

Committente:

Molini Industriali SpA

Strada Attiraglio 133, 41122 Modena

Oggetto:

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVO SILOS PER STOCCAGGIO FARINA

Ubicazione:

strada Attiraglio n.133 – Modena (MO)

Elaborato:

R1 - RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE

Il Tecnico:

Dott. Ing. Fabrizio Baroni

Impresa:

Progettazione Strutture:

ING. FABRIZIO BARONI

Via Magione 6 – 40053 Valsamoggia (BO)

Corso Martiri n°294 – 41013 Castelfranco Emilia (MO)

1 INDICE

1	INDICE	2
2	ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	3
2.1	DESCRIZIONE GENERALE	3
2.2	CONTESTO EDILIZIO, CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, MORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE	6
2.2.1	<i>Parametri geotecnici del terreno del sito</i>	6
2.2.2	<i>Sismicità dell'area</i>	9
2.3	NORMATIVA TECNICA	10
2.4	PARAMETRI DI PROGETTO	10
2.5	MATERIALI	13
2.6	CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE	13
2.7	AZIONI SULLA STRUTTURA	14
2.8	COMBINAZIONI DI CARICO	14
2.9	METODO DI ANALISI	15
2.10	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE	15
3	AZIONI SULLA STRUTTURA	16
3.1	AZIONE PERMANENTE DEL PESO PROPRIO STRUTTURALE	16
3.2	AZIONE PERMANENTE DEI PESI PROPRI NON STRUTTURALI	16
3.3	AZIONE VARIABILE DA MAGAZZINO	16
3.4	AZIONE ACCIDENTALE DA SCALE	16
3.5	AZIONE VARIABILE DELLA NEVE	16
3.6	AZIONI DOVUTE AL MATERIALE INSILATO	17
3.6.1	<i>Massa del materiale insilato</i>	30
3.7	AZIONE SISMICA	30
3.8	AZIONE DELLA TEMPERATURA	34
3.9	ANALISI DEI CARICHI	34
3.9.1	<i>Impalcati</i>	34

2 ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

2.1 Descrizione generale

L'intervento strutturale in oggetto prevede la realizzazione di un fabbricato con struttura portante in CA destinato al deposito di farina ad uso dello stabilimento di Modena della ditta Molini Industriali SpA.

La struttura è composta da pareti in cemento armato, che si estendono per l'intero sviluppo verticale della costruzione; sono inoltre presenti alcuni pilastri, sempre realizzati in CA, a sostegno dei primi due impalcati e della copertura.

La resistenza alle azioni verticali è suddivisa tra i due sistemi (pilastri e pareti) ad ognuno dei quali compete una determinata area di influenza, mentre la funzione di controvento nei confronti delle azioni sismiche è affidata alle pareti verticali.

La pianta del fabbricato risulta irregolare ed è caratterizzata da una configurazione quadrata; le pareti di base si sviluppano lungo entrambe le direzioni principali seguendo la forma dell'edificio: queste hanno tutte spessore pari a 70 cm.

Lungo lo sviluppo verticale del fabbricato si possono distinguere tre porzioni principali nelle quali questo risulta idealmente suddiviso: la porzione intermedia in particolare è occupata dal silo vero e proprio ovvero dalle canne di stoccaggio delle farine, in numero totale di 16, hanno altezza pari a 22 m circa; la sezione trasversale di tutte le canne risulta pari a 3,60x3,60 m (*quadrata*). Le pareti che formano le canne si possono dividere in due categorie: le pareti esterne che corrono lungo il perimetro del blocco silos e che hanno spessore pari a 30 cm, e le pareti interne con spessore pari a 25 cm.

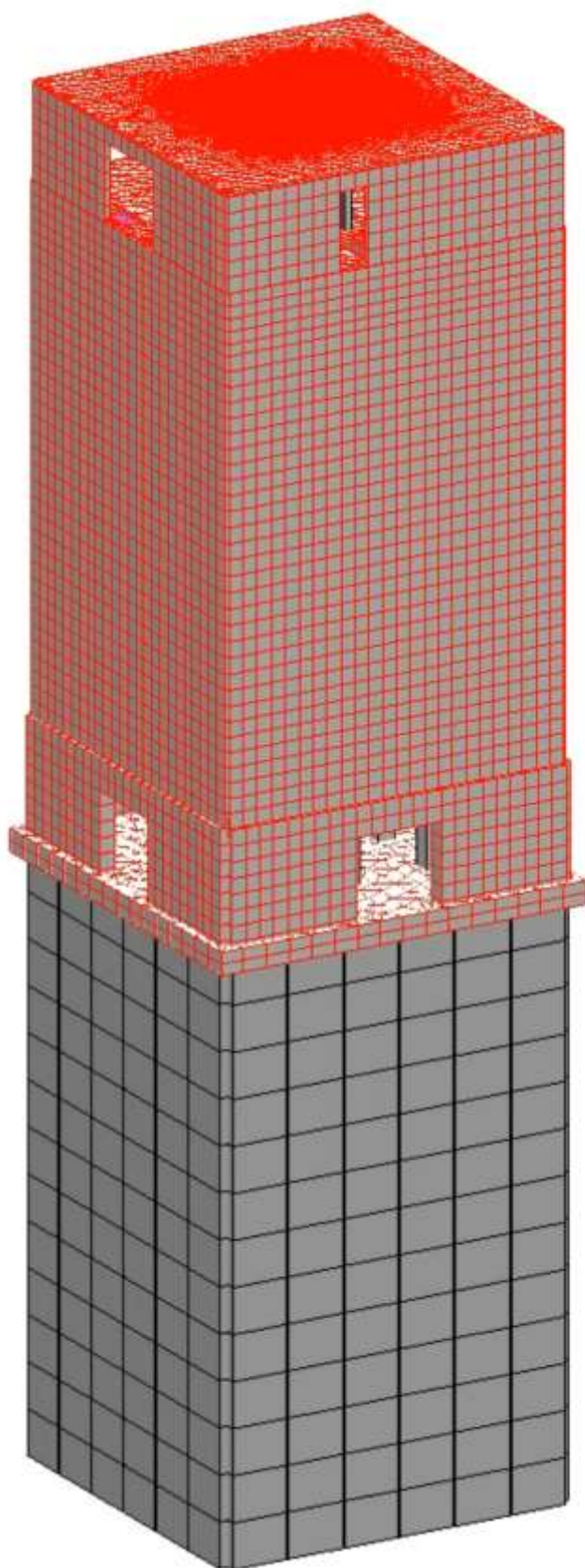
Al di sotto delle canne di stoccaggio è posizionato un piano tecnico adibito al passaggio degli impianti di miscelazione e scarico dei prodotti.

La porzione sommitale del silo è destinata ad ospitare, in più piani, le attrezzature e gli impianti destinati al carico delle canne del silos e alla vagliatura/pesatura del materiale. Le pareti che formano questa porzione hanno spessore pari a 20 cm.

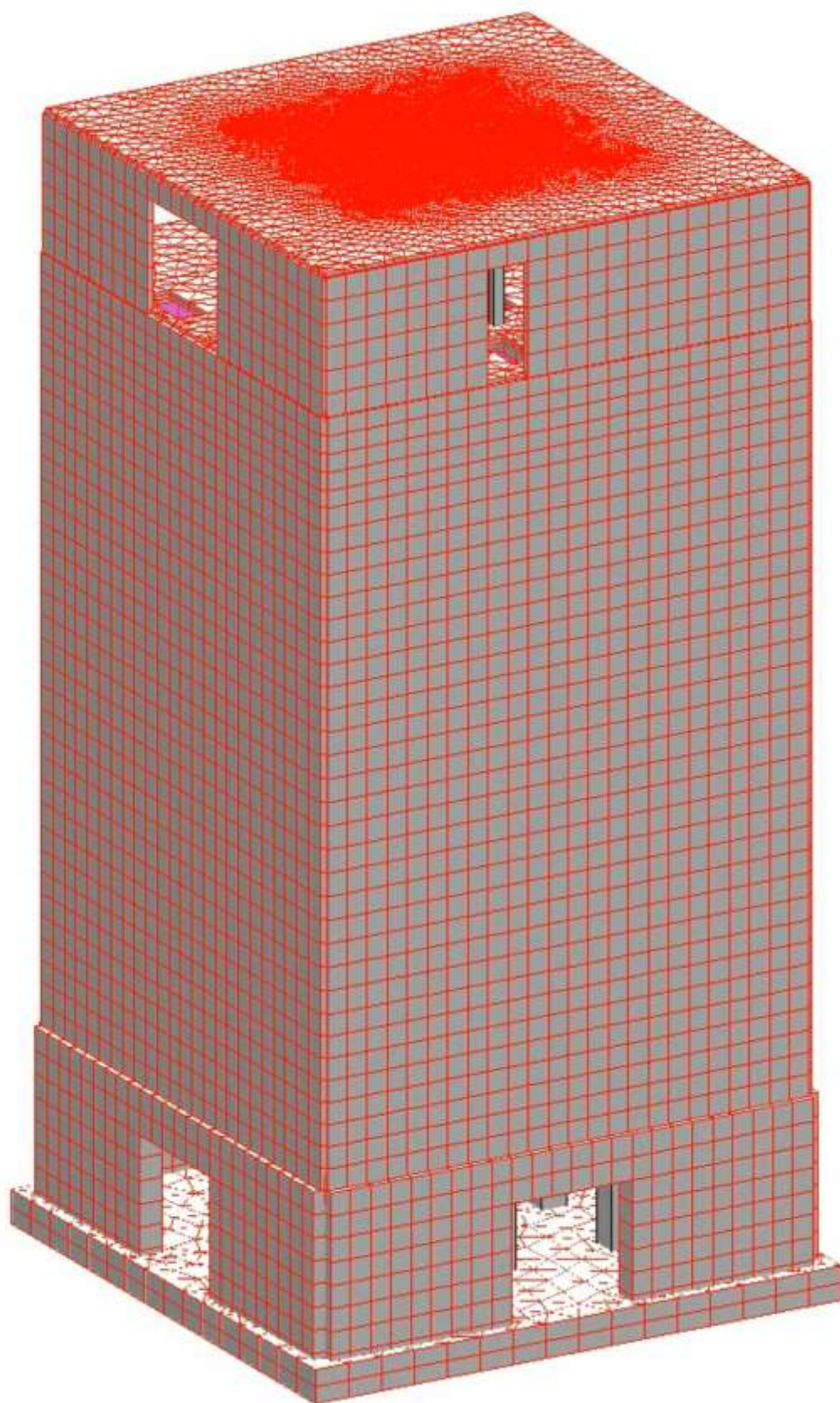
Completano il fabbricato una scala metallica di collegamento tra i vari piani tecnici.

Tutti gli impalcati di piano e di copertura vengono realizzati mediante solette piene in CA così come la fondazione a platea che posa su di una palificata realizzata mediante elementi diaframma di sezione rettangolare di dimensioni 80/90 x 240 cm. In particolare alcuni diaframmi vengono posti a sostegno dei pilastri del piano terra, mentre altri diaframmi, realizzano la fondazione delle pareti in CA, trasferendo le azioni agli strati più profondi e densi del terreno di fondazione.

Si riportano di seguito alcune immagini del fabbricato (tratte dal modello di calcolo).



Vista assonometrica



Vista assonometrica

2.2 Contesto edilizio, caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche

Il sito di costruzione del fabbricato si colloca nel comune di Modena (MO) a nord rispetto al centro cittadino ed a ridosso della prima fascia periferica, in corrispondenza del toponimo “Mulini Nuovi”.

Il rilevamento geologico conferma quanto esposto nella “Carta Geologica” della zona ed evidenzia la presenza di litotipi a caratteristiche tessiturali prevalentemente limose e ghiaioso-sabbiose come di seguito descritte:

AES08 – Unità di Modena: limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno-grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C., potenza massima di alcuni metri (>10m)

L’unità si presenta in litofacies argillosa in corrispondenza della zona di studio ed in litofacies limosa immediatamente ad est della zona di studio.

Nella zona non sono presenti fenomeni geomorfologici particolari e l’area risulta pianeggiante con una leggera inclinazione verso nord est in corrispondenza con l’andamento della Pianura Padana.

Tutti i dati relativi alle caratteristiche geologiche del sito in cui insiste il fabbricato oggetto della presente relazione sono riportati nella relazione geologica e geotecnica redatta dal Dott. Fabrizio Anderlini, di cui si allega copia al progetto.

2.2.1 Parametri geotecnici del terreno del sito

La caratterizzazione geotecnica e geologica del sito è stata affidata ad uno studio geologico che ha effettuato una prova in situ di carotaggio continuo e diverse indagini di laboratorio.

I risultati delle diverse prove sono stati integrati per fornire le caratteristiche geotecniche del terreno in situ al fine di dimensionare e verificare di conseguenza le strutture di fondazione.

Si riporta di seguito il quadro riassuntivo delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni rilevati.

5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO

Le indagini penetrometriche ed il sondaggio a carotaggio, hanno permesso di ricostruire la stratigrafia litotecnica del suolo sino alla profondità di -34.00 m da p.c. attuale.

Su lotto, al di sotto di un cospicuo spessore di riporto eterogeneo è presente un primo strato di 4,0 m di terreno organico limoso sabbioso poco consistente caratterizzato da Resistenze alla Penetrazione statica molto basse. Si susseguono da -4,0 m a -24,0 m argille e limi da consistenti a mediamente consistenti con interstrati sabbioso limosi alla base. A -24,0 m si riscontrano ghiaie e sabbie mediamente addensate. Lo spessore e la continuità dello strato ghiaioso è da verificare mediante implementazione di indagine

SCHEMA GEOMECCANICO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE PARZIALE NUOVO FABBRICATO

Strato	Profondità		Litotipo	Parametri geotecnici
1	0,0 – 1,20 m da p.c.		Riempimento riporto eterogeneo	Non definibile

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

2	1.20 – 4.20 m da p.c.	-2.20 m attuale	Argilla organica Scarsamente consistente	γ	1800 kg/cm ³ ≈ 18.00 kN/m ³
		possibile		γ'	2000 kg/cm ³ ≈ 20.00 kN/m ³
		risalita a -1,00		C_{uk}	0.30 kg/cm ² ≈ 30.0 kN/m ²
				C'_k	0.02 kg/cm ² ≈ 2.0 kN/m ²
				M_{ok}	30.0 kg/cm ² ≈ 3000 kN/m ²
				ϕ_k	19°
					v
3	4.20 – 6.80 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a media consistenza	γ	1850 kg/cm ³ ≈ 18.50 kN/m ³
				γ'	2100 kg/cm ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.42 kg/cm ² ≈ 42.0 kN/m ²
				C'_k	0.04 kg/cm ² ≈ 4.0 kN/m ²
				M_{ok}	44.0 kg/cm ² ≈ 4400 kN/m ²
				ϕ_k	21°
				v	0.45
4	6.80 – 22.50 m da p.c.		Argilla o limi argillosi a consistenza variabile	γ	1900 kg/cm ³ ≈ 19.00 kN/m ³
				γ'	2200 kg/cm ³ ≈ 22.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.48 kg/cm ² ≈ 48.0 kN/m ²
				C'_k	0.06 kg/cm ² ≈ 6.0 kN/m ²
				M_{ok}	50.0 kg/cm ² ≈ 5000 kN/m ²
				ϕ_k	22°
				v	0.45
5	23.00 – 24.00/25.00 m da p.c.		Limi sabbiosi, sabbie limose sciolte	γ	1870 kg/cm ³ ≈ 18.70 kN/m ³
				γ'	2100 kg/cm ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.35 kg/cm ² ≈ 35.0 kN/m ²
				C'_k	0.05 kg/cm ² ≈ 5.0 kN/m ²
				E_{sk}	85.0 kg/cm ² ≈ 8500 kN/m ²
				ϕ_k	24°
				v	0.40
6	24.00/25.00- 29.00 m da p.c.		Sabbia e ghiaia mediamente addensata	γ	2000 kg/cm ³ ≈ 20.00 kN/m ³
				γ'	2200 kg/cm ³ ≈ 22.00 kN/m ³
				Dr	50%
				E_{sk}	300.0 kg/cm ² ≈ 30000 kN/m ²
				ϕ_k	30°
				v	0.30
				γ	1900 kg/cm ³ ≈ 19.00 kN/m ³
<u>Legenda</u>			γ	=	peso specifico terreno naturale
			γ'	=	peso specifico terreno saturo
			C_{uk}	=	coesione non drenata caratteristica
			C'_k	=	coesione efficace caratteristica
			Dr	=	densità relativa
			M_o	=	modulo di deformazione edometrico caratteristico
			ϕ_k	=	angolo d'attrito caratteristico

2.2.2 Sismicità dell'area

È stata eseguita la caratterizzazione sismica dei terreni dell'area mediante la tecnica di indagine sismica passiva (HVSr) "Horizontal to vertical spectral ratio – metodo di Nakamura", al fine di individuare le frequenze caratteristiche di risonanza del sito e la modellazione dell'andamento delle onde Vs fino a 30 metri di profondità.

Si sono ottenuti i seguenti risultati dai quali si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla categoria **C** corrispondente a depositi di sabbie e ghiaie medimente addensate, o di argille a media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, **caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s.**

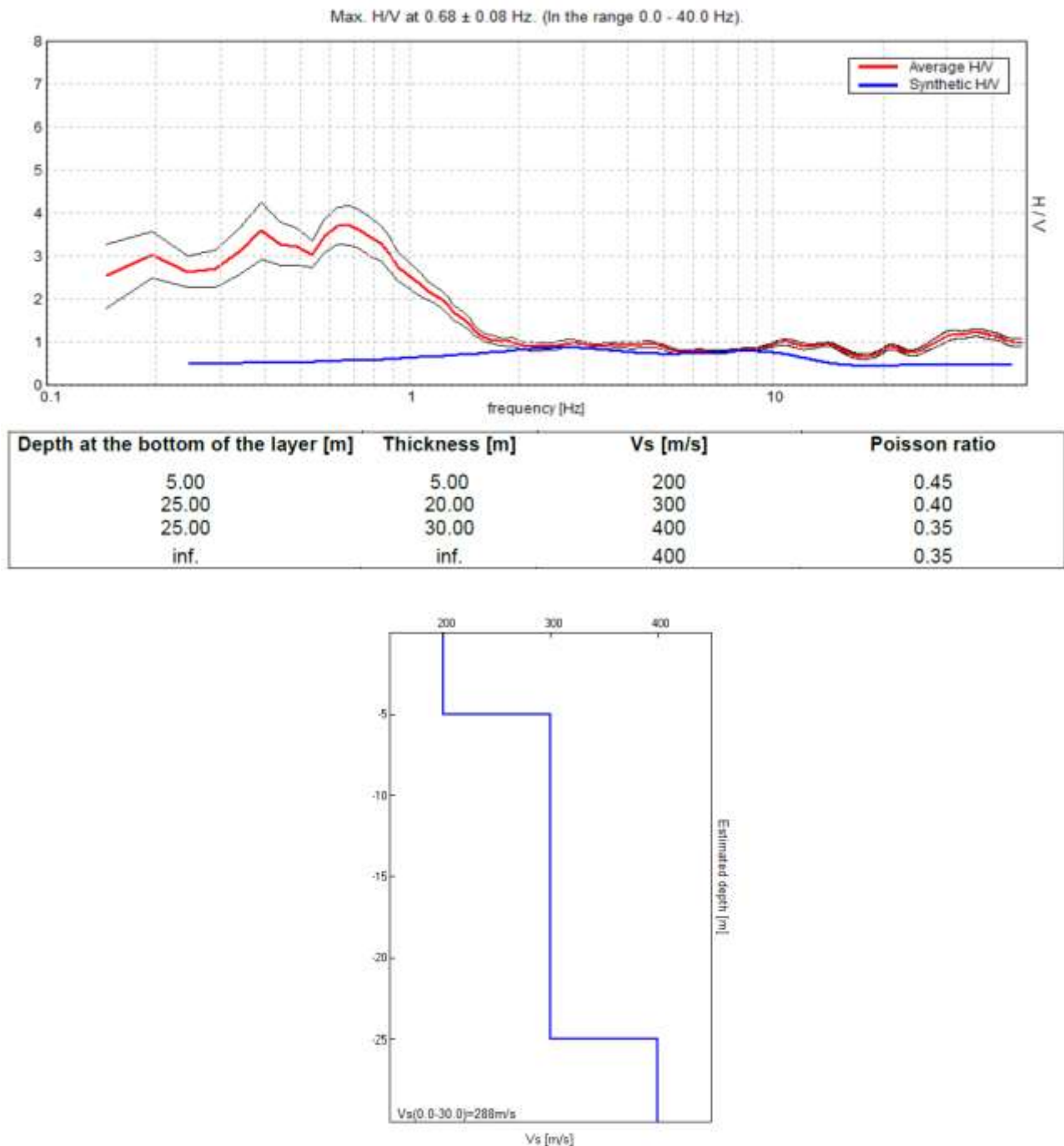


Fig. 4 elaborazione HVSr

2.3 Normativa tecnica

D.M. 17.1.2018: "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni",

Circolare 21.01.2019, n.7: "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17.1.2018.

UNI ENV 1992-1-1 – “Eurocodice 2 Progettazione delle strutture di calcestruzzo – part 1-1 Regole generali e regole per edifici”

EN 1998-4:2006 - “Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 4: Silos, tanks and pipelines”;

UNI EN 1991-2:2005 - “Eurocode 1 – Action on structures– Part 2:Carichi da traffico sui ponti”;

EN 1991-4:2006 - “Eurocode 1 – Action on structures– Part 4: Silos and tanks”;

Linea guida per la messa in opera del cls. strutturale - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici; feb. 2008;

UNI EN 206 – 1:2006 classi di esposizione ambientale;

UNI ENV 13670-1:2001 Esecuzione di strutture in cls- Requisiti comuni

2.4 Parametri di progetto

Vita nominale per opere ordinarie	Vn ≥ 50 anni
Costruzione che prevede normali affollamenti	Classe d'uso II
Periodo di riferimento per l'azione sismica	Vr = 50 anni
Latitudine	44.66739
Longitudine	10.9438
Zona sismica	Zona 3
Categoria di sottosuolo	C
Categoria topografica	T1



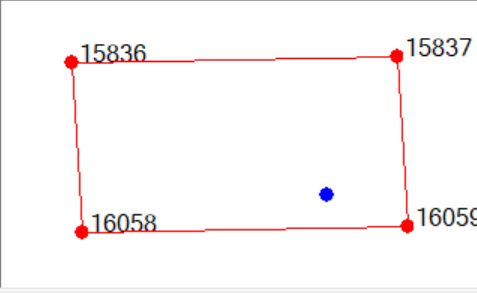


Parametri spettri di risposta automatici

Par.3.2 DM 14/1/2008

☒ Reticolo
☐ Isole
☒ Interpolaz. con media pond. (DM '08)
☐ Interpolaz. con superf. rigata

Lon (°) Lat (°)



SLE

SLO

☒ Auto PVR= % TR= anni
☒ Auto ag/g = Fo= Tc*= s

SLD

☒ Auto PVR= % TR= anni
☒ Auto ag/g = Fo= Tc*= s

SLU

SLV

☒ Auto PVR= % TR= anni
☒ Auto ag/g = Fo= Tc*= s

☐ SLC

☒ Auto PVR= % TR= anni
☒ Auto ag/g = Fo= Tc*= s

OK Annulla

2.5 Materiali

Tutte i materiali ed i loro requisiti di resistenza meccanica e di durabilità sono presentate al cap. 5 della presente relazione

2.6 Criteri di progettazione e modellazione

Classe di duttilità:	Bassa
Percentuale eccentricità accidentale centro di massa:	0.05
Fattore di struttura (EN 1998-4:2006)	1,5

Le opere vengono verificate:

per gli Stati Limite Ultimi, che possono presentarsi in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni SLV

per gli Stati Limite di Esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese, prevalentemente di tipo formativo SLD

L'analisi e le verifiche vengono effettuate per l'unica fase corrispondente allo stato di realizzazione finale.

2.7 Azioni sulla struttura

Alla struttura vengono applicate le seguenti azioni, che verranno di seguito meglio esposte al seguente capitolo 3.

- azione permanente del peso proprio strutturale
- azione permanente dei pesi propri non strutturali
- azione accidentale da magazzino (Categoria E)
- azione accidentale da scale (Categoria C2)
- azione variabile della neve
- azioni dovute al materiale insilato
- azione sismica
- azione della temperatura

2.8 Combinazioni di carico

I risultati contengono sia inviluppi sia combinazioni dei risultati delle condizioni di carico elementari.

Una condizione di inviluppo può essere di tipo "automatico" e in questo caso è un vero e proprio inviluppo dei valori minimi o massimi che ogni singola grandezza può assumere per effetto della combinazione lineare dei valori di ogni condizione di carico elementare, moltiplicati per il coefficiente che tra i due possibili risulta più tassativo.

Tutte le condizioni di carico in caso di inviluppo sono trattate tramite due moltiplicatori uno minimo e uno massimo per dare la possibilità di considerare azioni (tipo azione del vento o sisma) che possono agire in due direzioni opposte.

I risultati contengono sia inviluppi sia combinazioni assegnate dei risultati delle condizioni di carico elementari.

La combinazione lineare automatica può essere svolta anche su risultati di inviluppi, detti in questo caso inviluppi base, anziché di condizioni di carico elementare. Il risultato è un inviluppo di inviluppi.

Le condizioni di carico possono essere distinte nelle seguenti tipologie:

Permanente: la CdC elementare è sempre presente nell'inviluppo e viene scelto il coefficiente più tassativo.

Variabile: le sollecitazioni della CdC elementare sono sommate solo se la componente considerata (Forza, momento flettente, spostamento in una direzione, ecc.) è a sfavore, diminuendo il valore

finale se si cerca il minimo, aumentando il valore finale se si cerca il massimo, scegliendo sempre il coefficiente più tassativo.

Variabile non Contemporanea: analoga alla Variabile ma vengono sommate le sollecitazioni della sola e unica CdC più gravosa, per la componente in esame, fra tutte quelle che appartengono allo stesso gruppo (colonna grp), escludendo le altre CdC dello stesso gruppo.

Permanente non Contemporanea: analoga alle var. non contemporanea con la differenza che le sollecitazioni di almeno una CdC dello stesso gruppo (la più gravosa o la meno favorevole) vengono sommate anche se con effetto favorevole; in questo caso viene scelta la meno favorevole per la componente in esame.

Variabile Contemporanea: le sollecitazioni della CdC elementare sono sommate insieme a tutte quelle Variabili Contemporanee che appartengono allo stesso gruppo (colonna grp) solo se applicandole tutte assieme vanno a sfavore diminuendo il valore finale se si cerca il minimo, aumentando il valore finale se si cerca il massimo.

Non Considerata: le sollecitazioni della CdC elementare non contribuiscono all'involuppo

Essendo molto numerose le condizioni di carico considerate, quindi le combinazioni, le tabelle con i coefficienti di combinazione utilizzate per le verifiche ai diversi SL vengono riportate in appendice A, allegata alla presente relazione.

2.9 Metodo di analisi

Il metodo di calcolo e verifica adottato per la struttura in elevazione è quello semiprobabilistico agli Stati Limite Ultimi e di Esercizio. L'analisi è stata condotta in campo elastico.

Le opere vengono analizzate per le condizioni statiche con analisi statica lineare, e per le condizioni sismiche con analisi dinamica modale lineare.

2.10 Criteri di verifica agli stati limite

In presenza di azione sismica, per gli stati limite Ultimi sono stati indagati gli stati Limite di Salvaguardia della Vita SLV per le verifiche di resistenza e stabilità; la capacità di deformazione agli stati limite ultimi è solo relativamente significativa in quanto sono presenti edifici nelle vicinanze ma non in adiacenza; per gli stati limite di Esercizio sono stati indagati gli stati Limite di Danno SLD per le verifiche resistenza e stabilità mentre appare non necessario il contenimento degli spostamenti interpianto per la verifica dell'eventuale danno agli elementi non strutturali, essendo la struttura per sua natura poco deformabile.

3 AZIONI SULLA STRUTTURA

3.1 Azione permanente del peso proprio strutturale

Tutte le strutture vengono modellate mediante elementi finiti a cui è attribuito il peso specifico del materiale di cui sono costituiti. Il calcolo del contributo del peso proprio strutturale avviene quindi in maniera automatica.

Per considerare la presenza, sul fondo di ogni singola cella, dei coni che costituiscono la tramoggia di scarico, nonché le unghie di raccordo tra pareti ortogonali della cella, vengono attribuiti ai nodi delle pareti perimetrali delle celle, dei carichi concentrati calcolati sulla base del volume di tali elementi.

3.2 Azione permanente dei pesi propri non strutturali

I pesi propri non strutturali sono limitati a pressioni applicate alle solette di piano, e sono posti pari a 2 kN/m².

Sulla platea è invece applicata una pressione pari a 5 kN/m².

3.3 Azione variabile da magazzino

Come suggerito dalla Normativa vigente (NTC08) il sovraccarico dovuto alla fruizione dei diversi impalcati di piano è pari a 6 kN/m², ed è applicato in forma di pressione sugli elementi di piano.

3.4 Azione accidentale da scale

Come suggerito dalla Normativa vigente (NTC08) il sovraccarico dovuto alla fruizione dei diversi impalcati di piano è pari a 4 kN/m², ed è applicato in forma di pressione sui solai che compongono il piano di calpestio delle scale di accesso ai vari piani.

3.5 Azione variabile della neve

Secondo il D.M. 14.01.2008 il carico della neve sulla copertura si calcola secondo la seguente formula:

$$q_s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot q_{sk}$$

con:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad \text{relativo alla zona di Modena (Zona I)}$$

$$C_e = 1 \quad \text{relativo ad una topografia normale}$$

$$C_t = 1 \quad \text{relativo ad ambienti poco riscaldati}$$

$$\mu = 0,8 \quad \text{relativo a coperture poco inclinate o piane}$$

da cui risulta:

$$q_s = 0,8 \times 1 \times 1 \times 1,5 = \mathbf{1,2 \text{ kN/m}^2}.$$

Il carico sopra calcolato è applicato in forma di pressione sugli elementi di copertura.

3.6 Azioni dovute al materiale insilato

Per il calcolo delle azioni prodotte dalla presenza del materiale insilato e dalla loro movimentazione (riempimento/*filling* e svuotamento/*discharge*) si prende a riferimento la norma **EN 1991-4:2006** che fornisce la formulazione analitica delle pressioni che il materiale depositato nel silo esercita sulle pareti e sul fondo dello stesso.

Si distinguono innanzitutto tre tipologie di pressione:

- pressioni dovute alla presenza statiche del materiale
- pressioni dovute al riempimento del silo
- pressioni dovute allo svuotamento del silo

A loro volta le pressioni sopra elencate si dividono in pressioni sulle pareti verticali del silo (sia orizzontali che tangenziali/attriti) e pressioni sul fondo del silo, detto anche tramoggia (*hopper*), anche in questo caso divise in azioni normali e tangenziali alla superficie: tutte derivano principalmente dalle proprietà fisiche dell'insilato e geometriche del silo e discendono da parametri e formule contenuti nella norma considerata (EN 1991-4 e EN 1998-4).

Di seguito sono riportati i parametri suddetti e lo svolgimento dei calcoli delle azioni sulle canne dei silos, divisi nei due contributi sulla canna più lunga e sulla canna più corta. Tali azioni sono differenti proprio in virtù della differente lunghezza totale della canna.

In particolare le formule utilizzate si riferiscono a sili snelli (*slender*), con riferimento all'immagine che segue per la determinazione delle caratteristiche geometriche del silo.

Simbolo	Valore	UM	Eq/Tab/Fig	Rif.	Descrizione
---------	--------	----	------------	------	-------------

Caratteristiche silo

Tipo	Q	/	Fig 1.1 d	EC 1-4	geometria della canna (C = circolare; Q = quadrata)
Cat.	D1	/	Tab 4.1	EC 1-4	classe di <i>rugosità</i> della parete
d_c	3,6	m	Fig 1.1 d	EC 1-4	dimensione lato della canna (o diametro per canna circolare)
A	12,96	mq			area della sezione della canna

$$A = d_c^2 \text{ (silo quadrato); } A = \pi d_c^2 / 4 \text{ (silo circolare)}$$

U	14,40	m			perimetro interno della sezione della canna
---	-------	---	--	--	---

$$U = 4d_c \text{ (silo quadrato); } U = \pi d_c \text{ (silo circolare)}$$

A/U	0,90	/	Fig 1.1 d	EC 1-4	rapporto area/perimetro della sezione
-----	------	---	-----------	--------	---------------------------------------

$$A/U = d_c / 4 \text{ (silo quadrato); } A/U = d_c / 4 \text{ (silo circolare)}$$

H	28,20	m			altezza totale del silo
h_b	23,35	m			altezza totale della canna (compresa la tramoggia)
h_h	8,95	m			altezza della tramoggia (compreso il "vertice")
h_c	19,95	m			altezza della porzione prismatica della canna
X_{ha}	-3,30	m			altezza "vertice" della tramoggia
Q_{ha}	4,85	m			quota "vertice" della tramoggia

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

s	0,72	m	Eq (5.12)	EC 1-4	altezza dell'impronta di carico per sovrappressioni
a	80	deg			angolo sull'orizzontale delle pareti della tramoggia
b	10	deg	Par 6.1.2	EC 1-4	angolo sulla verticale delle pareti della tramoggia
$\beta = 90^\circ - \alpha$					
i	1,6 steep	/	Eq (6.1) Par 6.1.1	EC 1-4 EC 1-4	fattore di <i>pendenza</i> della tramoggia tipologia di fondo/tramoggia
<i>flat</i> ($\alpha < 5^\circ$); <i>steep</i> ($\tan \beta < 1 - K_l/2\mu_l$); <i>shallow</i> (<i>nei casi rimanenti</i>)					
h_c/d_c	5,54 slender	/	Par 5.1	EC 1-4	fattore di <i>snellezza</i> del silo
<i>retaining</i> ($h_c/d_c \leq 0,4$); <i>squat</i> ($0,4 < h_c/d_c \leq 1$); <i>intermediate</i> ($1 < h_c/d_c < 2$); <i>slender</i> ($2 \leq h_c/d_c$)					
e_f	0	m	Fig. 1.1	EC 1-4	eccentricità del getto in riempimento
E	0	/	Eq (5.10)	EC 1-4	rapporto di eccentricità del getto in riempimento
$E = 2 e_f/d_c$					

Proprietà insilato (vedi Tab. E.1, EC 1-4)

K_m	0,36	/	Tab E.1	EC 1-4	coefficiente di spinta laterale (medio)
a_k	1,11	/	Tab E.1	EC 1-4	coefficiente di variabilità di K
K_l	0,3243	/	Eq (4.2)	EC 1-4	coefficiente di spinta laterale (valore inferiore)
$K_l = K_m/a_k$					
K_u	0,3996	/	Eq (4.1)	EC 1-4	coefficiente di spinta laterale (valore superiore)
$K_u = K_m \cdot a_k$					
m_m	0,24	/	Tab E.1	EC 1-4	coefficiente di attrito con le pareti (medio)
a_m	1,16	/	Tab E.1	EC 1-4	coefficiente di variabilità di m
m_l	0,2069	/	Eq (4.4)	EC 1-4	coefficiente di attrito con le pareti (valore inferiore)
$\mu_l = \mu_m/a_\mu$					
m_u	0,2784	/	Eq (4.3)	EC 1-4	coefficiente di attrito con le pareti (valore superiore)
$\mu_l = \mu_m/a_\mu$					
f_{im}	42	deg	Tab E.1	EC 1-4	angolo di attrito interno (medio)
a_f	1,06	/	Tab E.1	EC 1-4	coefficiente di variabilità di f

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

f_{il}	39,6226	deg	Eq (4.6)	EC 1-4	angolo di attrito interno (valore inferiore)
					$\theta_{il} = \theta_{im}/a_\theta$
f_{iu}	44,52	deg	Eq (4.5)	EC 1-4	angolo di attrito interno (valore superiore)
					$\theta_{iu} = \theta_{im} \cdot a_\theta$
g	700	kg/mc	Tab E.1	EC 1-4	peso specifico (valore caratteristico superiore)
C_{op}	0,6	/	Tab E.1	EC 1-4	coefficiente di spinta orizzontale

Pressioni sulle pareti e sulla tramoggia in condizioni statiche (vedi Tab. 3.1, EC 1-4)

Pressione normale (orizzontale) sulle pareti verticali

z_0	10,89	m	Eq (5.5)	EC 1-4	profondità asintotica di Janssen
					$z_0 = \frac{1}{K_u \mu_l} \frac{A}{U}$
p_{h0}	3045,0	kg/mq	Eq (5.4)	EC 1-4	pressione asintotica di Janssen
					$p_{h0} = \gamma K_u z_0$
$Y_{j(z=hc)}$	0,8400	/	Eq (5.6)	EC 1-4	legge di Janssen alla base
					$Y_{j(z)} = 1 - e^{-\frac{z}{z_0}}$
$p_{hf(z=hc)}$	2557,8	kg/mq	Eq (5.1)	EC 1-4	pressione laterale alla base
					$p_{hf(z)} = p_{h0} Y_{j(z)}$

Pressione tangenziale sulle pareti verticali

z_0	8,09	m	Eq (5.5)	EC 1-4	profondità asintotica di Janssen
					$z_0 = \frac{1}{K_u \mu_u} \frac{A}{U}$
p_{h0}	2262,9	kg/mq	Eq (5.4)	EC 1-4	pressione asintotica di Janssen
					$p_{h0} = \gamma K_u z_0$
$Y_{jw(z=hc)}$	0,9151	/	Eq (5.6)	EC 1-4	legge di Janssen alla base
					$Y_{j(z)} = 1 - e^{-\frac{z}{z_0}}$
$p_{wf(z=hc)}$	576,5	kg/mq	Eq (5.2)	EC 1-4	pressione tangenziale alla base
					$p_{wf(z)} = \mu_u p_{h0} Y_{j(z)}$

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

Pressione verticale sul fondo (ipotizzato piatto)					
z_0	13,41	m	Eq (5.5)	EC 1-4	profondità asintotica di Janssen $z_0 = \frac{p_{h0}}{K_l \mu_l U}$
p_{h0}	3045,0	kg/mq	Eq (5.4)	EC 1-4	pressione asintotica di Janssen $p_{h0} = \gamma K_l z_0$
C_b	1,0	/	Eq (6.3)	EC 1-4	coefficiente moltiplicativo del carico
$Y_{j(z=hc)}$	0,7740	/	Eq (5.6)	EC 1-4	legge di Janssen alla base $Y_{j(z)} = 1 - e^{-\frac{z}{z_0}}$
$p_{vf(z=hc)}$	7267,3	kg/mq	Eq (5.3)	EC 1-4	pressione verticale alla base $p_{vf(z)} = \frac{p_{h0} C_b}{K_l} Y_{j(z)}$
<i>Nota: deriva dalla applicazione della equazione (6.2), EC1-4: $p_{vft}=C_b p_{vf}$</i>					
Pressioni sulla tramoggia					
b	0,2	/	Eq (6.18)	EC 1-4	parametro empirico
S	1	/	Eq (6.10)	EC 1-4	parametro empirico legato alla forma della tramoggia
n_f	0,9386949	/	Eq (6.18)	EC 1-4	fattore di pressione nella tramoggia (a silo pieno) $n = S(1 - b)\mu_h \cot \beta$
F_f	0,892023	/	Eq (6.17)	EC 1-4	rapporto di pressione (a silo pieno) $F_f = 1 - \frac{b}{(1 + \tan \beta / \mu_h)}$
C_f	-102193,8	kg/mq	da Eq (6.7)	EC 1-4	costante di carico (a silo pieno) $C_f = \frac{\gamma h_h}{n_f - 1}$
p_v	7267,3	kg/mq	Eq (6.7)	EC 1-4	massima pressione verticale (alla sommità) $p_{v(z)} = C_f \left[\frac{x}{h_h} - \frac{x}{h_h} \right] + p_{vft} \left(\frac{x}{h_h} \right)$
$p_{nf \max}$	6482,6	kg/mq	Eq (6.29)	EC 1-4	massima pressione normale (in sommità) $p_{nf} = F_f p_v$
$p_{tf \max}$	1341,2	kg/mq	Eq (6.30)	EC 1-4	massima pressione tangenziale (in sommità) $p_{tf} = \mu_{eff} F_f p_v$

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

Sovrapressioni dovute a riempimento (*filling*) e svuotamento (*discharge*)

Pressioni normale e tangenziale sulle pareti verticali

C_{pf} 0,126 / Eq (5.9) EC 1-4 coefficiente amplificativo del carico in riempimento

$$C_{pf} = 0,21C_{op}[1 + 2E^2](1 - e^{\{-1,5[(h_c/d_c)-1]\}})$$

C_{pe} 0,252 / Eq (5.28) EC 1-4 coefficiente amplificativo del carico in svuotamento

$$C_{pe} = 0,42C_{op}[1 + 2E^2](1 - e^{\{-1,5[(h_c/d_c)-1]\}})$$

C_h 1,15 / Eq (5.21) EC 1-4 fattore di svuotamento per pressioni normali

C_w 1,10 / Eq (5.22) EC 1-4 fattore di svuotamento per pressioni tangenziali

p_{he} 2941,5 kg/mq Eq (5.18) EC 1-4 massima pressione laterale in svuotamento (alla base)

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

p_{we} 634,1 kg/mq Eq (5.19) EC 1-4 massima pressione tangenziale in svuotamento (alla base)

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

p_{pf} 321,9 kg/mq Eq (5.8) EC 1-4 sovrappressione da riempimento

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

p_{pe} 740,4 kg/mq Eq (5.27) EC 1-4 sovrappressione globale da svuotamento

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

$p_{pf,nc(z=hc)}$ 115,9 kg/mq Eq (5.17) EC 1-4 massima sovrappressione da riempimento (alla base)

$$p_{pf,nc} = 0,36 p_{pf}$$

$p_{pe,nc(z=hc)}$ 266,6 kg/mq Eq (5.37) EC 1-4 massima sovrappressione da svuotamento (alla base)

$$p_{pe,nc} = 0,36 p_{pe}$$

Pressioni normale e tangenziale sulla tramoggia

f_{wh} 0,2040 rad Eq (6.23) EC 1-4 angolo di attrito interno durante svuotamento

$$\phi_{wh} = \tan^{-1} \mu_h$$

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

e	0,4972	rad	Eq (6.22) EC 1-4	angolo virtuale di svuotamento $F_e = \phi_h + \sin^{-1} \left(\frac{\sin \phi_{wh}}{\sin \phi_i} \right)$
F _e	3,0196	/	Eq (6.21) EC 1-4	rapporto di pressione (in svuotamento) $F_e = \frac{1 + \sin \phi_i \cos(2\beta + \varepsilon)}{1 - \sin \phi_i \cos(2\beta + \varepsilon)}$
n _e	4,5627	/	Eq (6.8) EC 1-4	fattore di pressione nella tramoggia (in svuotamento) $n = S(F\mu_{eff} \cot \beta + F) - 2$
C _e	1758,4883	kg/mq	Eq (6.7) EC 1-4	costante di carico (in svuotamento) $C_e = \frac{\gamma h_h}{n_e - 1}$
p _v	7267,3	kg/mq	Eq (6.7) EC 1-4	massima pressione verticale (alla sommità) $p_{v(z)} = C_e \left[x/h_h - x/h_h^{n_e} \right] + p_{vft} \left(x/h_h \right)^{n_e}$
p _{ne max}	21944,4	kg/mq	Eq (6.29) EC 1-4	massima pressione normale (in sommità) $p_{ne} = F_e p_v$
p _{te max}	4540,2	kg/mq	Eq (6.30) EC 1-4	massima pressione tangenziale (in sommità) $p_{te} = \mu_{eff} F_e p_v$

Pressioni sulle pareti e sul fondo in condizioni sismiche

Pressione normale (orizzontale) sulle pareti verticali

z ₀	10,42	m	Eq (5.5) EC 1-4	profondità asintotica di Janssen $z_0 = \frac{1}{K_m \mu_m U}$
p _{h0}	2625,0	kg/mq	Eq (5.4) EC 1-4	pressione asintotica di Janssen $p_{h0} = \gamma K_m z_0$
Y _{j(z=hc)}	0,8527	/	Eq (5.6) EC 1-4	legge di Janssen alla base $Y_{j(z)} = 1 - e^{-\frac{z}{z_0}}$
C _b	1,0	/	Eq (6.3) EC 1-4	coefficiente moltiplicativo del carico
p _{hf(z=hc)}	2238,3	kg/mq	Eq (5.1) EC 1-4	pressione laterale alla base $p_{hf(z)} = p_{h0} Y_{j(z)}$

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

$p_{wf(z=h_c)}$ 537,2 kg/mq Eq (5.2) EC 1-4 pressione laterale alla base

$$p_{wf(z)} = \mu_m p_{h0} Y_{j(z)}$$

$p_{vf(z=h_c)}$ 6217,5 kg/mq Eq (5.3) EC 1-4 pressione verticale alla base

$$p_{vf(z)} = \frac{p_{h0}}{K_m} Y_{j(z)}$$

Nota: deriva dalla applicazione della equazione (6.2), EC1-4: $p_{vf} = C_b p_{vf}$

Pressione addizionale sulle pareti equivalente all'azione sismica

a (z=0) 0,500 / Par 3.3 EC 8-4 accelerazione spettrale adimensionalizzata in sommità
a (z=h_c) 0,027 / accelerazione spettrale adimensionalizzata alla base del silo

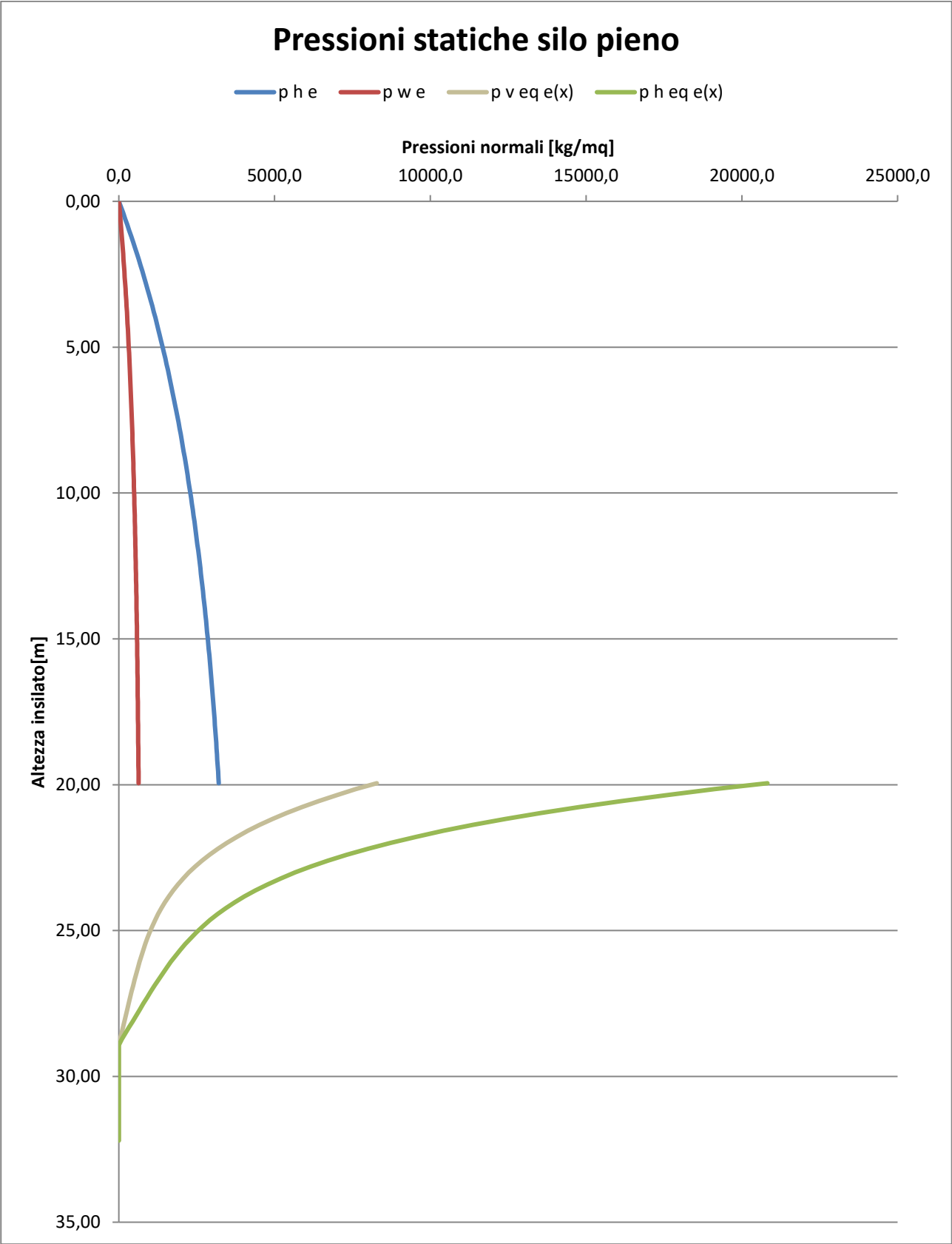
$$\alpha_{(z=h_c)} = \frac{\alpha_{(z=0)} (H - h_c)}{H}$$

r_s^{*} 1,800 m Eq (3.6) EC 8-4 fattore geometrico

$$r_s^* = \min(h_c; d_c/2)$$

$\Delta p_{hs0 \text{ (max)}}$ 630,0 kg/mq Eq (3.5) EC 8-4 massima sovrappressione da sisma (in sommità)

$$\Delta p_{hs0 \text{ (z=0)}} = \alpha_{(z=0)} \gamma \min(r_s^*; 3x)$$



RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

Table E.1: Particulate solids properties

Type of particulate solid ^{d, e}	Unit weight ^b		Angle of repose ^c	Angle of internal friction ^c		Lateral pressure ratio ^c		Wall friction coefficient ^c				Patch load solid reference factor ^c C_{op}
	γ		ϕ_r	ϕ_i		K		μ ($\mu = \tan \phi_w$)				
	γ_ℓ	γ_u	ϕ_r	ϕ_{im}	α_ϕ	K_m	α_K	Wall type D1	Wall type D2	Wall type D3	α_μ	
	Lower	Upper		Mean	Factor	Mean	Factor	Mean	Mean	Mean	Factor	
	kN/m ³	kN/m ³	degrees	degrees								
Default material ^a	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
Aggregate	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4
Alumina	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Animal feed mix	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0
Animal feed pellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7
Barley ☼	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5
Cement	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Cement clinker ☼	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7
Coal ☼	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6
Coal, powdered ☼	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Coke	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6
Flyash	8,0	15,0	41	35	1,16	0,46	1,20	0,51	0,62	0,72	1,07	0,5
Flour ☼	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6
Iron ore pellets	19,0	22,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,5
Lime, hydrated	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6
Limestone powder	11,0	13,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Maize ☼	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9
Phosphate	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5
Potatoes	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5
Sand	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4
Slag clinkers	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6
Soya beans	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5
Sugar ☼	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4
Sugarbeet pellets	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5
Wheat ☼	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5

NOTE Where this table does not contain the material to be stored, testing should be undertaken.

^a For situations where it is difficult to justify the cost of testing, because the cost implications of using a wide property range for the design are minor, the properties of the "default material" may be used. For small installations, these properties may be adequate. However, they will lead to very uneconomic designs for large silos, and testing should always be preferred.^b The unit weight of the solid γ_u is the upper characteristic value, to be used for all calculations of actions. The lower characteristic value γ_ℓ is provided in Table E.1 to assist in estimating the required volume of a silo that will have a defined capacity.^c Effective wall friction for wall Type D4 (corrugated wall) may be found using the method defined in Annex D, D.2.^d Solids in this table that are known to be susceptible to dust explosion are identified by the symbol ☼^e Solids that are susceptible to mechanical interlocking are identified by the symbol ☼

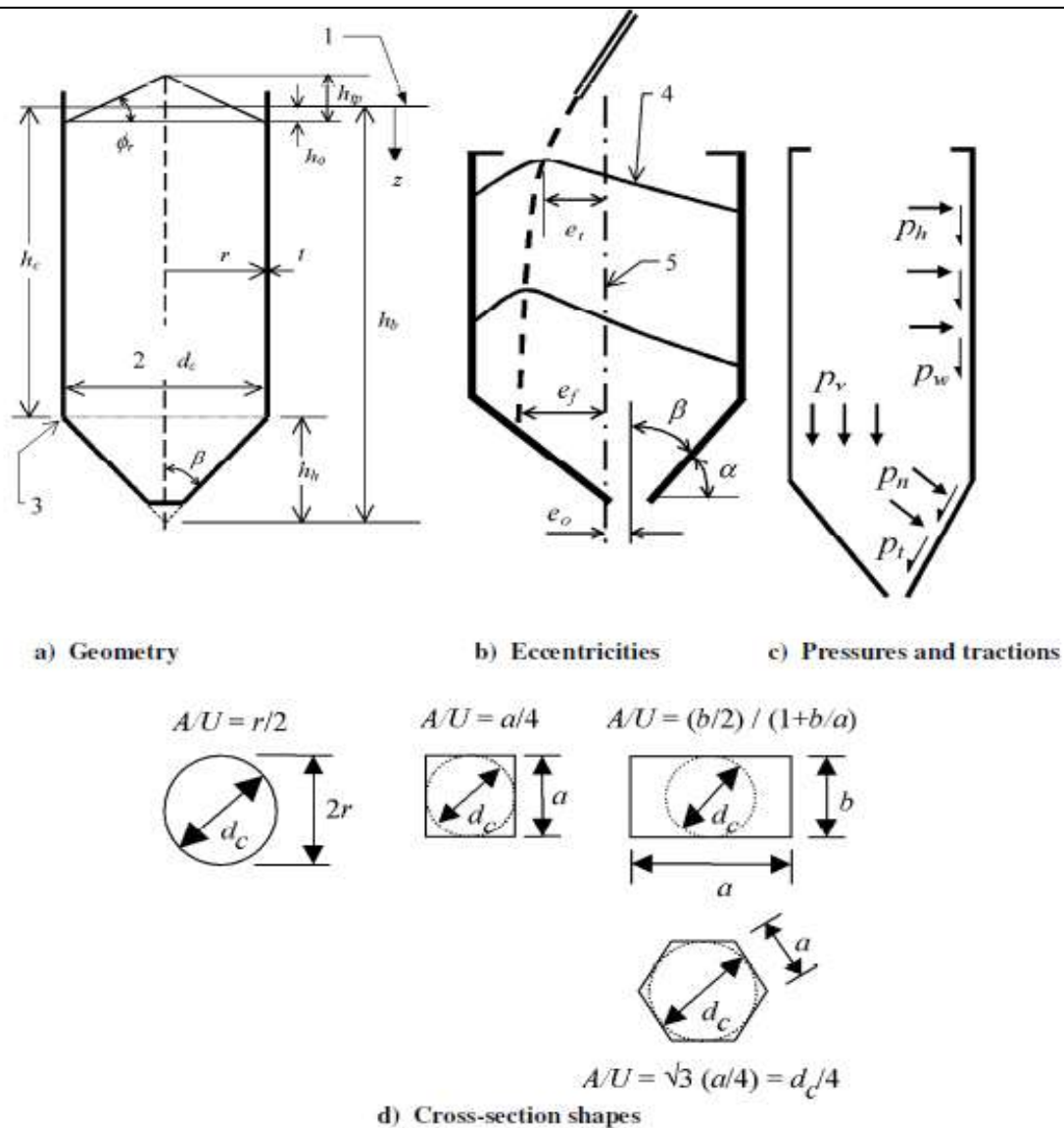


Figure 1.1: Silo forms showing dimensions and pressure notation

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

Table 3.1: Values of properties to be used for different wall loading assessments

Purpose:	Characteristic value to be adopted		
	Wall friction coefficient μ	Lateral pressure ratio K	Angle of internal friction ϕ_i
For the vertical wall or barrel			
Maximum normal pressure on vertical wall	Lower	Upper	Lower
Maximum frictional traction on vertical wall	Upper	Upper	Lower
Maximum vertical load on hopper or silo bottom	Lower	Lower	Upper
Purpose:	Characteristic value to be adopted		
	Wall friction coefficient μ	Hopper pressure ratio F	Angle of internal friction ϕ_i
For the hopper wall			
Maximum hopper pressures on filling	Lower value for hopper	Lower	Lower
Maximum hopper pressures on discharge	Lower value for hopper	Upper	Upper
NOTE 1: It should be noted that $\phi_{wh} \leq \phi_i$ always, since the material will rupture internally if slip at the wall contact demands a greater shear stress than the internal friction can sustain. This means that, in all evaluations, the wall friction coefficient should not be taken as greater than $\tan \phi_i$ (i.e. $\mu = \tan \phi_w \leq \tan \phi_i$ always).			
NOTE 2: Hopper normal pressure p_n is usually maximized if the hopper wall friction is low because less of the total hopper load is then carried by wall friction. Care should be taken when choosing which property extreme to use for the hopper wall friction to ensure that the structural consequences are fully explored (i.e. whether friction or normal pressures should be maximized depends on the kind of structural failure mode that is being considered).			

SILO

z assoluta mm	p h / p h eq N/mm ²	p w / p v eq N/mm ²	p sisma sottovento N/mm ²	p sisma sopravento N/mm ²	Totali sisma N/mm ²
28200	0,000000	0,000000	0,012600	0,000000	0,012600
28001	0,000553	0,000153	0,012526	0,000000	0,012526
27801	0,001096	0,000303	0,012452	0,000000	0,012452
27602	0,001629	0,000449	0,012378	0,000000	0,012378
27402	0,002152	0,000592	0,012304	0,000000	0,012304
27203	0,002666	0,000731	0,012230	0,000000	0,012230
27003	0,003171	0,000866	0,012156	0,000000	0,012156
26804	0,003666	0,000999	0,012082	0,000000	0,012082
26604	0,004152	0,001128	0,012008	0,000000	0,012008
26405	0,004630	0,001254	0,011934	0,000000	0,011934
26205	0,005099	0,001377	0,011860	0,000000	0,011860
26006	0,005559	0,001497	0,011786	0,000000	0,011786
25806	0,006011	0,001614	0,011712	0,000000	0,011712
25607	0,006455	0,001728	0,011639	0,000000	0,011639
25407	0,006891	0,001839	0,011565	0,000391	0,011565
25208	0,007319	0,001948	0,012300	0,000809	0,011491

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

25008	0,007739	0,002054	0,012637	0,001220	0,011417
24809	0,008151	0,002157	0,012966	0,001623	0,011343
24609	0,008556	0,002258	0,013289	0,002020	0,011269
24410	0,008954	0,002357	0,013604	0,002410	0,011195
24210	0,009344	0,002453	0,013914	0,002793	0,011121
24011	0,009727	0,002547	0,014216	0,003169	0,011047
23811	0,010104	0,002638	0,014512	0,003539	0,010973
23612	0,010473	0,002727	0,014802	0,003903	0,010899
23412	0,010836	0,002814	0,015085	0,004260	0,010825
23213	0,011192	0,002899	0,015363	0,004612	0,010751
23013	0,011542	0,002982	0,015634	0,004957	0,010677
22814	0,011885	0,003063	0,015900	0,005297	0,010603
22614	0,012222	0,003142	0,016160	0,005631	0,010529
22415	0,012553	0,003219	0,016414	0,005959	0,010455
22215	0,012878	0,003294	0,016663	0,006282	0,010381
22016	0,013197	0,003367	0,016906	0,006599	0,010307
21816	0,013511	0,003438	0,017144	0,006911	0,010233
21617	0,013818	0,003508	0,017377	0,007218	0,010159
21417	0,014120	0,003576	0,017605	0,007520	0,010085
21218	0,014417	0,003642	0,017828	0,007816	0,010011
21018	0,014708	0,003707	0,018045	0,008108	0,009937
20819	0,014994	0,003770	0,018258	0,008395	0,009864
20619	0,015275	0,003832	0,018466	0,008677	0,009790
20420	0,015550	0,003892	0,018670	0,008954	0,009716
20220	0,015821	0,003951	0,018869	0,009227	0,009642
20021	0,016086	0,004008	0,019063	0,009496	0,009568
19821	0,016347	0,004064	0,019254	0,009760	0,009494
19622	0,016603	0,004118	0,019439	0,010020	0,009420
19422	0,016855	0,004171	0,019621	0,010275	0,009346
19223	0,017102	0,004223	0,019798	0,010526	0,009272
19023	0,017344	0,004274	0,019972	0,010774	0,009198
18824	0,017582	0,004323	0,020141	0,011017	0,009124
18624	0,017816	0,004371	0,020306	0,011257	0,009050
18425	0,018045	0,004418	0,020468	0,011492	0,008976
18225	0,018270	0,004464	0,020626	0,011724	0,008902
18026	0,018492	0,004509	0,020780	0,011952	0,008828
17826	0,018709	0,004552	0,020931	0,012176	0,008754
17627	0,018922	0,004595	0,021078	0,012397	0,008680
17427	0,019131	0,004637	0,021221	0,012615	0,008606
17228	0,019337	0,004677	0,021361	0,012829	0,008532
17028	0,019539	0,004717	0,021498	0,013039	0,008458
16829	0,019737	0,004755	0,021631	0,013247	0,008384
16629	0,019931	0,004793	0,021761	0,013451	0,008310
16430	0,020122	0,004829	0,021888	0,013652	0,008236
16230	0,020310	0,004865	0,022012	0,013850	0,008162
16031	0,020494	0,004900	0,022133	0,014045	0,008088
15831	0,020675	0,004934	0,022251	0,014236	0,008015

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

15632	0,020852	0,004968	0,022366	0,014425	0,007941
15432	0,021027	0,005000	0,022478	0,014611	0,007867
15233	0,021198	0,005032	0,022587	0,014794	0,007793
15033	0,021366	0,005063	0,022693	0,014975	0,007719
14834	0,021531	0,005093	0,022797	0,015152	0,007645
14634	0,021693	0,005122	0,022898	0,015327	0,007571
14435	0,021852	0,005151	0,022997	0,015500	0,007497
14235	0,022008	0,005179	0,023092	0,015670	0,007423
14036	0,022161	0,005206	0,023186	0,015837	0,007349
13836	0,022312	0,005233	0,023277	0,016002	0,007275
13637	0,022460	0,005259	0,023365	0,016164	0,007201
13437	0,022605	0,005284	0,023451	0,016324	0,007127
13238	0,022747	0,005309	0,023535	0,016482	0,007053
13038	0,022887	0,005333	0,023616	0,016637	0,006979
12839	0,023024	0,005357	0,023695	0,016790	0,006905
12639	0,023159	0,005380	0,023772	0,016941	0,006831
12440	0,023292	0,005402	0,023847	0,017090	0,006757
12240	0,023422	0,005424	0,023920	0,017237	0,006683
12041	0,023549	0,005445	0,023990	0,017381	0,006609
11841	0,023674	0,005466	0,024059	0,017524	0,006535
11642	0,023798	0,005486	0,024126	0,017664	0,006461
11442	0,023918	0,005506	0,024190	0,017803	0,006387
11243	0,024037	0,005526	0,024253	0,017939	0,006313
11043	0,024153	0,005544	0,024314	0,018074	0,006240
10844	0,024268	0,005563	0,024373	0,018207	0,006166
10644	0,024380	0,005581	0,024430	0,018338	0,006092
10445	0,024490	0,005598	0,024485	0,018467	0,006018
10245	0,024598	0,005615	0,024539	0,018595	0,005944
10046	0,024705	0,005632	0,024590	0,018721	0,005870
9846	0,024809	0,005648	0,024641	0,018845	0,005796
9647	0,024912	0,005664	0,024689	0,018967	0,005722
9447	0,025012	0,005680	0,024736	0,019088	0,005648
9248	0,025111	0,005695	0,024781	0,019208	0,005574
9048	0,025208	0,005710	0,024825	0,019325	0,005500
8950	0,208226	0,082819	0,024867	0,019441	0,005426
8746	0,191303	0,076088	0,024908	0,019556	0,005352
8542	0,175638	0,069857	0,024947	0,019669	0,005278
8338	0,161158	0,064098	0,024985	0,019781	0,005204
8133	0,147792	0,058782	0,024985	0,019781	0,005204
7929	0,135471	0,053881	0,024985	0,019781	0,005204
7725	0,124129	0,049370	0,024985	0,019781	0,005204
7521	0,113703	0,045223	0,024985	0,019781	0,005204
7317	0,104132	0,041417	0,024985	0,019781	0,005204
7113	0,095358	0,037927	0,024985	0,019781	0,005204
6908	0,087325	0,034732	0,024985	0,019781	0,005204
6704	0,079979	0,031810	0,024985	0,019781	0,005204
6500	0,073271	0,029142	0,024985	0,019781	0,005204

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

6296	0,067152	0,026708	0,024985	0,019781	0,005204
6092	0,061574	0,024490	0,024985	0,019781	0,005204
5888	0,056495	0,022470	0,024985	0,019781	0,005204
5683	0,055670	0,022142	0,024985	0,019781	0,005204
5479	0,054980	0,021867	0,024985	0,019781	0,005204
5275	0,054243	0,021574	0,024985	0,019781	0,005204
5071	0,053457	0,021262	0,024985	0,019781	0,005204
4867	0,052621	0,020929	0,024985	0,019781	0,005204

Le pressioni sopra calcolate vengono applicate al dimensionamento ed alla verifica delle pareti perimetrali delle celle.

La componente verticale delle medesime viene applicata anche alla soletta di piano che tuttavia si trova soggetta a carichi statici ben maggiori rispetto al peso reale del materiale che può essere stoccato nella canna. Per questo le componenti di carico dovute al materiale insilato vengono ridotte mediante un fattore costante nel formare una combinazione di carico appositamente creata per la verifica della soletta di piano che sostiene le canne verticali. Tale combinazione viene estesa poi alla verifica di tutti gli impalcati.

3.6.1 Massa del materiale insilato

Oltre alle pressioni calcolate come sopra riportato, si modella la presenza del materiale insilato mediante elementi solaio, distribuiti lungo lo sviluppo delle canne del silo, ai quali viene attribuito un carico distribuito sulla superficie che determini il peso del materiale farina.

Questi pesi, calcolati sulla base della portata in volume delle diverse canne verticali, vengono raccolti in una medesima condizione di carico statica (la numero 28: *masse farina*), che viene utilizzata unicamente per la valutazione della azione sismica: essa entra nel calcolo della massa totale del fabbricato e genera di conseguenza la associata azione orizzontale.

Di seguito si propone il calcolo della sopra citata pressione verticale sui solai utile a generare la massa del materiale insilato ed una immagine del modello esplicativa della configurazione adottata in cui i solai hanno differenti colorazioni associate alla tipologia di canna verticale: in *rosa* i solai delle canne lunghe, in *verde* i solai delle canne corte.

3.7 Azione sismica

La struttura in oggetto si trova in Zona 3

Categoria di sottosuolo C

Categoria topografica T1

La caratterizzazione sismica del sito oggetto di studio prevede i parametri riportati di seguito.

Le immagini riportate sono tratte dal software Spettri NTC-ver 1.0.3, rilasciato dal Ministero LLPP.

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

☐ Ricerca per comune

LONGITUDINE
10,94366

LATITUDINE
44,66097

REGIONE
Emilia-Romagna

PROVINCIA
Modena

COMUNE
Modena

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variazioni dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento



Controlli sul reticolo

- ☒ Sito esterno al reticolo
- ☐ Interpolazione su 3 nodi
- ☐ Interpolazione corretta

Interpolazione
superficie rigata

Nodi del reticolo intorno al sito



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_d info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{vib} = 81\%$	<input type="text" value="30"/>
	SLD - $P_{vib} = 63\%$	<input type="text" value="50"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{vib} = 10\%$	<input type="text" value="475"/>
	SLC - $P_{vib} = 5\%$	<input type="text" value="975"/>

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

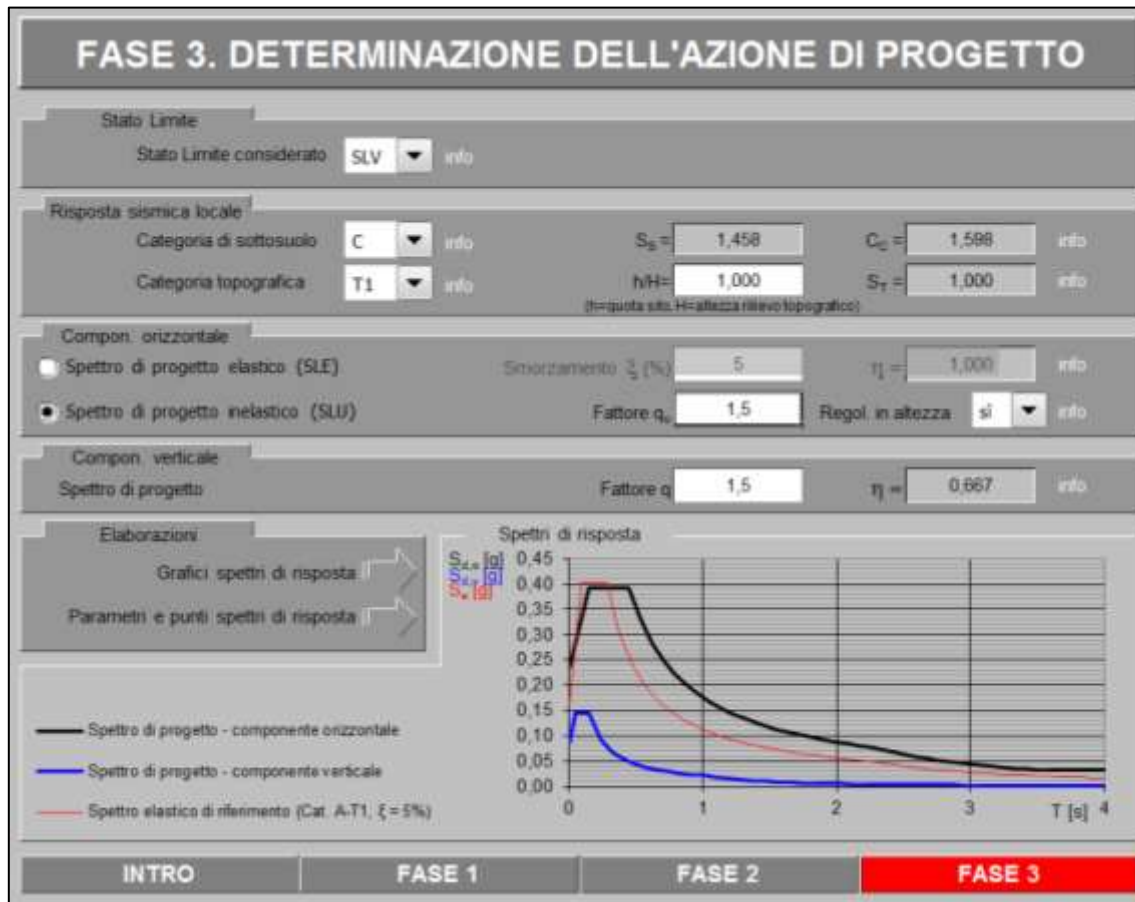
Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
a_s	0,162 g
F_o	2,484
T_c	0,280 s
S_s	1,458
C_c	1,598
S_T	1,000
q	1,500

Parametri dipendenti

S	1,458
η	0,667
T_B	0,149 s
T_c	0,448 s
T_D	2,250 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

$$T_c = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_o(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_c \quad S_o(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_o(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_o(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_c T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_o(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,237
$T_B \leftarrow$	0,149	0,392
$T_c \leftarrow$	0,448	0,392
	0,534	0,329
	0,619	0,283
	0,705	0,249
	0,791	0,222
	0,877	0,200
	0,963	0,182
	1,048	0,167
	1,134	0,155
	1,220	0,144
	1,306	0,134
	1,392	0,126
	1,477	0,119
	1,563	0,112
	1,649	0,106
	1,735	0,101
	1,821	0,096
	1,906	0,092
	1,992	0,088
	2,078	0,084
	2,164	0,081
$T_D \leftarrow$	2,250	0,078
	2,333	0,073
	2,416	0,068
	2,500	0,063
	2,583	0,059
	2,666	0,056
	2,750	0,052
	2,833	0,049
	2,916	0,046
	3,000	0,044
	3,083	0,042
	3,166	0,039
	3,250	0,037
	3,333	0,036
	3,417	0,034
	3,500	0,032
	3,583	0,032
	3,667	0,032
	3,750	0,032
	3,833	0,032
	3,917	0,032
	4,000	0,032

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

3.8 Azione della temperatura

Si prende a riferimento la Normativa nazionale **NTC08** che consente di valutare l'effetto dell'aumento della temperatura degli elementi strutturali mediante l'applicazione di un gradiente termico prefissato, costante nello spessore degli elementi parete, distinto in funzione del grado di insolazione della parete considerata.

Dato il materiale strutturale CA si definiscono i seguenti gradienti di temperatura ΔT_u :

- per strutture esposte $\Delta T_u = \pm 15^\circ$
- per strutture protette $\Delta T_u = \pm 10^\circ$

Nello specifico si considerano *esposte* le seguenti strutture:

- pareti piano terra e piano primo,
- pareti esterne delle celle,
- pareti vano ascensore,
- pareti porzione alta del silo,
- impalcati di copertura;

mentre si considerano *protette* le seguenti strutture:

- pareti interne delle celle,
- impalcati di piano,
- platea di fondazione.

3.9 Analisi dei carichi

Sulla base delle azioni sopra riportate si producono le seguenti analisi dei carichi per gli elementi principali del fabbricato.

3.9.1 *Impalcati*

Il software gestisce in automatico il calcolo del peso degli impalcati che essendo realizzati mediante solette piene in CA contempla esclusivamente pesi propri strutturali di tipo G1, a cui si sommano i sovraccarichi variabili di categoria E2 (ambienti di categoria industriale) o il carico accidentale da neve.

Per maggior chiarezza si riportano di seguito le analisi dei carichi relative al peso degli impalcati.

Platea_spessore 100+20 cm		
Carichi permanenti strutturali _ G1	30,0	kN/m ²
Carichi permanenti NON strutturali _ G2	5,0	kN/m ²
Carichi variabili_Q	6,0	kN/m ²

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

Impalcato 6_spessore 30 cm		
Carichi permanenti strutturali _ G1	7,5	kN/m ²
Carichi permanenti NON strutturali _ G2	2,0	kN/m ²
Carichi variabili_Q	6,0	kN/m ²

Impalcato 7,8_spessore 20 cm		
Carichi permanenti strutturali _ G1	5,0	kN/m ²
Carichi permanenti NON strutturali _ G2	2,0	kN/m ²
Carichi variabili_Q neve	1,2	kN/m ²