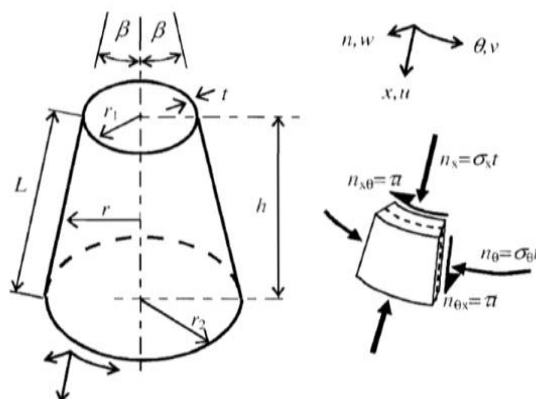


Figure D.9: Cone geometry, membrane stresses and stress resultants

11.6 Azioni meridiane

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

$$\ell_e = L = 8.56 \text{ m} \quad r_e = \frac{r}{\cos \beta} = 14.82 \text{ m}$$

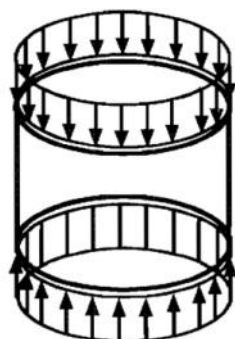
Il carico meridiano è dato da due componenti: una pressione radiale dovuta al peso proprio della copertura e della neve ed un carico lineare dovuto al carico premanente non strutturale sulla copertura.

q1	1.29	[kN/m ²]	(Q x sen30°)
q2	0.3641	[kN/m]	(P)

σ _{x,Ed1}	-11.02	[MPa]
σ _{x,Ed2}	-0.364	[MPa]

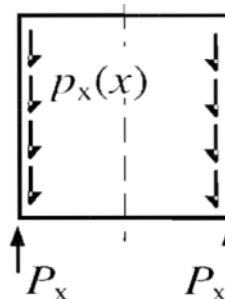
La tensione totale risulta:

$$\sigma_{x,Ed} = -11.38 \text{ [MPa]}$$



$$F_x = 2\pi r p_x$$

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



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

11.7 Azioni circonferenziali

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

l_e : minimo tra le seguenti:

$$l_e = L$$

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

Risulta:

$$l_e = 6.8849 \text{ m}$$

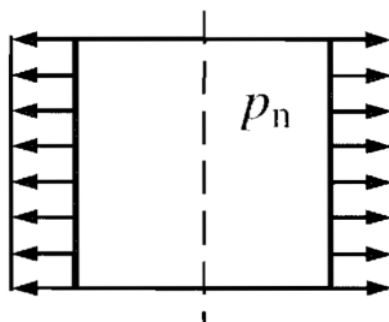
$$r_e = 9.4206 \text{ m}$$

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

$$q = 2.23 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (Q \times \cos 30^\circ)$$

$$\sigma_{\theta, Ed} = 21.01 \text{ [MPa]}$$

calcolata come:



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

11.8 Verifica

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

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

$$\sigma_{\theta,Ed} = 21.01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = -11.38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq,Ed} = 28.46 \text{ MPa}$$

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

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	503	kN
- n° staffe	128	
- taglio su ciascuna staffa	3.93	kN
- n° bulloni per staffa	3	
- taglio su ciascun bullone	1.31	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 mm ²
$\gamma_{M2} =$	1.25
$f_{tk} =$	800 MPa
$F_{v,Rd} =$	14.1 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 mm
$d =$	8 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 MPa
$F_{b,Rd} =$	4.4 kN

Il collegamento risulta verificato

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

Pag. 57

12. Carichi trasmessi alla fondazione

Pressione sul fondo **12.62 t/m²** alle pareti
(valori max. secondo UNI EN 1991-4:2006 (EC 1) **15.34 t/m²** al centro
NON UNIFORME

NOTE: Il valore c icui sopra è calcolato considerando un coefficiente di sicurezza pari a 1,5

RIEPILOGO CARICHI SUI MONTANTI CRITICI

	Compr.	Traz.	Taglio	Note
SLU-01	55.66	-	0.77	
SLU-02	5.08	-1.26	1.28	il segno negativo indica trazione
SLU-03	4.48	-1.87	1.28	il segno negativo indica trazione
SLU-04	68.16	- 10.89	19.44	
SLU-05	1.38	-	0.32	

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	0.86	-	-	
G 2	Peso non strutturale	0.12	-	-	
Q 1	Prodotto insilato	34.56	-	-	
Q 2	Neve	0.81	-	-	
Q 3	Vento	2.12	-2.12	0.85	
Q 4a	Sisma silos pieno	39.53	-39.53	19.44	
Q 4b	Sisma silos vuoto	-	-	0.32	

valori in t

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

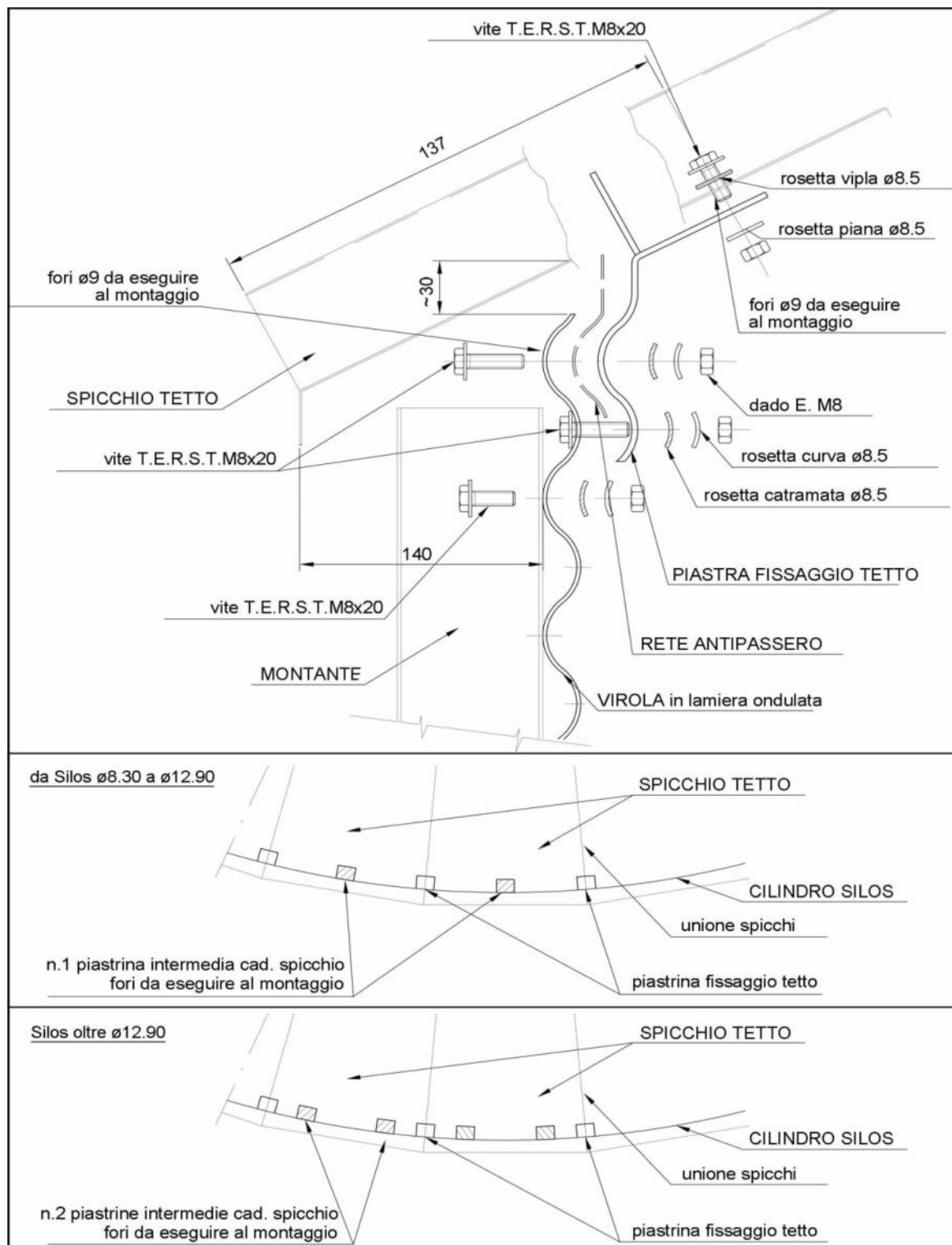
6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

App.1

Appendice 1: Montaggio rete antipassero e piastrina di fissaggio tetto



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

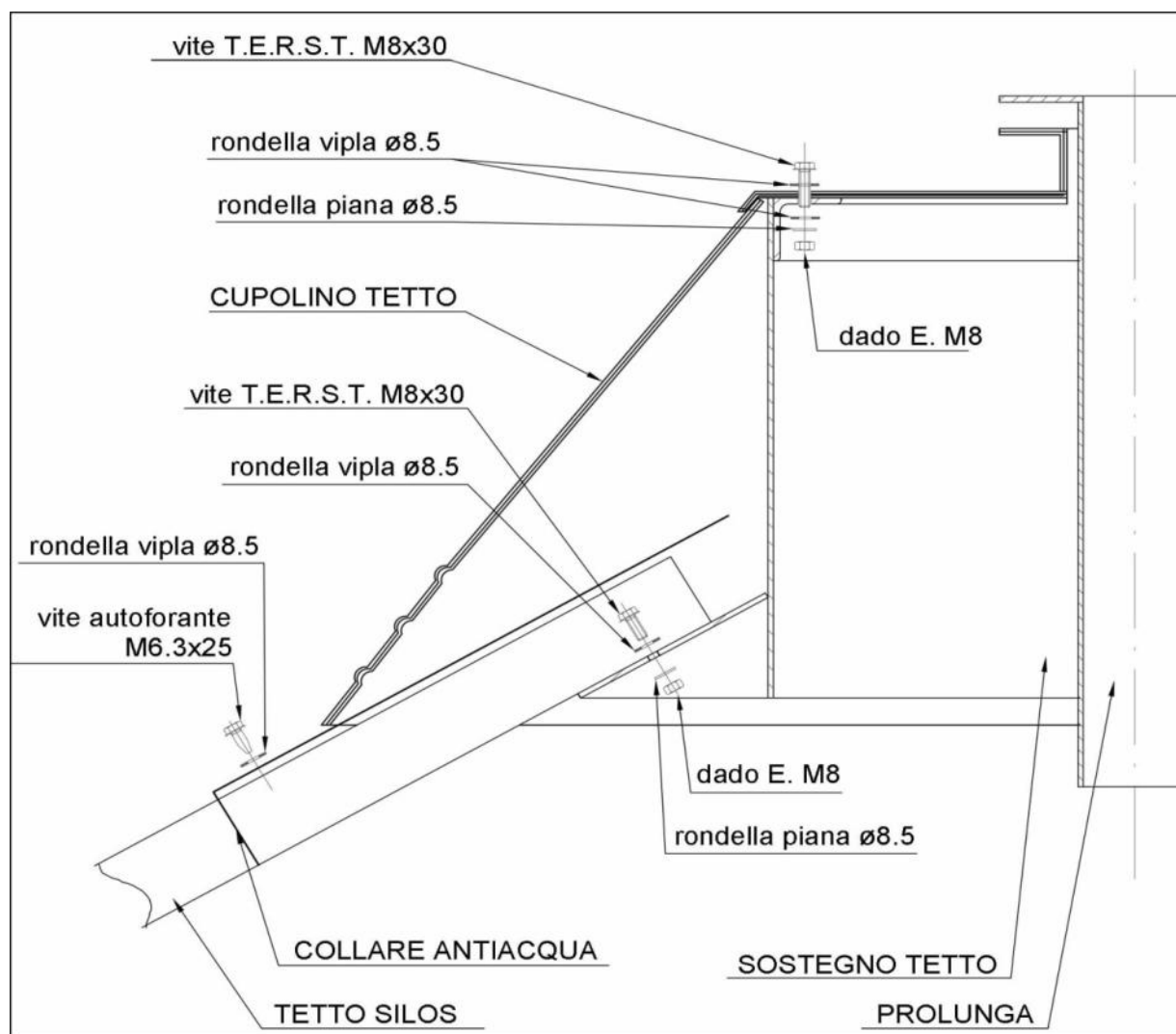
6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

App.2

Appendice 2: Cupolino silos



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

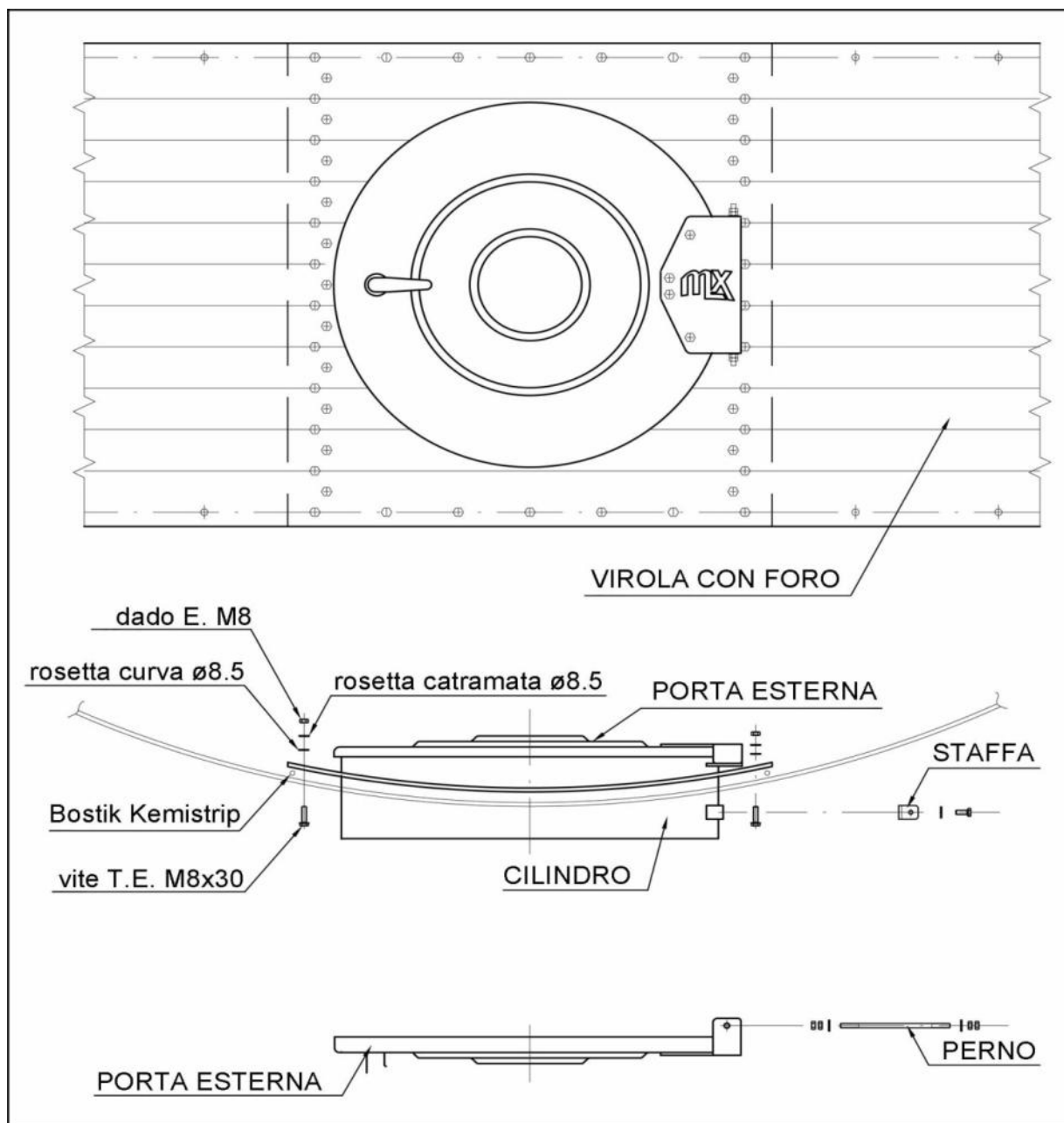
6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

App.3

Appendice 3: Porta Silos



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Mulmix

6042-RC-01

Rev.00

26/02/2020

App.4

Appendice 4: Montaggio montanti

