

**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 11)**

**RELAZIONE TECNICA**

**RISERVA IDRICA**

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

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

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

PROGETTISTA STRUTTURALE  
**ING. GUIDUCCI CARLO**

Via Dismano n. 4583 Cesena 47522 (FC)  
pec: [carlo.guiducci@ingpec.eu](mailto:carlo.guiducci@ingpec.eu) cell. +39.348.2689040

# SOMMARIO

INDIVIDUAZIONE DEL SITO .....

1.2 INDAGINE GEOLOGICA .....

1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....

2

2

2

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

**LA PRESENTE RELAZIONE È RIFERITA AL PUNTO 11.**

**1.2 INDAGINE GEOLOGICA**

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

**1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

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

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

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

La relazione di calcolo allegata fa riferimento ad una riserva posizionata in un altro comune dell'Emilia. Le considerazioni alla base dello studio rimangono comunque valide.

La riserva idrica è la medesima di quella che verrà installata nel cantiere in progetto.

## CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA



## COMUNE DI MORDANO



---

VERIFICA STRUTTURA METALLICA RISERVA IDRICA ANTINCENDIO

RIFERIMENTO CANTIERE MORDANO

---

## **RELAZIONE DI CALCOLO**

IL COMMITTENTE:

Idroelettrica S.p.A.

IL PROGETTISTA DELLE STRUTTURE:

Ing. Fabio Ferrario

Pergine Valsugana, marzo 2018

**INDICE**

<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
1.1 CARATTERISTICHE DIMENSIONALI	4
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>4</b>
<b>3. DETERMINAZIONE CLASSE D'ESECUZIONE</b>	<b>5</b>
<b>4. MATERIALI IMPIEGATI E CARATTERISTICHE MECCANICHE</b>	<b>6</b>
<b>5. ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>6</b>
5.1 CARICO SULLA COPERTURA	7
5.2 AZIONE SISMICA	7
5.3 AZIONE DEL VENTO	12
5.4 COMBINAZIONI DI CARICO	13
5.5 MODELLAZIONE DELL'AZIONE SISMICA INDOTTA DALL'ACQUA	14
<b>6. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO</b>	<b>17</b>
<b>7. MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI DEL SERBATOIO</b>	<b>17</b>
<b>8. METODO DI CALCOLO</b>	<b>19</b>
8.1 STATO LIMITE DI PLASTICITÀ (LS1)	19
8.2 STATO LIMITE DI INSTABILITÀ (LS3)	20
<b>9. VERIFICHE DI SICUREZZA SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI</b>	<b>23</b>
9.1 LIMITAZIONE DELLE TENSIONI (VERIFICA RESISTENZA PLASTICA – LS1 E VERIFICA RESISTENZA ALL'INSTABILITÀ – LS3)	25
9.2 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DI COPERTURA, DI RACCORDO E ANCORAGGIO	33
9.3 CALCOLO DELL'ALTEZZA D'ONDA DELLA COMPONENTE DI SLOSHING	33
9.4 VERIFICA DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE	34
<b>10. CONCLUSIONI</b>	<b>34</b>

**ALLEGATO: RESISTENZA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DEL SERBATOIO E DI COLLEGAMENTO**

### 1. INTRODUZIONE

La struttura oggetto di analisi è composta da un serbatoio avvitabile da 120mc, caratterizzato da collegamenti bullonati, prodotto dalla ditta RIZZOTTO S.r.l. con sede in San Giorgio in Bosco (PD) che sarà installato per conto della ditta Idroelettrica S.p.A. nel Comune di Mordano (BO). Il serbatoio sarà realizzato tramite lamiere in acciaio S250GD di spessore 2 e 3mm e dimensioni fisse 1250x2500mm collegate verticalmente e orizzontalmente tramite bulloni M12 di passo variabile con la quota della lamiera. Una vista e una pianta della struttura sono rappresentate nella Figura 1.

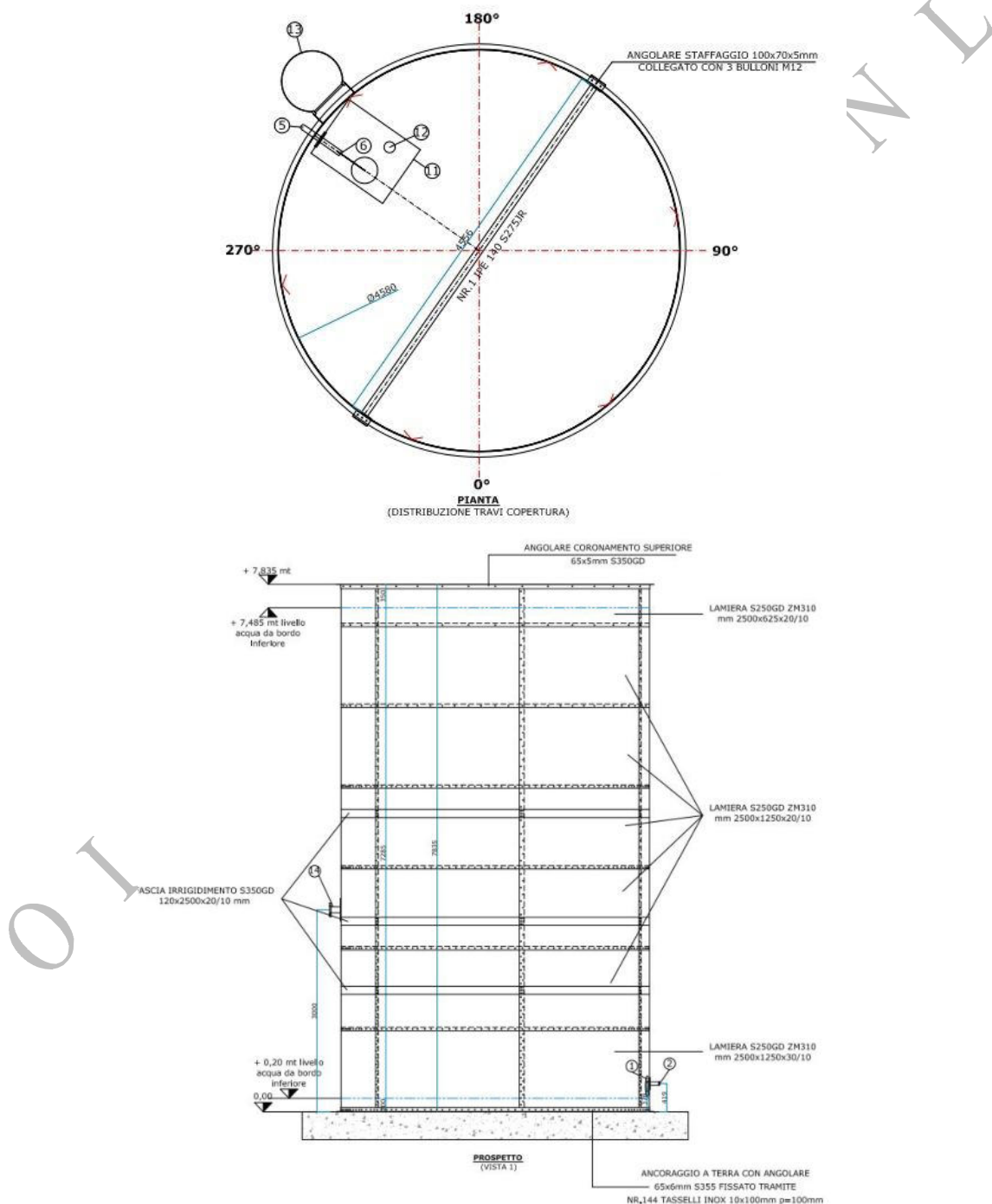


Figura 1: pianta e vista dei serbatoi bullonati.

Questo tipo di serbatoio è utilizzato per lo stoccaggio e la gestione delle riserve idriche per impianti antincendio. Il serbatoio è dotato di un diametro di 4590 mm e di un'altezza di 7830mm. A chiusura del serbatoio è disposta una copertura in acciaio realizzata con una lamiera grecata poggiante su profilati metallici collegati ad angolari di bordo mediante bullonatura.

Nella presente relazione di calcolo sono riportate le verifiche della struttura per effetto dell'azione sismica in base alla normativa in vigore. La struttura oggetto di analisi è stata verificata utilizzando le "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC2018), D.M. 17 gennaio 2018 pubblicato su Gazzetta Ufficiale n°42 del 20/02/2018, sia per quanto riguarda le verifiche delle azioni statiche che per quanto riguarda la verifica degli effetti indotti dall'azione sismica.

Come specificato nel capitolo 1 delle NTC2018 per l'ottenimento delle prescritte prestazioni, per quanto non espressamente specificato nelle norme, ci si può riferire a normative di comprovata validità e in particolare quelle fornite dagli Eurocodici costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle norme. La valutazione della sicurezza sismica del fabbricato in questione è stata condotta nel rispetto dei requisiti e dei procedimenti esposti nell'Eurocodice 8 parte 4, in quanto per la sua specificità questo tipo di strutture non viene trattato dalla normativa italiana. Anche per quanto riguarda la verifica della sicurezza degli elementi, l'effetto dell'instabilità delle lamiere metalliche è stato calcolato utilizzando la procedura descritta nell'Eurocodice 3 parte 1-6.

## 1.1 CARATTERISTICHE DIMENSIONALI

<b>SERBATOIO</b>		
Diametro esterno:	4,59	m
altezza totale:	7,83	m

Materiali da costruzione:			
lamiere per fasciami:		<b>S250GD</b>	
spessori fasciami:		<b>2 e 3</b>	mm
lamiere grecate per copertura:		<b>S250GD</b>	
profilati per copertura e ancoraggi:		<b>S275JR</b>	
lamiere per irrigidimenti intermedi:		<b>S350GD</b>	
lamiere per profilati di collegamento:		<b>S355JR</b>	
bulloni:	<b>M12</b>	classe:	<b>10.9</b>

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

In accordo con quanto prescritto dall'art. 21 della Legge 5 novembre 1971 n.1086 (G.U. n.321 del 21.12.1971) per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica, nonché dall'art.1 della Legge 2 febbraio 1974 n.64 (G.U. n.76 del 21.3.1974), per tutte le costruzioni devono essere rispettate le prescrizioni contenute nei seguenti Decreti Ministeriali e relative Circolari di istruzioni.

- D.M. 17 gennaio 2018. "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Documenti integrativi delle NTC:

- UNI EN 1993-1-6: 2007. "Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-6: Regole generali - Regole supplementari per le strutture a guscio".
- UNI EN 1998-1: 2005. "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici".
- UNI EN 1998-4: 2006. "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 4: Silos, serbatoi e condotte".
- UNI EN 1090-1 (2012) Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio – Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali;
- UNI EN 1090-2 (2011) Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio – Requisiti tecnici per strutture di acciaio.

### 3. DETERMINAZIONE CLASSE D'ESECUZIONE

Secondo la UNI EN 1090-2 per la determinazione della Classe di esecuzione EXC deve essere determinata:

- la Classe di Conseguenza (CC);
- la Classe di Servizio (SC);
- la Classe di Produzione (PC).

Per la determinazione della Classe di Conseguenza (CC) si fa riferimento alla UNI EN 1090-2 Allegato B Sezione B 3.1 Tabella B.1:

Classe di conseguenze	Descrizione	Esempi di edifici e di opere di ingegneria civile
CC3	Elevate conseguenze per perdita di vite umane, o conseguenze molto gravi in termini economici, sociali o ambientali	Gradinate in impianti sportivi, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono alte (per esempio, una sala da concerti)
CC2	Conseguenze medie per perdita di vite umane, conseguenze considerevoli in termini economici, sociali o ambientali	Edifici residenziali e per uffici, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono medie (per esempio un edificio per uffici)
CC1	Conseguenze basse per perdita di vite umane, e conseguenze modeste o trascurabili in termini economici, sociali o ambientali	Costruzioni agricole, nei quali generalmente nessuno entra (per esempio, i magazzini), serre

Per la determinazione della Classe di Servizio (SC) si fa riferimento alla UNI EN 1090-2 Allegato B Sezione B.2.2.2 Tabella B.1:

Categoria	Parametri
SC1	- Strutture e componenti progettati soltanto per azioni quasi statiche
	- Strutture e componenti le cui connessioni sono progettate per l'azione sismica in regioni con bassa sismicità e classe di duttilità DCL
	- Strutture e componenti progettati per azioni a fatica da carroponti/gru meccanici (classe S <sub>0</sub> )
SC2	- Strutture e componenti progettati per la resistenza a fatica in accordo alla EN 1993 (es. Ponti stradali e ferroviari, gru, carriponte Classi da S <sub>1</sub> a S <sub>9</sub> ...), strutture suscettibili a vibrazioni indotte da vento, folla o macchinari in rotazione
	- Strutture e componenti progettati per l'azione sismica in regioni con media o alta sismicità ed in classe di duttilità DCM o DCH
DCL, DCM, DCH: classi di duttilità in accordo alla EN 1998-1	



Per la determinazione della Classe di Produzione (PC) si fa riferimento alla UNI EN 1090-2 Allegato B Sezione B.2.2.3 Tabella B.3:

Categoria	Parametri
<b>PC1</b>	-componenti non saldati fabbricati con qualsiasi classe di acciaio -componenti saldati fabbricati con classe di acciaio inferiore alla S355
<b>PC2</b>	-componenti saldati fabbricati con classe di acciaio uguale o superiore alla S355 -componenti essenziali per l'integrità strutturale che vengono assemblati in situ mediante saldatura -componenti prodotti a caldo o che ricevono trattamenti termici durante la produzione

La classe di Esecuzione è determinata con riferimento alla UNI EN 1090-2 Allegato B Tabella B.2:

Classi di Conseguenza		CC1		CC2		CC3	
Classi di Servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Classi di Produzione	<b>PC1</b>	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	<b>PC2</b>	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

Nel caso in esame la struttura appartiene alle classi riportate nella seguente tabella:

Tipologia	classe di conseguenza	classe di servizio	classe di produzione	classe di esecuzione
caso in esame	CC2	SC2	<b>PC1</b>	EXC3

#### 4. MATERIALI IMPIEGATI E CARATTERISTICHE MECCANICHE

Nel seguito sono riportate le caratteristiche meccaniche, le dosature e le modalità di posa in opera da rispettare per i materiali utilizzati nella realizzazione delle opere in acciaio strutturale.

<b>Acciaio</b>				
Tabelle materiali	1	2	3	4
classe:	S250GD	S350GD	S275JR	S355JR
norma di riferimento:	UNI EN 10326	UNI EN 10326	NTC 2018	NTC 2018
$f_{yk}$ [MPa]	250	350	275	355
$f_{tk}$ [MPa]	330	420	430	510
E [MPa]	210000	210000	210000	210000

<b>Acciaio per bulloneria</b>	
classe	10.9
norma di riferimento:	NTC 2018
$f_{yb}$ [MPa]	900
$f_{tb}$ [MPa]	1000

#### 5. ANALISI DEI CARICHI

I valori dei carichi di progetto sono i seguenti:

## i. Pesi propri elementi strutturali:

Peso proprio degli elementi in acciaio  $78.5 \text{ kN/m}^3$ 

## ii. Azioni variabili:

Peso proprio del liquido presente nel serbatoio  $10 \text{ kN/m}^3$ Carico accidentale per coperture accessibili per sola manutenzione (Cat. H1)  $0.5 \text{ kN/m}^2$ **5.1 CARICO SULLA COPERTURA**

Per la valutazione del carico da neve è stato fatto riferimento alle NTC2018. Il carico da neve al metro quadrato di proiezione orizzontale della costruzione è dato da:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk}$$

dove  $\mu_i$  è il coefficiente di forma, che per inclinazione di falda inferiore ai  $30^\circ$  vale 0,8;  $q_{sk}$  è il carico di riferimento della neve al suolo. Esso dipende dalla zona d'ubicazione del fabbricato e dalla quota sul livello del mare. Nel caso in esame:

Provincia:	Bologna		Comune:	Mordano	
Zona:	I-Mediterranea		Quota:	<b>20</b>	m s.l.m.m

Il carico di riferimento al suolo vale:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

da cui si può ricavare il valore a metro quadrato del carico da neve sulla proiezione orizzontale della copertura:

$$q_s = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

in accordo con la committenza per il progetto della struttura di copertura è stato assunto un valore del carico da neve pari a:

$$q_s = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

**5.2 AZIONE SISMICA**

Per quanto riguarda la valutazione dell'azione sismica i parametri che le NTC2018 forniscono per costruire le forme spettrali su sito di riferimento rigido orizzontale sono tre, cioè  $a_g$ , accelerazione orizzontale massima del terreno,  $F_o$ , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, e  $T_c^*$ , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale. Sono state quindi ipotizzate le coordinate geografiche longitudine 11,7948 e latitudine 44,3914 (sito nel Comune di Mordano) utilizzando il file messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per il calcolo della pericolosità sismica del sito in esame.

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**


☒ Ricerca per coordinate  
 LONGITUDINE: 11.7946 LATTITUDINE: 44.3914 Mordano Bologna

☐ Ricerca per comune  
 Lat 44,3989 Lon 11,8128 REGIONE: Emilia-Romagna PROVINCIA: Bologna COMUNE: Mordano

Elaborazioni grafiche:  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Controllo sul reticolo:  
☒ Sito esterno al reticolo  
☐ Interpolazione su 3 nodi  
☐ Interpolazione corretta

media ponderata

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

E' stato definita la vita nominale dell'opera strutturale  $V_N$  (NTC2018 punto 2.4.1.), intesa come il numero di anni per i quali la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è usata per lo scopo al quale è destinata; in particolare, per la struttura oggetto di analisi, si è scelto un'opera di tipo 2 ovvero "Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale" la cui vita nominale è assunta pari a 50 anni. Per quanto riguarda la classe d'uso (NTC 2018 punto 2.4.2.), la struttura in esame, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, è considerata come opera di classe I, ovvero "Costruzioni con presenza solo occasionale di persone". In seguito sono riportati i valori del tempo di ritorno dell'azione sismica utilizzati per i calcoli nei diversi stati limite.

**FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE**

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$ : 50 info

Classe d'uso della costruzione -  $C_U$ : I info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$ : 35 info

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

Stati limite di esercizio - SLE:

- SLO -  $P_{VR} = 81\%$ : 30
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$ : 35

Stati limite ultimi - SLU:

- SLV -  $P_{VR} = 10\%$ : 332
- SLC -  $P_{VR} = 5\%$ : 682

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

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  per sottosuolo di tipo A associati ai diversi stati limite introdotti dalla norma.

Stato Limite	$T_R$ [anni]	$a_g$ [-]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0,061	2,431	0,261
SLD	35	0,066	2,426	0,264
SLV	332	0,172	2,405	0,298
SLC	682	0,221	2,429	0,310

Per l'implementazione del metodo d'analisi lineare, basato sull'analisi statica equivalente con spettro elastico, si sono ricavati gli spettri per sottosuolo di tipo C e con categoria topografica T1. Lo smorzamento viscoso convenzionale è stato implementato con valori diversi per la valutazione della componente impulsiva e convettiva dell'acqua, che saranno descritte nel paragrafo 5.5, assunto pari a 0.5% per la componente convettiva.

Con riferimento al § 7.1 delle NTC 2018 si osserva che “sotto l'effetto delle azioni sismiche definite nel § 3.2, deve essere garantito il rispetto degli stati limite ultimi, quali definiti al § 3.2.1 ed individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso. La verifica nei confronti dei vari stati limite si effettua confrontando capacità e domanda; in mancanza di specifiche indicazioni in merito, la verifica si considera svolta positivamente quando sono soddisfatti i requisiti di rigidezza, resistenza e duttilità, per gli elementi strutturali, e di stabilità e funzionalità, per gli elementi non strutturali e gli impianti, secondo quanto indicato al §7.3.6.

Nella figure seguenti sono riassunti i dati e le formule che hanno permesso di ricavare gli spettri di progetto orizzontale che sono stati successivamente implementati durante le analisi del modello ad elementi finiti per la componente impulsiva e per la componente convettiva.

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,172 g
$F_o$	2,405
$T_C^*$	0,298 s
$S_S$	1,452
$C_C$	1,565
$S_T$	1,000
$q$	1,333

#### Parametri dipendenti

$S$	1,452
$\eta$	0,750
$T_B$	0,156 s
$T_C$	0,467 s
$T_D$	2,287 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.3})$$

$$\eta = \sqrt{10/(S + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.4; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.6})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.5})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.7})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-18 Eq. 3.2.2)

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_o(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-18 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,249
$T_B$	0,156	0,450
$T_C$	0,467	0,450
	0,554	0,380
	0,640	0,328
	0,727	0,289
	0,814	0,258
	0,900	0,233
	0,987	0,213
	1,074	0,196
	1,160	0,181
	1,247	0,168
	1,334	0,158
	1,420	0,148
	1,507	0,139
	1,594	0,132
	1,680	0,125
	1,767	0,119
	1,854	0,113
	1,941	0,108
	2,027	0,104
	2,114	0,099
	2,201	0,095
$T_D$	2,287	0,092
	2,369	0,086
	2,450	0,080
	2,532	0,075
	2,614	0,070
	2,695	0,066
	2,777	0,062
	2,858	0,059
	2,940	0,056
	3,021	0,053
	3,103	0,050
	3,184	0,047
	3,266	0,045
	3,348	0,043
	3,429	0,041
	3,511	0,039
	3,592	0,037
	3,674	0,036
	3,755	0,034
	3,837	0,034
	3,918	0,034
	4,000	0,034

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

Figura 2. Spettro di progetto orizzontale per la componente impulsiva.



### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,172 g
$F_o$	2,405
$T_C^*$	0,298 s
$S_S$	1,452
$C_C$	1,565
$S_T$	1,000
$q$	0,742

#### Parametri dipendenti

$S$	1,452
$\eta$	1,348
$T_B$	0,156 s
$T_C$	0,467 s
$T_D$	2,287 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.3})$$

$$\eta = \sqrt{10/(S + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.4; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.6})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.5})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.7})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-18 Eq. 3.2.2)

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_e(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-18 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,249
$T_B \leftarrow$	0,156	0,809
$T_C \leftarrow$	0,467	0,809
	0,554	0,682
	0,640	0,590
	0,727	0,520
	0,814	0,464
	0,900	0,420
	0,987	0,383
	1,074	0,352
	1,160	0,326
	1,247	0,303
	1,334	0,283
	1,420	0,266
	1,507	0,251
	1,594	0,237
	1,680	0,225
	1,767	0,214
	1,854	0,204
	1,941	0,195
	2,027	0,186
	2,114	0,179
	2,201	0,172
$T_D \leftarrow$	2,287	0,165
	2,369	0,154
	2,450	0,144
	2,532	0,135
	2,614	0,127
	2,695	0,119
	2,777	0,112
	2,858	0,106
	2,940	0,100
	3,021	0,095
	3,103	0,090
	3,184	0,085
	3,266	0,081
	3,348	0,077
	3,429	0,073
	3,511	0,070
	3,592	0,067
	3,674	0,064
	3,755	0,061
	3,837	0,059
	3,918	0,056
	4,000	0,054

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

Figura 3. Spettro di progetto orizzontale per la componente convettiva.

Per la valutazione delle azioni di progetto, ipotizzando che la struttura abbia comportamento strutturale non dissipativo, secondo quanto riferito nelle NTC 2018 al paragrafo 7.3.1, è stato assunto un fattore di struttura pari  $q_{ND}$  pari a 4/3, nell'ipotesi che la struttura in acciaio abbia tipologia strutturale a mensola. Le verifiche degli elementi strutturali primari (ST) si eseguono, come sintetizzato nella tabella 7.3.III, nel caso di comportamento strutturale non dissipativo, in termini di rigidezza (RIG) e di resistenza (RES), senza applicare le regole specifiche dei dettagli costruttivi e della progettazione in capacità. Le masse delle strutture sottoposte al moto impresso dal sisma sono quelle del peso proprio e dei sovraccarichi permanenti nonché di un'aliquota dei sovraccarichi accidentali, secondo le combinazioni proposte in normativa (vedi tabella 2.5.I delle NTC2018). Va evidenziato come il carico della neve e i carichi accidentali previsti per le coperture debbano essere considerati con coefficiente zero e pertanto il loro contributo in termini di massa e di azioni è nullo.

**Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione**

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

### 5.3 AZIONE DEL VENTO

Per quanto riguarda la valutazione dell'azione del vento è stata fatta un'analisi preliminare nell'ipotesi di progetto di adottare una velocità di riferimento di 25 m/s utilizzando il valore imposto dalle NTC2018 nelle ipotesi di progetto.

La seguente tabella riassume i dati utilizzati per la valutazione dell'azione del vento.

Zona:	2				
descrizione classe:	aree con ostacoli diffusi (alberi, case...); aree con rugosità non riconducibili alle classi A, B, D				
descrizione categoria:	sotto 500m s.l.m.				
classe rugosità:	C				
cat. esposizione:	III				

Da cui si ottengono i seguenti parametri:

$v_{b,0} =$	25	[m/s]	$q_b =$	391,2	[N/m <sup>2</sup> ]
$v_b =$	25	[m/s]	$c_a =$	<b>1,00</b>	
$a_0 =$	750	[m]	$k_r =$	0,2	
$k_a =$	0,45	[1/s]	$z_0 =$	0,1	[m]
$T_R =$	50	[anni]	$z_{min} =$	5	[m]
$c_R =$	1,0		$c_e(z_{max}) =$	1,98	
$v_r =$	25	[m/s]	$q =$	775,2	[N/m <sup>2</sup> ]
$\rho =$	1,25	[kg/m <sup>3</sup> ]	$c_p =$	1,25	

La pressione massima in sommità del serbatoio è pari a 969,0 Pa che, moltiplicato a vantaggio di sicurezza per la dimensione del serbatoio, porta a un taglio caratteristico alla base di 37,0 kN (quindi un valore agli SLU 55,6 kN) che risulta inferiore rispetto all'azione sismica che nella combinazione SLV vale 480 kN. In base a queste considerazioni la combinazione di carico per il vento non è stata presa in considerazione per il progetto della struttura.

#### 5.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Per la massimizzazione delle sollecitazioni statiche sugli elementi costituenti il serbatoio sono state prese in considerazione le seguenti combinazioni di carico:

	<b>serbatoio</b>	<b>carico copertura</b>	
		<i>principale</i>	<i>secondario</i>
<b>Combinazione 1</b>	pieno	Neve	Accidentale
<b>Combinazione 2</b>	pieno	Accidentale	Neve

Per quanto riguarda la combinazione di carico fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU), si utilizza l'espressione [2.5.1] delle NTC2018.

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

L'acqua e il carico di copertura sono stati implementati come carichi variabili, mentre il peso del fasciame e della copertura sono stati implementati come carichi permanenti. Pertanto nelle verifiche statiche i carichi permanenti sono stati implementati utilizzando il coefficiente per le verifiche strutturali A1 con coefficienti pari a 1.3, mentre acqua e accidentali sono stati implementati con coefficienti pari a 1.5.



**Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili $Q$	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Per la massimizzazione delle sollecitazioni sugli elementi costituenti il serbatoio causate dall'azione sismica sono state prese in considerazione le seguenti combinazioni di carico:

	serbatoio	carico copertura	
		principale	secondario
<b>Combinazione 1</b>	pieno	assente	assente

La condizione di carico è stata presa in modo da massimizzare le sollecitazioni nei confronti di un possibile evento sismico. L'ipotesi di serbatoio vuoto non è stata presa in considerazione per la verifica sismica in quanto l'azione sismica del solo peso proprio è trascurabile, valore ridotto rispetto all'azione sismica dovuta all'acqua. L'ipotesi di serbatoio con altezza d'acqua diversa dal pieno non massimizza la spinta dovuta al sisma e pertanto non viene presa in considerazione.

Per quanto riguarda le combinazioni di carico l'azione sismica è stata implementata combinandola con la spinta statica secondo l'espressione [2.5.5] delle NTC2018.

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

## 5.5 MODELLAZIONE DELL'AZIONE SISMICA INDOTTA DALL'ACQUA

Una volta ipotizzate le caratteristiche del terreno su cui è stato realizzato il serbatoio, l'azione sismica è stata modellata facendo riferimento alla procedura descritta nell'Eurocodice 8 "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 4: Silos, serbatoi e condotte" UNI EN 1998-4. In particolare è stato utilizzato l'appendice A.3 dedicato a serbatoi circolari verticali deformabili sottoposti a eccitazione orizzontale e verticale. Nella normativa viene proposta la procedura semplificata sviluppata da Malhotra (Seismic Response of Soil-Supported Unanchored Liquid-Storage Tanks, ASCE, Journal of Structural Engineering, 1997, 123, 440-449) applicabile a serbatoi cilindrici incastrati alla base. Nel modello gli effetti idrodinamici nel serbatoio sono valutati con la sovrapposizione di due componenti: (1) la componente impulsiva, che rappresenta l'azione del fluido vicino alla base del serbatoio che si muove rigidamente con la parete flessibile del serbatoio; e (2) la componente convettiva, che rappresenta l'azione del liquido sottoposto ad un moto di sbattimento vicino alla superficie libera. In questa analisi, il sistema serbatoio-

liquido viene modellato da due sistemi ad un grado di libertà, uno corrispondente all'azione impulsiva e l'altro alla componente convettiva. La risposta impulsiva e quella convettiva sono combinate prendendo in considerazione la loro somma numerica piuttosto che il valore ottenuto dalla radice della media dei quadrati. I periodi naturali delle risposte convettive ed impulsive, in secondi, sono dati dalle formule:

$$T_{\text{imp}} = C_i \frac{\sqrt{\rho} H}{\sqrt{s/R} \sqrt{E}} \quad [\text{A.35}]$$

$$T_{\text{con}} = C_c \sqrt{R} \quad [\text{A.36}]$$

dove  $H$  = altezza di progetto del fluido,  $R$  = raggio del serbatoio,  $s$  = spessore equivalente uniforme della parete del serbatoio,  $\rho$  = densità di massa del liquido ed  $E$  = modulo di elasticità del materiale del serbatoio. I coefficienti  $C_i$  e  $C_c$  sono ottenuti nel prospetto A.1 della norma. Il coefficiente  $C_i$  è adimensionale, mentre  $C_c$  è espresso in  $\text{s/m}^{1/2}$ . Per valori intermedi di  $H/R$ ,  $C_i$  e  $C_c$  sono stati ottenuti interpolando linearmente tra i due valori più prossimi.

prospetto A.1

$H/R$	$C_i$	$C_c$
0,3	9,28	2,09
0,5	7,74	1,74
0,7	6,97	1,60
1,0	6,36	1,52
1,5	6,06	1,48
2,0	6,21	1,48
2,5	6,56	1,48
3,0	7,03	1,48

Le masse impulsive e convettive  $m_i$  e  $m_c$  si possono ottenere in forma tabellata come frazioni della massa liquida totale  $m$ .

La risposta sismica produce un taglio alla base la cui formula è:

$$Q = (m_i + m_w + m_r) S_e(T_{\text{imp}}) + m_c S_e(T_{\text{con}}) \quad [\text{A.37}]$$

dove  $m_w$  = la massa della parete del serbatoio, che può essere trascurata per un serbatoio in acciaio con pareti sottili;  $m_r$  = la massa della copertura del serbatoio;  $S_e(T_{\text{imp}})$  = l'accelerazione spettrale impulsiva, ottenuta da uno spettro di risposta elastico;  $S_e(T_{\text{con}})$  = l'accelerazione spettrale convettiva, ottenuta da uno spettro di risposta elastico smorzato dello 0,5%.

La formulazione precedente fornisce il valore dell'azione sismica in tabella senza però dare indicazione sulla variabilità spaziale della pressione impulsiva e convettiva. Per problemi legati alla modellazione nel programma ad elementi finiti, la forza sismica deve essere applicata come forza distribuita sugli elementi piani (shell) con modulo variabile con l'altezza e l'angolo e non come una sola forza concentrata. Per ottenere la distribuzione delle pressioni sono state utilizzate le indicazioni fornite nell'Appendice A dell'Eurocodice 8-4 e che sono riassunte nei successivi paragrafi.

La variazione spazio-temporale della componente impulsiva è data dall'espressione:

$$p_f(\zeta, \theta, t) = \rho H \psi \cos \theta \sum_{n=0}^{\infty} d_n \cos(v_n \zeta) A_{fn}(t) \quad (A.19)$$

in cui:

$$v_n = \frac{2n+1}{2}\pi; \quad \gamma = H/R \quad \text{e} \quad \xi = \frac{r}{R}, \quad \zeta = \frac{z}{H}$$

La dipendenza dal tempo della pressione  $p_f$  è data dalla funzione  $A_{fn}(t)$ , che è l'accelerazione di risposta (relativa alla base) di un oscillatore semplice di frequenza fondamentale e fattore di smorzamento pari a quelli del primo modo. Nella maggior parte dei casi dei serbatoi flessibili, la pressione  $p_f$  fornisce il contributo dominante alla pressione totale, dovuta al fatto che, mentre il termine rigido impulsivo varia con l'accelerazione del terreno  $a_g$ , il termine flessibile cambia con l'accelerazione di risposta che, dato il campo usuale di periodi dei sistemi serbatoio-fluido, è considerevolmente amplificata rispetto ad  $a_g$ . La distribuzione lungo l'altezza di  $p_f$  per la struttura in esame è rappresentata nella figura seguente per  $\xi = 1$  (alla parete del serbatoio) e diversi angoli  $\theta$ , ( $\theta=0$  per il piano che contiene il moto).

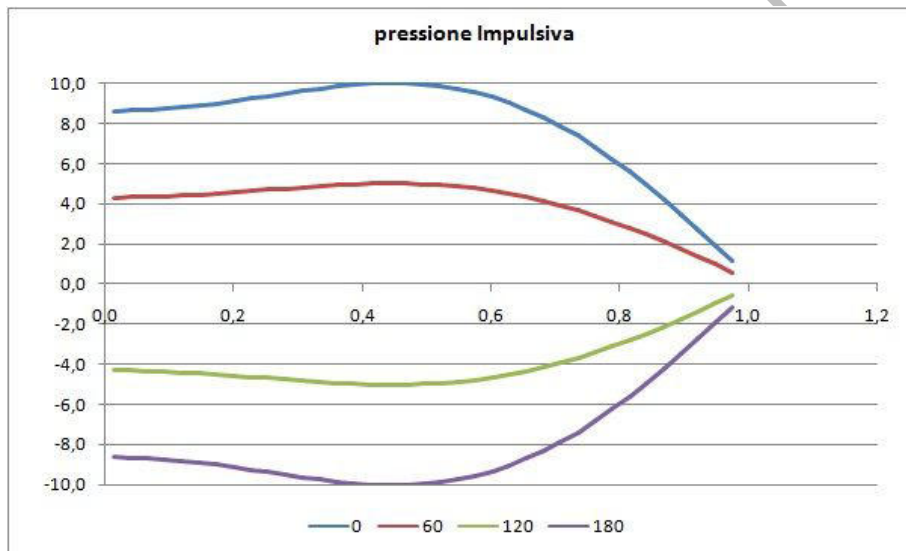


Figura 4: Andamento delle pressioni impulsive con l'altezza e con l'angolo rispetto all'azione sismica in kN/mq.

La variazione circonferenziale di  $p_f$  segue la funzione  $\cos\theta$ . Per valori crescenti di  $\gamma$ , la distribuzione di pressioni sul fondo al variare dell'asse radiale tende a divenire lineare.

La variazione spazio-temporale della componente convettiva è data dall'espressione:

$$p_c(\xi, \zeta, \theta, t) = \rho \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n \cosh(\lambda_n \gamma \zeta) J_1(\lambda_n \xi) \cos \theta A_n(t) \quad [A.7]$$

con

$$\psi_n = \frac{2R}{(\lambda_n^2 - 1) J_1(\lambda_n) \cosh(\lambda_n \gamma)} \quad [A.8]$$

$$\lambda_1 = 1,841, \lambda_2 = 5,331, \lambda_3 = 8,536,$$

$J_1$  = funzione di Bessel del primo ordine

$A_n(t)$  = accelerazione di risposta di un oscillatore ad un solo grado di libertà con frequenza  $\omega_{cn}$ :

$$\omega_{cn}^2 = g \frac{\lambda_n}{R} \tanh(\lambda_n \gamma) \quad [A.9]$$

L'equazione [A.7] mostra che la pressione totale è la combinazione di un numero infinito di termini modali, ciascuno corrispondente ad una forma d'onda del fluido in oscillazione. Nella maggior parte dei casi solo il primo modo di oscillazione o di sbattimento, e la corrispondente frequenza devono essere considerati per scopi di progetto. La distribuzione verticale delle pressioni di sbattimento al variare dell'angolo del serbatoio per la struttura in esame è mostrata nella figura in seguito riportata.

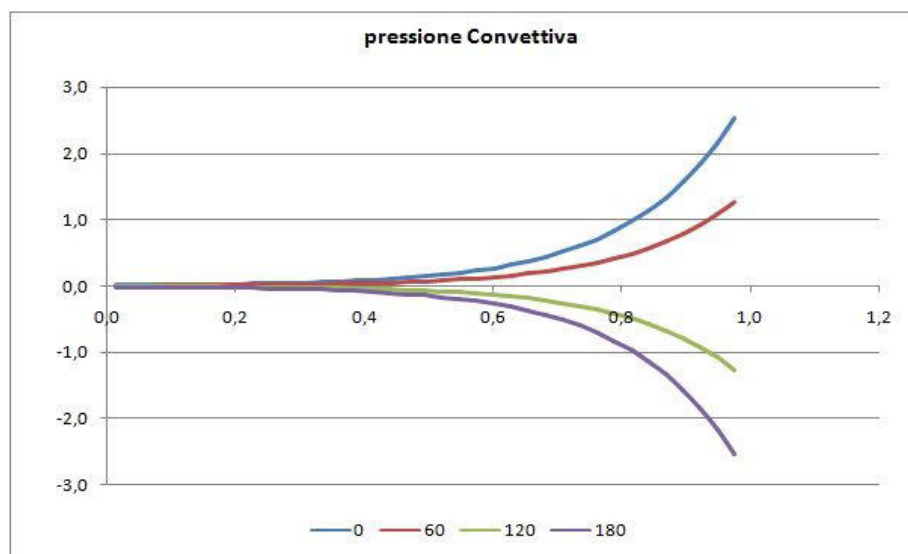


Figura 5: Andamento delle pressioni convettive con l'altezza e con l'angolo rispetto all'azione sismica in kN/mq.

## 6. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

I parametri geotecnici utilizzati per la verifica degli elementi strutturali sono quelli riportati nella relazione geologica e geotecnica alla quale si rimanda per maggiori dettagli.

La normativa che disciplina le costruzioni (D.M. 17-01-18) richiede la caratterizzazione del sottosuolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Per ottenere questo dato la normativa prevede il calcolo del parametro  $V_{s,30}$  indicando come metodologia di elezione la misura della velocità delle onde di taglio. Sulla base delle indicazioni riportate nella relazione geologico-geotecnica il sottosuolo può essere classificato come sottosuolo C e con categoria topografica T1.

## 7. MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI DEL SERBATOIO

La struttura è stata modellata tramite il programma ad elementi finiti SAP2000 v.19, che è un programma di calcolo strutturale che nella versione più estesa è dedicato al progetto degli elementi in cemento armato, acciaio o qualsiasi altro materiale. Il programma può utilizzare come analizzatore e

solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale elastoplastico. La struttura è stata modellata con il metodo degli elementi finiti (FEM) utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali.

In particolare tutte le lamiere che compongono le pareti verticali del serbatoio sono state schematizzate tramite elementi a 4 nodi di tipo SHELL che modellano sia il comportamento membranale (lastra) che flessionale (piastra). Tale elemento finito di tipo isoparametrico viene modellato con funzioni di forma polinomiale che rappresentano una soluzione congruente ma non esatta nello spirito del metodo FEM. Per questo tipo di elementi finiti la precisione dei risultati ottenuti dipende quindi dalla forma e dalla densità della MESH; si ricorda che il calcolo agli elementi finiti è per sua natura un calcolo approssimato. Il metodo utilizzato è efficiente per il calcolo degli spostamenti nodali ed è sempre rispettoso dell'equilibrio a livello nodale con le azioni esterne. La precisione nel calcolo delle tensioni è inferiore a quella ottenuta nel calcolo degli spostamenti, inoltre è fortemente dipendente dalla mesh. Le travi in acciaio che sostengono la copertura centrale del serbatoio sono state modellate tramite elementi FRAME a due nodi deformabili assialmente, a flessione e taglio utilizzando funzioni di forma cubiche di Hermite. Tale modello finito ha la caratteristica di fornire la soluzione esatta in campo elastico lineare per cui non necessita di ulteriori suddivisioni interne degli elementi strutturali. I collegamenti alla struttura di fondazione sono stati modellati attraverso vincoli puntuali in corrispondenza degli ancoranti metallici.

Le verifiche sono effettuate direttamente sullo stato tensionale ottenuto, utilizzando l'analisi delle sollecitazioni condotta in fase elastica lineare tenendo conto eventualmente degli effetti del secondo ordine. Le sollecitazioni derivanti dalle azioni sismiche sono state ottenute da analisi statiche lineari. I legami costitutivi utilizzati nelle analisi globali finalizzate al calcolo delle sollecitazioni sono elastico lineari. L'analisi della struttura è stata implementata attraverso un modello della struttura in base alle caratteristiche dei materiali e ai disegni costruttivi. Il modello realizzato è riportato nella figura seguente.

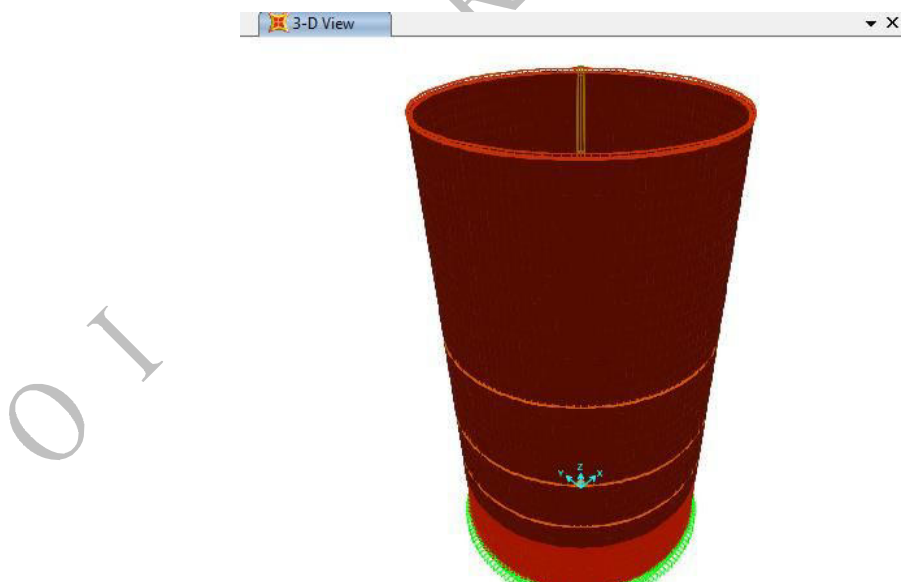


Figura 6: Vista 3D del modello FEM della struttura.

La struttura è stata caricata con il peso proprio funzione della geometria e del peso specifico del materiale utilizzato. La pressione idrostatica è stata modellata con una pressione ortogonale al piano medio delle shell, utilizzando la funzione joint pattern, con andamento lineare con la profondità considerando l'effettivo

peso proprio del fluido pari a  $10 \text{ kN/m}^3$ . L'azione sismica del serbatoio è stata applicata come forza per unità di superficie su ogni elemento shell con modulo variabile in funzione della coordinata verticale  $z$  dell'elemento e in base all'angolo circonferenziale  $\theta$  come descritto nel capitolo precedente.

## 8. METODO DI CALCOLO

Il guscio è stato progettato in modo da sostenere tutte le azioni e da soddisfare i seguenti requisiti:

- equilibrio complessivo;
- equilibrio fra azioni, forze interne e momenti (vedere sezioni 6 e 8 UNI EN 1993-1-6: 2007).

Per il calcolo delle azioni interne è stata utilizzata un'analisi elastica lineare (LA). La linearità della teoria deriva dai presupposti di una legge dei materiali elastica lineare e dalla teoria della piccola inflessione lineare. La teoria della piccola inflessione implica che la geometria presunta rimanga quella della struttura non deformata. Un'analisi LA soddisfa sia la compatibilità nelle deformazioni sia l'equilibrio. Il campo risultante della tensione membranale e di flessione soddisfa i requisiti delle tensioni primarie (LS1).

Non è stata utilizzata un'analisi mediante la teoria membranale poiché non sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- condizioni al contorno appropriate al trasferimento delle tensioni del guscio in reazioni dei vincoli senza effetti flessionali;
- carichi con distribuzione regolare (senza carichi concentrati localmente né in un punto).

Un'analisi mediante la teoria membranale non soddisferebbe, dunque, la compatibilità di deformazioni al contorno o fra segmenti di guscio sottoposti a un diverso carico.

### 8.1 STATO LIMITE DI PLASTICITÀ (LS1)

Lo stato limite di plasticità è assunto come la condizione in cui la capacità della struttura di resistere alle azioni è esaurita a causa dello snervamento del materiale, così come descritto nel capitolo 6 della norma UNI EN 1993-1-6: 2006. La resistenza offerta dalla struttura allo stato limite plastico può essere ricavata come il carico plastico di collasso ottenuto da un meccanismo basato sulla teoria dei piccoli spostamenti. Lo stato limite di rottura da trazione deve essere assunto come la condizione in cui sulla parete del guscio si verifica una rottura da trazione nella sezione lorda che porta alla separazione delle due parti del guscio. Sebbene il calcolo delle tensioni si basi su un'analisi elastica e quindi non possa prevedere con accuratezza lo stato limite plastico, esso può essere utilizzato, sulla base del teorema del minorante, per fornire una valutazione conservativa della resistenza plastica al collasso che serve per rappresentare lo stato limite plastico. Può essere utilizzato il criterio di snervamento di Ilyushin, il quale si avvicina maggiormente al vero stato plastico di collasso rispetto a una semplice valutazione elastica di tensione. Il campo bidimensionale di tensioni primarie che ne deriva può essere rappresentato dalla tensione equivalente di von Mises di progetto:

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,d}^2 + \sigma_{\theta,d}^2 - \sigma_{x,d}\sigma_{\theta,d} + 3(\tau_{x\theta,d}^2 + \tau_{xn,d}^2 + \tau_{\theta n,d}^2)} \quad (6.2)$$

in cui:

$$\sigma_{x,d} = \frac{n_x}{t} \pm \frac{m_x}{t^2/4}, \quad \sigma_{\theta,d} = \frac{n_{\theta}}{t} \pm \frac{m_{\theta}}{t^2/4}, \quad (6.3)$$

$$\tau_{x\theta,d} = \frac{n_{x\theta}}{t} \pm \frac{m_{x\theta}}{t^2/4}, \quad \tau_{xn,d} = \frac{q_{xn}}{t}, \quad \tau_{\theta n,d} = \frac{q_{\theta n}}{t^2}, \quad (6.4)$$



Le formule riportate sopra forniscono una tensione equivalente conservativa semplificata ai fini progettuali, che viene confrontata con la tensione resistente di progetto degli elementi strutturali.

Per il calcolo della capacità degli elementi si impiegano le proprietà dei materiali esistenti direttamente ottenute dai disegni costruttivi considerando i corrispondenti coefficienti parziali di sicurezza ( $\gamma_s$ ). Si riportano nella tabella seguente le caratteristiche dei materiali utilizzate nelle verifiche.

Tabella 1. Caratteristiche dei materiali utilizzate nelle verifiche.

Tipologia	$f_{yk}$ (MPa)	$f_{yu}$ (MPa)	$\gamma_s$	$f_{yd}$ (MPa)
Lamiera	250	330	1,05	238,10

## 8.2 STATO LIMITE DI INSTABILITÀ (LS3)

La verifica più penalizzante per gli elementi a guscio che compongono la struttura del serbatoio è la verifica per stato limite di instabilità, descritta nel capitolo 8 della norma EN 1993-1-6: 2007 e le cui formule per il carico sono riportate nell'appendice D della stessa. I valori di progetto delle azioni sono calcolati sulla base di tutte le combinazioni pertinenti di azioni che causano tensioni membranali di compressione oppure tensioni membranali di taglio nella parete del guscio (definite in accordo con la figura seguente).

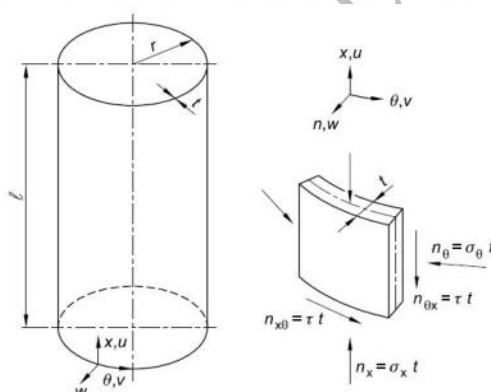


Figura 7. Geometria del cilindro, tensioni membranali e risultanti delle tensioni.

Per lo stato limite di instabilità, un'attenzione particolare è stata rivolta alle condizioni al contorno relative agli spostamenti incrementali di instabilità (rispetto agli spostamenti pre-instabilità). Nelle verifiche utilizzate per ciascun elemento sono state considerate le rispettive condizioni al contorno sulla base dei dettagli costruttivi, considerando il grado di vincolo della struttura e la presenza di eventuali irrigidimenti circolarizionali per la struttura. Esempi di condizioni agli estremi pertinenti e riportate in normativa sono illustrati in Figura 8.

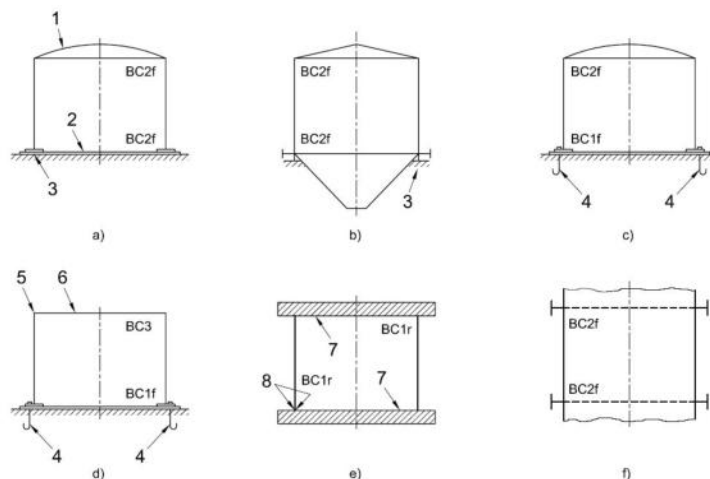


Figura 8. Esempi schematici di condizioni al contorno per lo stato limite LS3.

Poiché è possibile che il valore massimo di una qualsiasi delle tensioni membranali in un guscio cilindrico si verifichi in una zona al contorno di lunghezza  $l_R$  adiacente ad un estremo del cilindro per effetti flessionali, l'influenza delle tensioni flessionali sulla resistenza all'instabilità è stata trascurata adottando per il controllo dello stato limite di instabilità il valore massimo di tensione che si verifica sulla lunghezza libera rimanente  $l_f$  (si veda Figura 9), calcolata come:

$$l_f = L - 2l_R \quad l_R = 0,1L$$

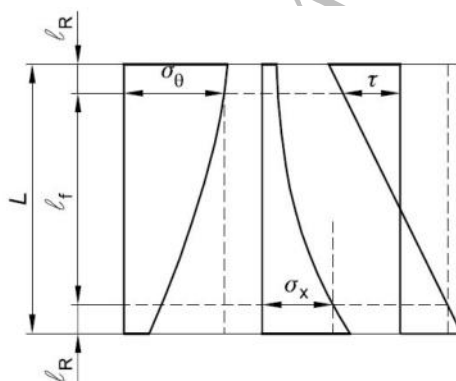


Figura 9. Lunghezza libera per la verifica delle tensioni di instabilità.

Sebbene l'instabilità non sia un fenomeno di rottura esclusivamente avviato dalle tensioni, lo stato limite di instabilità si intende garantito se vengono limitati i valori di progetto delle tensioni membranali. In funzione della situazione di carico e di tensione, è stato effettuato uno o più dei seguenti controlli per i valori chiave di singole componenti di tensione membranale:

$$\sigma_{xE d} \leq \sigma_{xR d}, \quad \sigma_{\theta E d} \leq \sigma_{\theta R d}, \quad \tau_{E d} \leq \tau_{R d}. \quad (8.18)$$

I valori di progetto delle tensioni  $\sigma_{xE d}$ ,  $\sigma_{\theta E d}$  e  $\tau_{xE d}$  sono stati valutati come i valori di tensioni membranali di taglio e di compressione ottenuti da un'analisi lineare del guscio (LA). I valori chiave di tensioni membranali sono stati valutati come il valore massimo di ogni tensione in quella coordinata assiale della struttura. Se, sotto l'effetto delle azioni considerate, è presente più di una delle tre componenti di tensione membranale relative all'instabilità, è stato effettuato il seguente controllo di interazione per lo stato combinato di tensioni membranali:



$$\left( \frac{\sigma_{x,Ed}}{\sigma_{x,Rd}} \right)^{k_x} - k_i \left( \frac{\sigma_{x,Ed}}{\sigma_{x,Rd}} \right) \left( \frac{\sigma_{\theta,Ed}}{\sigma_{\theta,Rd}} \right) + \left( \frac{\sigma_{\theta,Ed}}{\sigma_{\theta,Rd}} \right)^{k_\theta} + \left( \frac{\tau_{x\theta,Ed}}{\tau_{x\theta,Rd}} \right)^{k_\tau} \leq 1 \quad \dots (8.19)$$

dove  $\sigma_{x,Ed}$ ,  $\sigma_{\theta,Ed}$  e  $\tau_{x\theta,Ed}$  sono i gruppi relativi all'interazione dei valori significativi di tensioni membranali di compressione e di taglio nel guscio e  $k_x$ ,  $k_\theta$  e  $k_\tau$  sono dati nell'Appendice D dell'EC3-1-6: 2007, secondo le formule riportate nel seguito:

$$k_x = 1,25 + 0,75 \chi_x \quad \dots (D.46)$$

$$k_\theta = 1,25 + 0,75 \chi_\theta \quad \dots (D.47)$$

$$k_\tau = 1,75 + 0,25 \chi_\tau \quad \dots (D.48)$$

$$k_i = (\chi_x \chi_\theta)^2 \quad \dots (D.49)$$

Dove i coefficienti  $\chi_x$ ,  $\chi_\theta$  e  $\chi_t$  sono i fattori di riduzione definiti nel seguito.

Le tensioni caratteristiche resistenti di instabilità determinate di seguito comprendono le imperfezioni basate su tolleranze geometriche che si prevede siano state soddisfatte durante l'esecuzione. La classe di qualità per le tolleranze di fabbricazione può essere scelta come Classe A, Classe B o Classe C in accordo con le definizioni di tolleranza proposta dalla normativa. Per la struttura in esame è stata supposta una classe di qualità per la tolleranza di fabbricazione A, considerata come eccellente; ovviamente andranno verificate tramite una serie di misure in situ che le tolleranze minime indicate ai punti 8.4.2, 8.4.3 e 8.4.4 siano soddisfatte.

La resistenza all'instabilità è rappresentata dalle tensioni di instabilità, che sono ottenute dalle equazioni:

$$\sigma_{xRd} = \sigma_{xRk} / \gamma_M, \quad \sigma_{\theta Rd} = \sigma_{\theta Rk} / \gamma_M, \quad \tau_{x\theta Rd} = \tau_{x\theta Rk} / \gamma_M \quad (8.11)$$

Il fattore parziale di resistenza  $\gamma_M$  è stato valutato pari a 1.05 come riportato nella parte applicativa pertinente della norma. Le resistenze caratteristiche all'instabilità sono state ottenute moltiplicando la resistenza caratteristica allo snervamento per i fattori di riduzione:

$$\sigma_{xRk} = \chi_x f_{y,k}, \quad \sigma_{\theta Rk} = \chi_\theta f_{y,k}, \quad \tau_{x\theta Rk} = \chi_t f_{y,k} / \sqrt{3} \quad (8.12)$$

I fattori di riduzione  $\chi_x$ ,  $\chi_\theta$  e  $\chi_t$  sono stati determinati come funzione della snellezza relativa del guscio  $\bar{\lambda}$  dalle equazioni:

$$\chi = 1 \quad \text{quando} \quad \bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0 \quad (8.13)$$

$$\chi = 1 - \beta \left( \frac{\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right)^\eta \quad \text{quando} \quad \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda} < \bar{\lambda}_p \quad (8.14)$$

$$\chi = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}^2} \quad \text{quando} \quad \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda} \quad (8.15)$$

in cui  $\alpha$  è il fattore elastico di riduzione delle imperfezioni,  $\beta$  è il fattore plastico di campo,  $\eta$  è l'esponente di interazione e  $\bar{\lambda}_0$  è la snellezza relativa di limite di schiacciamento, tutti da prendere dall'appendice D. Il valore di snellezza relativa per il limite plastico  $\bar{\lambda}_p$  è stato determinato dall'equazione:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha}{1-\beta}}$$

I parametri di snellezza relativa del guscio per diverse componenti di tensione sono stati determinati da:

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{f_{y,k}/\sigma_{xRc}}, \quad \bar{\lambda}_\theta = \sqrt{f_{y,k}/\sigma_{\theta Rc}}, \quad \bar{\lambda}_t = \sqrt{(f_{y,k}/\sqrt{3})/\tau_{Rc}}, \quad (8.17)$$

Le tensioni critiche di instabilità  $\sigma_{xRc}$ ,  $\sigma_{\theta Rc}$  e  $\tau_{Rc}$  sono state ottenute mediante le formule pertinenti contenute nell'appendice D dell'EC3-1-6: 2007. Per il calcolo delle tensioni critiche sono stati utilizzati i parametri noti dai disegni costruttivi, quali spessori delle lamiere, raggi della superficie intermedia del cilindro, lunghezza del cilindro fra contorni definiti e ampiezza caratteristica dell'imperfezione calcolata in base alla classe di qualità della tolleranza di fabbricazione. L'appendice D fornisce le indicazioni per calcolare le tensioni critiche longitudinali di instabilità, le tensioni critiche circonferenziali di instabilità e le tensioni critiche di instabilità a taglio per gusci cilindrici non irrigiditi con parete di spessore costante (D.1). Le formule proposte nell'appendice D.1 sono state utilizzate per calcolare le tensioni critiche del serbatoio tenendo in considerazione che la presenza degli irrigidimenti ha ridotto la lunghezza di calcolo della lamiera all'interasse tra gli irrigidimenti, salvo quanto detto in precedenza per considerare gli effetti di contorno. In tutte le verifiche la lunghezza del segmento di guscio è caratterizzata in termini di parametro dimensionale di lunghezza  $\omega$ :

$$\omega = \frac{\ell}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{\ell}{\sqrt{rt}}$$

Pertanto il calcolo della tensione critica è risultato funzione della lunghezza dell'elemento e delle condizioni di vincolo. Per esempio, la tensione critica longitudinale di instabilità vale:

$$\sigma_{xRc} = 0,605 E C_x \frac{t}{r} \quad (D.2)$$

dove il coefficiente  $C_x$  dipende direttamente dal parametro adimensionale  $\omega$  e per cilindri molto lunghi risulta essere influenzato anche delle condizioni al contorno.

Nell'allegato è riportato il foglio di calcolo utilizzato per il calcolo delle tensioni resistenti della struttura.

## 9. VERIFICHE DI SICUREZZA SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Le verifiche di sicurezza sono state condotte prendendo in considerazione le sollecitazioni sugli elementi shell calcolate attraverso il programma ad elementi finiti valutando per la resistenza dell'elemento a compressione l'effetto di riduzione causato dal fenomeno di instabilità della lamiera e l'effetto di combinazione delle tensioni di taglio, di compressione circonferenziale e longitudinale. La verifica è stata effettuata utilizzando la UNI EN 1993-1-6: 2007. Del serbatoio oggetto di analisi sono state esportate le maggiori sollecitazioni agenti e confrontate con le tensioni resistenti di progetto, sia per lo stato limite di plasticità (LS1) sia per lo stato limite di instabilità (LS3). La verifica è stata effettuata in prossimità della sezione di base dove sono massimizzate le sollecitazioni indotte dal sisma e dalla spinta idrostatica dell'acqua.

Nelle figure successive sono riportati, a titolo esemplificativo, l'andamento delle tensioni longitudinali o meridionali ( $\sigma_{11}$ ) e delle tensioni circonferenziali ( $\sigma_{22}$ ) per la combinazione sismica.

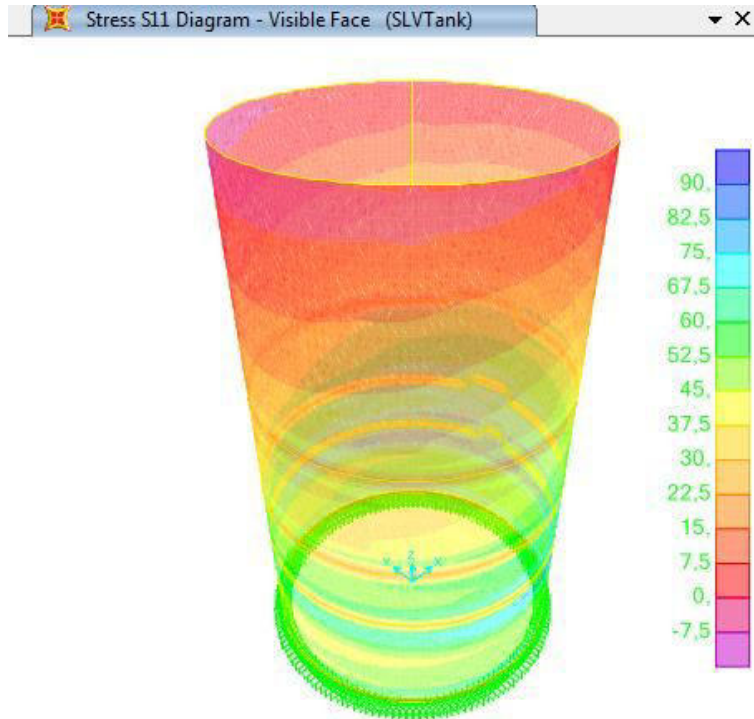


Figura 10. Andamento delle tensioni longitudinali o meridionali ( $\sigma_{11}$ ) per la combinazione sismica [MPa].

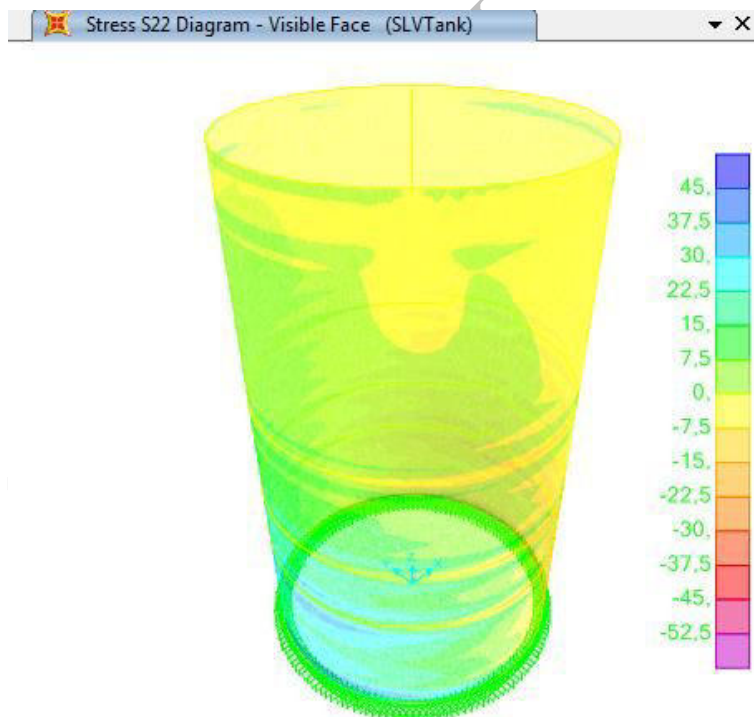


Figura 11. Andamento delle tensioni circonferenziali ( $\sigma_{22}$ ) per la combinazione sismica [MPa].

Per comprendere al meglio lo stato tensionale è stato esportato dal modello anche la deformata in particolari sezioni di interesse della struttura nella combinazione sismica che aiuta a capire come le sollecitazioni esterne creino uno stato deformativo direttamente collegato con lo stato di sollecitazione interna.

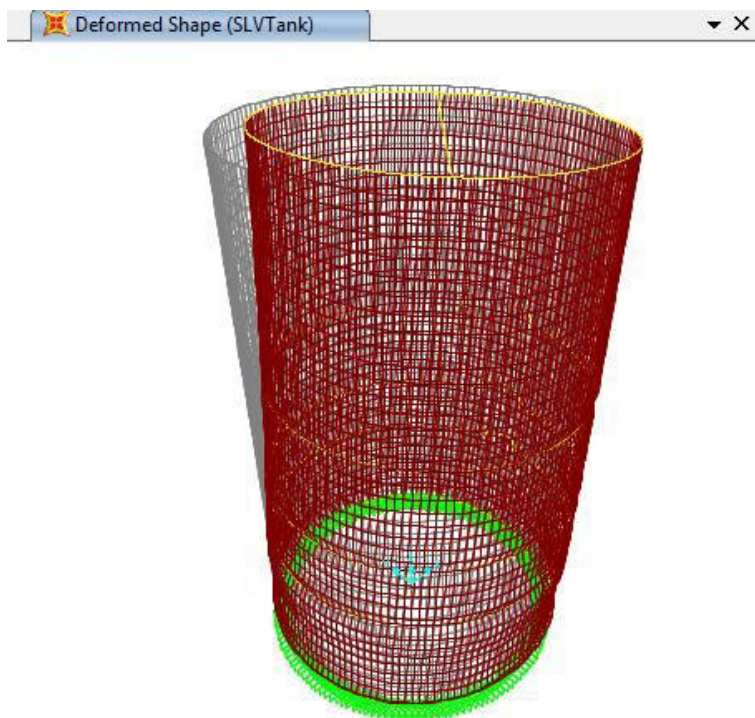


Figura 12. Stato deformativo del serbatoio per la combinazione sismica.

### 9.1 LIMITAZIONE DELLE TENSIONI (VERIFICA RESISTENZA PLASTICA – LS1 E VERIFICA RESISTENZA ALL'INSTABILITÀ – LS3)

Nella tabella che segue sono confrontate schematicamente le verifiche delle tensioni (SL1) e di resistenza all'instabilità (SL3) per le diverse combinazioni di sollecitazione nelle lamiere presenti nella struttura in esame sulla base delle considerazioni sopra svolte. Per la principale sezione di analisi sono state esportate le sollecitazioni ottenute dal modello per gli elementi posti a differente altezza, partendo dal fondo del serbatoio fino al limite superiore.

Come si evince dalle tabelle in seguito riportate in tutte le condizioni di carico considerate non si supera la resistenza massima delle lamiere. Lo stato limite di plasticità LS1 non risulta quindi determinante ai fini delle verifiche strutturali del serbatoio. Si può notare inoltre che le verifiche all'instabilità (LS3) risultano soddisfatte sia per le condizioni statiche che per le condizioni sismiche. Va evidenziato come la verifica di instabilità per tensioni è governata soprattutto dal parametro di instabilità critica a taglio ( $\tau_{RC}$ ), che dipende parzialmente dalla distanza tra gli irrigidimenti (in modo lineare) ma è fortemente dipendente dal rapporto  $t/r$  (spessore/raggio). Le maggiori tensioni critiche si manifestano in prossimità dei punti di ancoraggio.

Tabella 2. Verifiche per lo stato limite di plasticità LS1 e resistenza all'instabilità SL3

Elemento: 179

Fasciame: 1

Parametri							
Comuni		Compressioni meridionali		Compressioni circonferenziali		Taglio	
z	298,846 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-1,14 [MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	89,27 [MPa]	$\tau_{Ed}$	-0,03 [MPa]
$\theta$	1,48353 [°]	$\lambda_0$	0,20	$\lambda_0$	0,40	$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,84	$\lambda_p$	0,84	$\lambda_p$	0,84
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,30	$\lambda$	5,06	$\lambda$	1,95
$t_m$	2,66667 [mm]	$\alpha$	0,56	$\alpha$	0,75	$\alpha$	0,75
$\Delta H$	1800 [mm]	$\beta$	0,60	$\beta$	0,60	$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00	$\eta$	1,00	$\eta$	1,00
		$\omega$	23,01	$\omega$	23,01	$\omega$	23,01
		$C_x$	1,00	$C_{\theta}$	1,00	$C_{\tau}$	1,00
		$C_{xb}$	1,00	$\omega/C_{\theta}$	23,01		
		$p_{res}$	0,07 [MPa]	$C_{\theta,s}$	1,04		
		$p^*$	0,37 [MPa]				
		$Dw_k$	1,96				
		Q	40				
		$\chi_x$	0,33	$\chi_{\theta}$	0,03	$\chi_{\tau}$	0,20
		$\sigma_{xRc}$	147,63 [MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	9,76 [MPa]	$\tau_{Rc}$	38,15 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	83,08 [MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	7,32 [MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	28,61 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	79,12 [MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	6,97 [MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	27,25 [MPa]
		$k_x$	1,50	$k_{\theta}$	1,27	$k_{\tau}$	1,80
				$k_i$	9,5E-05		
Verifiche							
SL1	$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{\theta,Ed}^2 + \sigma_{x,Ed} \sigma_{\theta,Ed} + 3 \tau_{x\theta,Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$					37,7%	si
SL3	$(\sigma_{x,Ed} / \sigma_{x,Rd})^{k_x} - k_i (\sigma_{x,Ed} / \sigma_{x,Rd}) (\sigma_{q,Ed} / \sigma_{q,Rd}) + (\sigma_{q,Ed} / \sigma_{\theta,Rd})^{k_{\theta}} + (\tau_{x\theta,Ed} / \tau_{x\theta,Rd})^{k_{\tau}} =$					0,2%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 35

Fasciame: 1

Parametri							
Comuni		Compressioni meridionali		Compressioni circonferenziali		Taglio	
z	99,6154 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-2,49 [MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	36,81 [MPa]	$\tau_{Ed}$	-21,16 [MPa]
$\theta$	1,48353 [°]	$\lambda_0$	0,20	$\lambda_0$	0,40	$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,84	$\lambda_p$	0,84	$\lambda_p$	0,84
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,30	$\lambda$	5,06	$\lambda$	1,95
$t_m$	2,66667 [mm]	$\alpha$	0,57	$\alpha$	0,75	$\alpha$	0,75
$\Delta H$	1800 [mm]	$\beta$	0,60	$\beta$	0,60	$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00	$\eta$	1,00	$\eta$	1,00
		$\omega$	23,01	$\omega$	23,01	$\omega$	23,01
		$C_x$	1,00	$C_{\theta}$	1,00	$C_{\tau}$	1,00
		$C_{xb}$	1,00	$\omega/C_{\theta}$	23,01		
		$p_{res}$	0,07 [MPa]	$C_{\theta,s}$	1,04		
		$p^*$	0,38 [MPa]				
		$Dw_k$	1,96				
		Q	40				
		$\chi_x$	0,34	$\chi_{\theta}$	0,03	$\chi_{\tau}$	0,20
		$\sigma_{xRc}$	147,63 [MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	9,76 [MPa]	$\tau_{Rc}$	38,15 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	83,77 [MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	7,32 [MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	28,61 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	79,78 [MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	6,97 [MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	27,25 [MPa]
		$k_x$	1,50	$k_{\theta}$	1,27	$k_{\tau}$	1,80
				$k_i$	9,6E-05		
Verifiche							
SL1	$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{\theta,Ed}^2 + \sigma_{x,Ed} \sigma_{\theta,Ed} + 3 \tau_{x\theta,Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$					22,2%	si
SL3	$(\sigma_{x,Ed} / \sigma_{x,Rd})^{k_x} - k_i (\sigma_{x,Ed} / \sigma_{x,Rd}) (\sigma_{q,Ed} / \sigma_{q,Rd}) + (\sigma_{q,Ed} / \sigma_{\theta,Rd})^{k_{\theta}} + (\tau_{x\theta,Ed} / \tau_{x\theta,Rd})^{k_{\tau}} =$					64,0%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 1043

Fasciame: 2

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	1494,23 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-1,33	[MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	108,79	[MPa]	$\tau_{Ed}$	-0,05 [MPa]
$\theta$	1,48353 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,84		$\lambda_p$	0,84		$\lambda_p$	0,84
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,30		$\lambda$	5,06		$\lambda$	1,95
$t_m$	2,66667 [mm]	$\alpha$	0,60		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	1800 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	23,01		$\omega$	23,01		$\omega$	23,01
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	23,01			
		$p_{res}$	0,06	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,04			
		$p^*$	0,46	[MPa]					
		$Dw_k$	1,96						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,36		$\chi_\theta$	0,03		$\chi_\tau$	0,20
		$\sigma_{xRc}$	147,63	[MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	9,76	[MPa]	$\tau_{Rc}$	38,15 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	88,92	[MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	7,32	[MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	28,61 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	84,68	[MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	6,97	[MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	27,25 [MPa]
		$k_x$	1,52		$k_\theta$	1,27		$k_\tau$	1,80
					$k_i$	0,00011			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{xEd}^2 + \sigma_{\theta Ed}^2 + \sigma_{xEd} \sigma_{\theta Ed} + 3 \tau_{\theta Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$							46,0%	si
SL3	$(\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd})^{k_x} - k_i (\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd}) (\sigma_{qEd}/\sigma_{qRd}) + (\sigma_{qEd}/\sigma_{\theta Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta Ed}/\tau_{\theta Rd})^{k_\tau} =$							0,2%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 899

Fasciame: 2

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	1295 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-2,61	[MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	64,86	[MPa]	$\tau_{Ed}$	-25,46 [MPa]
$\theta$	1,48353 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,84		$\lambda_p$	0,84		$\lambda_p$	0,84
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,30		$\lambda$	5,06		$\lambda$	1,95
$t_m$	2,66667 [mm]	$\alpha$	0,61		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	1800 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	23,01		$\omega$	23,01		$\omega$	23,01
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	23,01			
		$p_{res}$	0,06	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,04			
		$p^*$	0,48	[MPa]					
		$Dw_k$	1,96						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,36		$\chi_\theta$	0,03		$\chi_\tau$	0,20
		$\sigma_{xRc}$	147,63	[MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	9,76	[MPa]	$\tau_{Rc}$	38,15 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	89,77	[MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	7,32	[MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	28,61 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	85,50	[MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	6,97	[MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	27,25 [MPa]
		$k_x$	1,52		$k_\theta$	1,27		$k_\tau$	1,80
					$k_i$	0,00011			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{xEd}^2 + \sigma_{\theta Ed}^2 + \sigma_{xEd} \sigma_{\theta Ed} + 3 \tau_{\theta Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$							33,4%	si
SL3	$(\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd})^{k_x} - k_i (\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd}) (\sigma_{qEd}/\sigma_{qRd}) + (\sigma_{qEd}/\sigma_{\theta Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta Ed}/\tau_{\theta Rd})^{k_\tau} =$							89,0%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0



Elemento: 1586

Fasciame: 3

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	2291,15 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-1,35	[MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	93,10	[MPa]	$\tau_{Ed}$	-0,11 [MPa]
$\theta$	0,04363 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,50		$\lambda$	4,51		$\lambda$	2,01
$t_m$	2 [mm]	$\alpha$	0,60		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	1000 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	14,76		$\omega$	14,76		$\omega$	14,76
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	14,76			
		$p_{res}$	0,05	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,08			
		$p^*$	0,53	[MPa]					
		$Dw_k$	1,69						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,27		$\chi_\theta$	0,04		$\chi_\tau$	0,19
		$\sigma_{xRc}$	110,72	[MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	12,31	[MPa]	$\tau_{Rc}$	35,73 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	66,57	[MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	9,23	[MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	26,79 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	63,40	[MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	8,79	[MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	25,52 [MPa]
		$k_x$	1,45		$k_\theta$	1,28		$k_\tau$	1,80
					$k_i$	9,7E-05			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{xEd}^2 + \sigma_{\theta Ed}^2 + \sigma_{xEd} \sigma_{\theta Ed} + 3 \tau_{\theta Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$							39,4%	si
SL3	$(\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd})^{k_x} - k_i (\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd}) (\sigma_{qEd}/\sigma_{qRd}) + (\sigma_{qEd}/\sigma_{\theta Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta Ed}/\tau_{\theta Rd})^{k_\tau} =$							0,4%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 2052

Fasciame: 3

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	2888,85 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-0,77	[MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	42,44	[MPa]	$\tau_{Ed}$	-18,13 [MPa]
$\theta$	1,52716 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,50		$\lambda$	5,92		$\lambda$	2,26
$t_m$	2 [mm]	$\alpha$	0,58		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	1600 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	23,62		$\omega$	23,62		$\omega$	23,62
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	23,62			
		$p_{res}$	0,05	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,04			
		$p^*$	0,47	[MPa]					
		$Dw_k$	1,69						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,26		$\chi_\theta$	0,02		$\chi_\tau$	0,15
		$\sigma_{xRc}$	110,72	[MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	7,13	[MPa]	$\tau_{Rc}$	28,24 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	64,08	[MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	5,35	[MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	21,18 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	61,03	[MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	5,09	[MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	20,17 [MPa]
		$k_x$	1,44		$k_\theta$	1,27		$k_\tau$	1,79
					$k_i$	3E-05			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{xEd}^2 + \sigma_{\theta Ed}^2 + \sigma_{xEd} \sigma_{\theta Ed} + 3 \tau_{\theta Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$							22,3%	si
SL3	$(\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd})^{k_x} - k_i (\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd}) (\sigma_{qEd}/\sigma_{qRd}) + (\sigma_{qEd}/\sigma_{\theta Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta Ed}/\tau_{\theta Rd})^{k_\tau} =$							82,8%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 2306

Fasciame: 4

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	3287,31 [mm]	$\sigma_{x,Ed}$	-1,16	[MPa]	$\sigma_{\theta,Ed}$	75,41	[MPa]	$\tau_{Ed}$	-0,02 [MPa]
$\theta$	0,04363 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,50		$\lambda$	5,92		$\lambda$	2,26
$t_m$	2 [mm]	$\alpha$	0,56		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	1600 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	23,62		$\omega$	23,62		$\omega$	23,62
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	23,62			
		$p_{res}$	0,04	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,04			
		$p^*$	0,43	[MPa]					
		$Dw_k$	1,69						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,25		$\chi_\theta$	0,02		$\chi_\tau$	0,15
		$\sigma_{x,Rc}$	110,72	[MPa]	$\sigma_{\theta,Rc}$	7,13	[MPa]	$\tau_{Rc}$	28,24 [MPa]
		$\sigma_{x,Rk}$	62,26	[MPa]	$\sigma_{\theta,Rk}$	5,35	[MPa]	$\tau_{\theta,Rk}$	21,18 [MPa]
		$\sigma_{x,Rd}$	59,29	[MPa]	$\sigma_{\theta,Rd}$	5,09	[MPa]	$\tau_{\theta,Rd}$	20,17 [MPa]
		$k_x$	1,44		$k_\theta$	1,27		$k_\tau$	1,79
					$k_i$	2,8E-05			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{\theta,Ed}^2 + \sigma_{x,Ed} \sigma_{\theta,Ed} + 3 \tau_{\theta,Ed})^{0,5} / f_{yd} =$							31,9%	si
SL3	$(\sigma_{x,Ed}/\sigma_{x,Rd})^{k_x} - k_i (\sigma_{x,Ed}/\sigma_{x,Rd}) (\sigma_{q,Ed}/\sigma_{q,Rd}) + (\sigma_{q,Ed}/\sigma_{\theta,Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta,Ed}/\tau_{\theta,Rd})^{k_\tau} =$							0,4%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 2340

Fasciame: 4

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	3287,31 [mm]	$\sigma_{x,Ed}$	-0,67	[MPa]	$\sigma_{\theta,Ed}$	47,69	[MPa]	$\tau_{Ed}$	-16,13 [MPa]
$\theta$	1,52716 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,50		$\lambda$	5,92		$\lambda$	2,26
$t_m$	2 [mm]	$\alpha$	0,56		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	1600 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	23,62		$\omega$	23,62		$\omega$	23,62
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	23,62			
		$p_{res}$	0,04	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,04			
		$p^*$	0,43	[MPa]					
		$Dw_k$	1,69						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,25		$\chi_\theta$	0,02		$\chi_\tau$	0,15
		$\sigma_{x,Rc}$	110,72	[MPa]	$\sigma_{\theta,Rc}$	7,13	[MPa]	$\tau_{Rc}$	28,24 [MPa]
		$\sigma_{x,Rk}$	62,26	[MPa]	$\sigma_{\theta,Rk}$	5,35	[MPa]	$\tau_{\theta,Rk}$	21,18 [MPa]
		$\sigma_{x,Rd}$	59,29	[MPa]	$\sigma_{\theta,Rd}$	5,09	[MPa]	$\tau_{\theta,Rd}$	20,17 [MPa]
		$k_x$	1,44		$k_\theta$	1,27		$k_\tau$	1,79
					$k_i$	2,8E-05			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{\theta,Ed}^2 + \sigma_{x,Ed} \sigma_{\theta,Ed} + 3 \tau_{\theta,Ed})^{0,5} / f_{yd} =$							23,3%	si
SL3	$(\sigma_{x,Ed}/\sigma_{x,Rd})^{k_x} - k_i (\sigma_{x,Ed}/\sigma_{x,Rd}) (\sigma_{q,Ed}/\sigma_{q,Rd}) + (\sigma_{q,Ed}/\sigma_{\theta,Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta,Ed}/\tau_{\theta,Rd})^{k_\tau} =$							67,2%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0



Elemento: 3312

Fasciame: 5

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	4482,69 [mm]	$\sigma_{xEd}$	1,00	[MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	51,96	[MPa]	$\tau_{Ed}$	0,94 [MPa]
$\theta$	6,23955 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,50		$\lambda$	8,59		$\lambda$	2,72
$t_m$	2 [mm]	$\alpha$	0,50		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	3370 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	49,74			
		$p_{res}$	0,03	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,02			
		$p^*$	0,31	[MPa]					
		$Dw_k$	1,69						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,22		$\chi_\theta$	0,01		$\chi_\tau$	0,10
		$\sigma_{xRc}$	110,72	[MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	3,38	[MPa]	$\tau_{Rc}$	19,46 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	55,82	[MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	2,54	[MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	14,60 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	53,16	[MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	2,42	[MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	13,90 [MPa]
		$k_x$	1,42		$k_\theta$	1,26		$k_\tau$	1,78
					$k_i$	5,1E-06			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{xEd}^2 + \sigma_{\theta Ed}^2 + \sigma_{xEd} \sigma_{\theta Ed} + 3 \tau_{\theta Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$							21,6%	si
SL3	$(\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd})^{k_x} - k_i (\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd}) (\sigma_{qEd}/\sigma_{qRd}) + (\sigma_{qEd}/\sigma_{\theta Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta Ed}/\tau_{\theta Rd})^{k_\tau} =$							0,8%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 3204

Fasciame: 5

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	4482,69 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-0,42	[MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	27,92	[MPa]	$\tau_{Ed}$	-10,15 [MPa]
$\theta$	1,52716 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,50		$\lambda$	8,59		$\lambda$	2,72
$t_m$	2 [mm]	$\alpha$	0,50		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	3370 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	49,74			
		$p_{res}$	0,03	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,02			
		$p^*$	0,31	[MPa]					
		$Dw_k$	1,69						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,22		$\chi_\theta$	0,01		$\chi_\tau$	0,10
		$\sigma_{xRc}$	110,72	[MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	3,38	[MPa]	$\tau_{Rc}$	19,46 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	55,82	[MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	2,54	[MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	14,60 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	53,16	[MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	2,42	[MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	13,90 [MPa]
		$k_x$	1,42		$k_\theta$	1,26		$k_\tau$	1,78
					$k_i$	5,1E-06			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{xEd}^2 + \sigma_{\theta Ed}^2 + \sigma_{xEd} \sigma_{\theta Ed} + 3 \tau_{\theta Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$							13,9%	si
SL3	$(\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd})^{k_x} - k_i (\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd}) (\sigma_{qEd}/\sigma_{qRd}) + (\sigma_{qEd}/\sigma_{\theta Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta Ed}/\tau_{\theta Rd})^{k_\tau} =$							57,4%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 3923

Fasciame: 6

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	5478,85 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-0,70	[MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	34,96	[MPa]	$\tau_{Ed}$	-0,02 [MPa]
$\theta$	1,48353 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,50		$\lambda$	8,59		$\lambda$	2,72
$t_m$	2 [mm]	$\alpha$	0,44		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	3370 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	49,74			
		$p_{res}$	0,02	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,02			
		$p^*$	0,21	[MPa]					
		$Dw_k$	1,69						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,20		$\chi_\theta$	0,01		$\chi_\tau$	0,10
		$\sigma_{xRc}$	110,72	[MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	3,38	[MPa]	$\tau_{Rc}$	19,46 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	48,98	[MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	2,54	[MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	14,60 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	46,65	[MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	2,42	[MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	13,90 [MPa]
		$k_x$	1,40		$k_\theta$	1,26		$k_\tau$	1,78
					$k_i$	4E-06			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{xEd}^2 + \sigma_{\theta Ed}^2 + \sigma_{xEd} \sigma_{\theta Ed} + 3 \tau_{\theta Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$							14,8%	si
SL3	$(\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd})^{k_x} - k_i (\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd}) (\sigma_{qEd}/\sigma_{qRd}) + (\sigma_{qEd}/\sigma_{\theta Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta Ed}/\tau_{\theta Rd})^{k_\tau} =$							0,3%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 3924

Fasciame: 6

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	5478,85 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-0,27	[MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	23,50	[MPa]	$\tau_{Ed}$	-5,74 [MPa]
$\theta$	1,52716 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,50		$\lambda$	8,59		$\lambda$	2,72
$t_m$	2 [mm]	$\alpha$	0,44		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	3370 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	49,74			
		$p_{res}$	0,02	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,02			
		$p^*$	0,21	[MPa]					
		$Dw_k$	1,69						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,20		$\chi_\theta$	0,01		$\chi_\tau$	0,10
		$\sigma_{xRc}$	110,72	[MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	3,38	[MPa]	$\tau_{Rc}$	19,46 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	48,98	[MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	2,54	[MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	14,60 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	46,65	[MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	2,42	[MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	13,90 [MPa]
		$k_x$	1,40		$k_\theta$	1,26		$k_\tau$	1,78
					$k_i$	4E-06			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{xEd}^2 + \sigma_{\theta Ed}^2 + \sigma_{xEd} \sigma_{\theta Ed} + 3 \tau_{\theta Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$							10,8%	si
SL3	$(\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd})^{k_x} - k_i (\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd}) (\sigma_{qEd}/\sigma_{qRd}) + (\sigma_{qEd}/\sigma_{\theta Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta Ed}/\tau_{\theta Rd})^{k_\tau} =$							20,9%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 4826

Fasciame: 7

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	6674,23 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-0,55	[MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	14,78	[MPa]	$\tau_{Ed}$	0,01 [MPa]
$\theta$	3,18523 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,50		$\lambda$	8,59		$\lambda$	2,72
$t_m$	2 [mm]	$\alpha$	0,34		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	3370 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	49,74			
		$p_{res}$	0,01	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,02			
		$p^*$	0,09	[MPa]					
		$Dw_k$	1,69						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,15		$\chi_\theta$	0,01		$\chi_\tau$	0,10
		$\sigma_{xRc}$	110,72	[MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	3,38	[MPa]	$\tau_{Rc}$	19,46 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	38,14	[MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	2,54	[MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	14,60 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	36,32	[MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	2,42	[MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	13,90 [MPa]
		$k_x$	1,36		$k_\theta$	1,26		$k_\tau$	1,78
					$k_i$	2,4E-06			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{xEd}^2 + \sigma_{\theta Ed}^2 + \sigma_{xEd} \sigma_{\theta Ed} + 3 \tau_{\theta Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$							6,3%	si
SL3	$(\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd})^{k_x} - k_i (\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd}) (\sigma_{qEd}/\sigma_{qRd}) + (\sigma_{qEd}/\sigma_{\theta Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta Ed}/\tau_{\theta Rd})^{k_\tau} =$							0,3%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

Elemento: 4896

Fasciame: 7

Parametri									
Comuni		Compressioni meridionali			Compressioni circonferenziali			Taglio	
z	6674,23 [mm]	$\sigma_{xEd}$	-0,46	[MPa]	$\sigma_{\theta Ed}$	15,66	[MPa]	$\tau_{Ed}$	0,04 [MPa]
$\theta$	6,23955 [°]	$\lambda_0$	0,20		$\lambda_0$	0,40		$\lambda_0$	0,40
R	2295 [mm]	$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79		$\lambda_p$	0,79
H	7770 [mm]	$\lambda$	1,50		$\lambda$	8,59		$\lambda$	2,72
$t_m$	2 [mm]	$\alpha$	0,34		$\alpha$	0,75		$\alpha$	0,75
$\Delta H$	3370 [mm]	$\beta$	0,60		$\beta$	0,60		$\beta$	0,60
$f_{y,k}$	250 [MPa]	$\eta$	1,00		$\eta$	1,00		$\eta$	1,00
		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74		$\omega$	49,74
		$C_x$	1,00		$C_\theta$	1,00		$C_\tau$	1,00
		$C_{xb}$	1,00		$\omega/C_\theta$	49,74			
		$p_{res}$	0,01	[MPa]	$C_{\theta,s}$	1,02			
		$p^*$	0,09	[MPa]					
		$Dw_k$	1,69						
		Q	40						
		$\chi_x$	0,15		$\chi_\theta$	0,01		$\chi_\tau$	0,10
		$\sigma_{xRc}$	110,72	[MPa]	$\sigma_{\theta Rc}$	3,38	[MPa]	$\tau_{Rc}$	19,46 [MPa]
		$\sigma_{xRk}$	38,14	[MPa]	$\sigma_{\theta Rk}$	2,54	[MPa]	$\tau_{\theta Rk}$	14,60 [MPa]
		$\sigma_{xRd}$	36,32	[MPa]	$\sigma_{\theta Rd}$	2,42	[MPa]	$\tau_{\theta Rd}$	13,90 [MPa]
		$k_x$	1,36		$k_\theta$	1,26		$k_\tau$	1,78
					$k_i$	2,4E-06			
Verifiche									
SL1	$(\sigma_{xEd}^2 + \sigma_{\theta Ed}^2 + \sigma_{xEd} \sigma_{\theta Ed} + 3 \tau_{\theta Ed}^2)^{0,5} / f_{yd} =$							6,7%	si
SL3	$(\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd})^{k_x} - k_i (\sigma_{xEd}/\sigma_{xRd}) (\sigma_{qEd}/\sigma_{qRd}) + (\sigma_{qEd}/\sigma_{\theta Rd})^{k_\theta} + (\tau_{\theta Ed}/\tau_{\theta Rd})^{k_\tau} =$							0,3%	si

NOTE: convenzione dei segni: + trazione; - compressione

nella relazione SL3 le sollecitazioni di trazione sono poste pari a 0

## 9.2 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DI COPERTURA, DI RACCORDO E

### ANCORAGGIO

Nell'allegato sono riportati i fogli di calcolo, ai quali si rimanda per ulteriori informazioni, utilizzati per la verifica dei profili utilizzati per il sostegno della lamiera grecata di copertura. Inoltre, nel medesimo allegato sono riportate le principali verifiche degli elementi di raccordo e ancoraggio del serbatoio sia per quanto riguarda l'aggancio della struttura alla fondazione sia per la struttura di raccordo tra i vari fasciami e la struttura di copertura.

## 9.3 CALCOLO DELL'ALTEZZA D'ONDA DELLA COMPONENTE DI SLOSHING

In riferimento al serbatoio che sarà realizzato come riserva idrica antincendio dotato di diametro 4,59m e altezza 7,83m l'altezza d'onda della componente convettiva indotta dall'azione sismica di progetto nella combinazione SLV è stata determinata secondo la procedura descritta nell'Appendice A dell'Eurocodice UNI EN 1998-4: 2006 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 4: Silos, serbatoi e condotte".

Nello specifico al punto A.2.1.4 "Altezza dell'onda di sloshing" è fornita la formula di calcolo dell'altezza dell'onda della componente convettiva il cui contributo proviene sostanzialmente dal suo primo modo di vibrare e la cui espressione per il valore dell'altezza di picco sul bordo vale:

$$d_{\max} = 0,84 R S_e (T_{cl}) / g \quad (\text{A.15})$$

dove  $S_e$  è lo spettro di risposta elastico in termini di accelerazione per il primo modo di vibrare della componente convettiva calcolato con il valore del coefficiente di smorzamento viscoso appropriato per la risposta convettiva,  $R$  è il raggio del serbatoio e  $g$  è l'accelerazione di gravità.

Per il serbatoio in esame l'altezza di sloshing vale:

DATI DI CALCOLO ONDA SLOSHING		
$S_e(T_{\text{conv}}) / g$	0,168	[-]
$R$	2295	[mm]
$h_{\text{sloshing}}$	323,9	[mm]

Questo valore è congruente con il franco libero garantito all'interno del serbatoio e pari a 350mm secondo quelle che sono le richieste dell'Eurocodice 8-4 dove al punto 4.1.2 (1) si richiede di fornire adeguato bordo libero del serbatoio per il massimo spostamento verticale della superficie del liquido per prevenire danni sulla copertura dovuti alla pressione della componente di sloshing.

## 9.4 VERIFICA DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE

Le opere di fondazione non fanno parte della presente relazione. Si rimanda alle calcolazioni del progettista di competenza per le relative verifiche.

## 10. CONCLUSIONI

La struttura oggetto di analisi è composta da un serbatoio avvitabile da 120mc, caratterizzato da collegamenti bullonati, prodotto dalla ditta RIZZOTTO S.r.l. con sede in San Giorgio in Bosco (PD) che saranno installati per conto della ditta Idroelettrica S.p.A. nel Comune di Mordano (BO). Questo tipo di serbatoio è utilizzato per lo stoccaggio e la gestione delle riserve idriche per impianti antincendio. Il serbatoio è realizzato tramite lamiere di spessore 2 e 3 mm in acciaio S250GD. La valutazione della sicurezza sismica dell'oggetto in questione è stata condotta nel rispetto dei requisiti e dei procedimenti esposti nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018). Come specificato nel capitolo 1 delle NTC2018 per l'ottenimento delle prescritte prestazioni, per quanto non espressamente specificato nelle norme, si è fatto riferimento a normative di comprovata validità e in particolare quelle fornite dagli Eurocodici costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle norme. La struttura è stata analizzata tramite un modello agli elementi finiti basato su un'analisi elastica lineare (LA) sia per le condizioni statiche che per quelle sismiche, che sono state implementate tramite la formulazione pseudo statica. A conclusione di quanto ottenuto si può quindi evidenziare quanto segue:

- Le verifiche per resistenza plastica (LS1) risultano soddisfatte in tutte le sezioni di interesse sia per combinazioni statiche che per le combinazioni sismiche;
- Le verifiche per resistenza all'instabilità (LS3) risultano soddisfatte in tutte le sezioni di interesse sia per combinazioni statiche che per le combinazioni sismiche;
- Le verifiche degli elementi strutturali di copertura, raccordo e ancoraggio risultano soddisfatte in tutte le sezioni di interesse sia per combinazioni statiche che per le combinazioni sismiche.

Tutte i calcoli condotti confermano la verifica del serbatoio oggetto di analisi sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

Pergine Valsugana, marzo 2018

IL PROGETTISTA

Ing. Fabio Ferrario

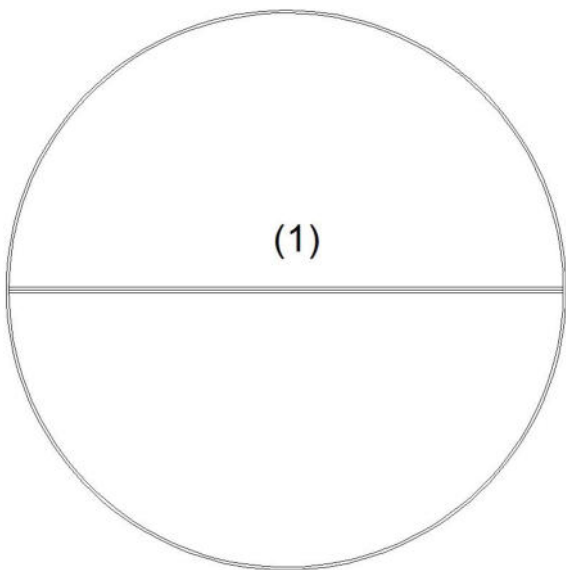
---

ALLEGATI

---

COI C N O M A L R G N L

Verifica copertura serbatoio



D =	4,59	[m]							Tipo:	4590 - 120
q =	1,2	[kN/m <sup>2</sup> ]								
tipo trave	g [kN/m <sup>2</sup> ]	q [kN/m <sup>2</sup> ]	G [kN]	Q [kN]	L [m]	i [m]	n	sezione		
(1)	0,20	1,20	0,00	0,00	4,59	2,30	1	IPE 140		



Tipologia:	trave	Normativa:	NTC 17/01/2018
Vincoli:	appoggio - appoggio	Elemento:	trave tipo (1)
Carichi:	neve	Descrizione	trave in semplice appoggio

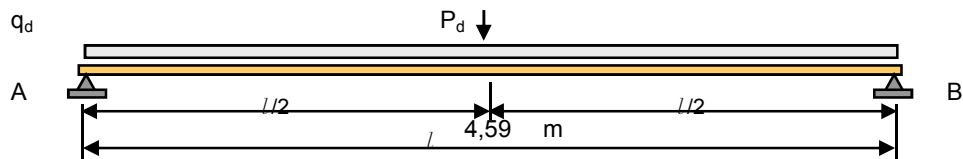
#### Dati di input

tipo di struttura: edificio  
qualità di acciaio: S 275

tipo di sezione: laminata  
sezione metallica: IPE 140

#### Geometria e caratteristiche dell'elemento strutturale

luce (L): **4,59** m      inclinazione trasvers. ( $\beta$ ): **0,0** °  
larghezza di influenza (i): **2,30** m  
k: **0,5**       $L_{eff} = k L$ : coefficiente per il calcolo della lunghezza di sbandamento



#### Carichi agenti

peso proprio trave ( $q_{G1k}$ ): 0,13 kN/m  
carichi agenti per metro quadro:  
carico permanente ( $q_{G2k}$ ): **0,20** kN/m<sup>2</sup>  
carico variabile ( $q_{Vk}$ ): **1,20** kN/m<sup>2</sup>  
carico concentrato:  
posizione: 2,295 m  
carico permanente ( $P_{G2k}$ ): **0,00** kN  
carico variabile ( $P_{Vk}$ ): **0,00** kN

#### Limiti di freccia e contromonte

limiti di freccia:  
soli variabili:  $\delta_{2,lim} = L /$  **250** (= 18,4 mm)  
comb. rara:  $\delta_{max,lim} = L /$  **200** (= 23 mm)  
contromonte:  
verticale:  $\delta_{c,z} =$  **0** mm  
orizzontali:  $\delta_{c,y} =$  **0** mm

#### Riassunto verifiche

verifiche di resistenza	verifiche di deformabilità
flessione biassiale: <b>56%</b>	freccia carichi variabili: <b>76%</b>
taglio z: <b>10%</b>	freccia carichi totali: <b>74%</b>
taglio y: <b>0%</b>	
stabilità flessotorsionale: <b>86%</b>	

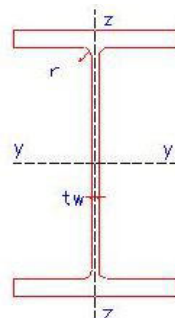
esito: **si**

#### Parametri di calcolo

##### Caratteristiche meccaniche della sezione metallica

tipo sezione: I  
altezza (h): 140 mm  
d: 112,2 mm  
base (b): 73 mm  
spessore anima ( $t_w$ ): 4,7 mm  
spessore ali ( $t_f$ ): 6,9 mm  
raggio raccordo (r): 7 mm  
area (A): 1643 mm<sup>2</sup>  
area a taglio ( $A_{vz}$ ): 764 mm<sup>2</sup>  
area a taglio ( $A_{vy}$ ): 1049,86 mm<sup>2</sup>  
modulo inerzia y ( $I_y$ ): 5,41E+06 mm<sup>4</sup>  
raggio giratore y ( $i_y$ ): 57,4 mm  
modulo inerzia z ( $I_z$ ): 4,49E+05 mm<sup>4</sup>  
raggio giratore z ( $i_z$ ): 16,5 mm

inerzia torsionale ( $I_t$ ): 2,45E+04 mm<sup>4</sup>  
modulo resist. elast. y ( $W_{el,y}$ ): 7,73E+04 mm<sup>3</sup>  
modulo resist. plast. y ( $W_{pl,y}$ ): 8,83E+04 mm<sup>3</sup>  
modulo resist. elast. z ( $W_{el,z}$ ): 1,23E+04 mm<sup>3</sup>  
modulo resist. plast. z ( $W_{pl,z}$ ): 1,93E+04 mm<sup>3</sup>  
 $I_w$ : 1,99E+09 mm<sup>6</sup>



Proprietà dell'acciaio secondo le NTC 2018

tensione di snervamento:	$f_{yk}$	275	MPa
tensione di rottura:	$f_{uk}$	430	MPa
modulo elastico:	$E$	210000	MPa
coefficiente di poisson:	$\nu$	0,3	
modulo di taglio:	$G$	80769,2	MPa
peso specifico dell'acciaio:	$\gamma_{acc}$	78,5	kN/m <sup>3</sup>
	$\varepsilon = (235/f_y)^{0,5}$	0,92	

Coefficienti di sicurezza

$\gamma_{m0}$	1,05
$\gamma_{m1}$	1,05
$\gamma_{m2}$	1,25

Fattori per l'analisi di stabilità flessotorsionale:

fattore di riduzione per instabilità flessotorsionale:

$$\chi_{LT} = 1/f \left( \Phi_{LT} + (\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^{*2})^{0,5} \right) \leq \min\{1,0 ; 1/(f \lambda_{LT}^{*2})\} = 0,65$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT}^* - \lambda_{LT,0}^*) + \beta \lambda_{LT}^{*2}] = 1,09$$

$$\beta = 0,75 \quad (\text{cmq} \geq 0,75)$$

fattore di imperfezione:

$$\text{curva di instabilità: } b \quad \alpha_{LT} = 0,34$$

fattore relativo alla distribuzione del momento:

$$f = 1 - 0,5 (1 - k_c) [1 - 2(\lambda_{LT}^* - 0,8)^2] = 1,0 \quad k_c = 0,94$$

coefficiente di snellezza adimensionale:

$$\lambda_{LT}^* = (W_y f_{yk} / M_{cr})^{0,5} = 1,11 \quad \lambda_{LT,0}^* = 0,4 \quad (\text{cmq} \leq 0,4)$$

momento critico elastico di instabilità torsionale (§F 1.2. UNI ENV 1993-1-1)

la relazione è relativa al carico uniforme (secondo quanto indicato in NTC 2018), poiché l'effetto della distribuzione dei carichi è tenuta in conto tramite il coefficiente  $k_c$ .

$$M_{y,cr} = 20 \text{ kNm} \quad \beta_f = 0,5$$

$$(\text{§F 1.4. UNI ENV 1993-1-1}) \quad z_j = 0,0 \text{ mm}$$

Combinazione dei carichi:

Carichi caratteristici:

$$q_{Gk,z} = (q_{G2} i + q_{G1k}) \cos\beta = 0,59 \text{ kN/m} \quad P_{G2k,z} = P_{G2k} \cos\beta = 0,00 \text{ kN}$$

$$q_{Vk,z} = q_{Vk} i \cos\beta = 2,75 \text{ kN/m} \quad P_{Vk,z} = P_{Vk} \cos\beta = 0,00 \text{ kN}$$

$$q_{Gk,y} = (q_{G2k} i + q_{G1k}) \sin\beta = 0,00 \text{ kN/m} \quad P_{G2k,z} = P_{G2k} \sin\beta = 0,00 \text{ kN}$$

$$q_{Vk,y} = q_{Vk} i \sin\beta = 0,00 \text{ kN/m} \quad P_{Vk,z} = P_{Vk} \sin\beta = 0,00 \text{ kN}$$

Carichi di progetto:

Combinazione: SLU

$$\text{carico uniforme } q_{d,z} = 4,90 \text{ kN/m}$$

$$\text{carico puntuale } P_{d,z} = 0,00 \text{ kN}$$

$$\text{carico uniforme } q_{d,y} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$\text{carico puntuale } P_{d,y} = 0,00 \text{ kN}$$

Combinazione: SLE

rara

variabili

$$\text{carico uniforme } q_{d,z} = 3,34 \text{ kN/m}$$

$$\text{carico puntuale } P_{d,z} = 0,00 \text{ kN}$$

$$\text{carico uniforme } q_{d,y} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$\text{carico puntuale } P_{d,y} = 0,00 \text{ kN}$$

Sollecitazioni sull'elemento strutturale - combinazione SLU

		z		y	
$q_d l / 2 + P_d / 2$	$R_{app,z B} =$	11,23	kN	$R_{app,y B} =$	0,00 kN
$q_d l / 2 + P_d / 2$	$R_{app,z A} =$	11,23	kN	$R_{app,y A} =$	0,00 kN
$q_d l / 2 + P_d / 2$	$V_{app,z} =$	11,23	kN	$V_{app,y} =$	0,00 kN
$q_d l / 8 + P_d l / 4$	$M_{camp,z} =$	0,00	kNm	$M_{camp,y} =$	12,89 kNm

Classificazione della sezione trasversale (§4.2.3.1 NTC 2018)

anima:	$0 < d/t_w < 72 \varepsilon$		
	$0 < 23,9 < 66,6$	classe: 1	
flangia:	$0 < c/t_f < 9 \varepsilon$		
	$0 < 3,9 < 8,3$	classe: 1	
			classe della sezione: 1

**Verifiche di resistenza (§4.2.4.1.2 NTC 2018)**

Caratteristiche di resistenza della sezione (classe 1 o 2)

$N_{c,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} =$	430	kN	$M_{y,c,Rd} = W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0} =$	23	kNm
$V_{z,c,Rd} = A_{v,z} f_y / \gamma_{M0} =$	116	kN	$M_{z,c,Rd} = W_{pl,z} f_y / \gamma_{M0} =$	5	kNm
$V_{y,c,Rd} = A_{v,y} f_y / \gamma_{M0} =$	159	kN	$M_{y,b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1} =$	15	kNm

Caratteristiche di resistenza della sezione (classe 3)

$N_{c,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} =$	430	kN	$M_{y,c,Rd} = W_{el,y} f_y / \gamma_{M0} =$	20	kNm
$V_{z,c,Rd} = A_{v,z} f_y / \gamma_{M0} =$	116	kN	$M_{z,c,Rd} = W_{el,z} f_y / \gamma_{M0} =$	3	kNm
$V_{y,c,Rd} = A_{v,y} f_y / \gamma_{M0} =$	159	kN	$M_{y,b,Rd} = \chi_{LT} W_{el,y} f_y / \gamma_{M1} =$	13	kNm

Verifiche a flessione monoassiale

$\eta_y = M_{yEd} / M_{y,Rd} \leq 1$	$\eta_{My} =$	56%	si
$\eta_z = M_{zEd} / M_{z,Rd} \leq 1$	$\eta_{Mz} =$	0%	si

Verifica di resistenza a taglio

$\eta_z = V_{zEd} / V_{z,c,Rd} \leq 1$	$\eta_{Vz} =$	10%	si
$\eta_y = V_{yEd} / V_{y,c,Rd} \leq 1$	$\eta_{Vy} =$	0%	si
$\rho_z = (2V_{zEd} / V_{z,c,Rd} - 1)^2$ se $V_{zEd} > 0,5V_{z,c,Rd}$	$\rho_z =$	0	
$\rho_y = (2V_{yEd} / V_{y,c,Rd} - 1)^2$ se $V_{yEd} > 0,5V_{y,c,Rd}$	$\rho_y =$	0	

Verifica di resistenza a instabilità dell'anima non irrigidita a taglio

verifica non necessaria se:  $h_w/t < 72 \varepsilon / \eta$ 

$h_w/t =$	23,9	<	66,6	verifica non necessaria
-----------	------	---	------	-------------------------

Verifica di resistenza a flessione biassiale e taglio

$\eta = M_{yEd} / ((1-\rho_y)M_{y,Rd} + M_{zEd} / ((1-\rho_z)M_{z,Rd})) \leq 1$	$\eta_{MyMz} =$	56%	si
---	-----------------	-----	----

**Verifiche di stabilità flessotorsionale per elementi con sezioni di classe 1 o 2 (§4.2.4.1.3 NTC 2018)**

$\eta_y = M_{yEd} / M_{y,b,Rd} \leq 1$	$\eta_{Mb,y} =$	86%	si
--	-----------------	-----	----

**Verifica di freccia di inflessione (§4.2.4.2.1 NTC 2018)**

verifica di freccia relativa ai soli carichi variabili

$\delta_{2,z} = 5q_v L^4 / (384 E I_y) + P_v L^3 / (48 E I_y) =$	14,00	mm	
$\delta_{2,v} = 5q_v L^4 / (384 E I_z) + P_v L^3 / (48 E I_z) =$	0,00	mm	
$\delta_2 = (\delta_{2v}^2 + \delta_{2z}^2)^{0,5} =$	14,00	mm	
$\eta_{\delta 2} = \delta_2 / \delta_{2,lim} \leq 1$	$\eta_{\delta 2} =$	76%	si

verifica di freccia totale

$\delta_{max,z} = \delta_{tot,z} - \delta_c = 5q_d L^4 / (384 E I_y) + P_d L^3 / (48 E I_y) - \delta_{c,z} =$	16,99	mm	
$\delta_{max,v} = \delta_{tot,v} - \delta_c = 5q_d L^4 / (384 E I_z) + P_d L^3 / (48 E I_z) - \delta_{c,v} =$	0,00	mm	
$\delta_2 = (\delta_{2v}^2 + \delta_{2z}^2)^{0,5} =$	16,99	mm	
$\eta_{\delta max} = \delta_{max} / \delta_{max,lim} \leq 1$	$\eta_{\delta max} =$	74%	si

# VERIFICA LAMIERA GRECATA COPERTURA FM 55/750

## Sollecitazioni massime di progetto

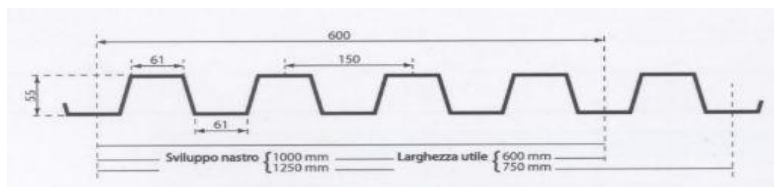
i	1,00	m
G <sub>k</sub>	0,100	kN/m <sup>2</sup>
Q <sub>k</sub>	1,20	kN/m <sup>2</sup>

(interasse delle travi)

## Caratteristiche geometriche

Tipo di elemento: FM 55/750  
L = 2,30 m

q <sub>Sd, SLE</sub>	1,38	kN/m
q <sub>Sd, SLU</sub>	2,03	kN/m
N <sub>Sd</sub>	0,00	kN
M <sub>y, Sd</sub>	1,34	kNm
V <sub>z, Sd</sub>	2,92	kN



G	h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	A	I <sub>y</sub>	W <sub>pl,y</sub>	A <sub>vz</sub>
kN/m	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>2</sup>
0,080	55	1000	0,6	0,6	1000	483500	17580	750

## Caratteristiche del materiale

f <sub>y</sub>	250	N/mm <sup>2</sup>	γ <sub>M0</sub>	1,05
f <sub>u</sub>	330	N/mm <sup>2</sup>	γ <sub>M1</sub>	1,05
e	0,970		γ <sub>M2</sub>	1,25
E	210000	N/mm <sup>2</sup>		
n	0,3			
G	80769,231	N/mm <sup>2</sup>		

## Verifiche di resistenza e deformabilità

### Verifica a taglio

$V_{Sd} \leq V_{pl,Rd}$	con:	$V_{pl,Rd} = A_v (f_y/3^{1/2}) / \gamma_{M0}$	
A <sub>v,y</sub>	750,0	mm <sup>2</sup>	
V <sub>Sd,y</sub>	2,92	<	V <sub>pl,Rd,y</sub> 103,10 kN 3%

### Resistenza delle sezioni trasversali a flessione e taglio

$V_{Sd,y} \leq 50\% V_{pl,y,Rd}$	Ok	Non è necessaria alcuna riduzione di M <sub>pl,Rd</sub>
----------------------------------	----	---

### Resistenza delle sezioni trasversali a flessione

$M_{Sd} \leq M_{c,Rd}$	Sezioni trasversali di classe 1 o 2:	$M_{c,Rd} = W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0}$	
M <sub>y,Sd</sub>	1,34	<	M <sub>c,Rd</sub> 4,19 kNm 32%

### Verifiche di freccia

ipotesi: elemento su 2 appoggi soggetto a carichi permanenti + variabili

f <sub>max</sub>	4,91	mm	<	f <sub>lim</sub> = L/200	11,48	mm	43%
------------------	------	----	---	--------------------------	-------	----	-----

ipotesi: elemento su 2 appoggi soggetto ai soli variabili

f <sub>max</sub>	4,27	mm	<	f <sub>lim</sub> = L/250	9,18	mm	47%
------------------	------	----	---	--------------------------	------	----	-----

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

lamiera	n <sub>b</sub>	a	k <sub>1</sub>	V <sub>Rd</sub> [kN]	V <sub>Sd</sub> [kN]	verifica
# 1	13	0,64	2,50	132	93	70,6% si
# 2	13	0,64	2,50	132	93	70,6% si

con:  $F_{b,Rd} = n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_u / \gamma_{Mb} \cdot d \cdot t_p$   
 $a = \min (e_1 / 3d_0 ; p_1 / 3d_0 - 0,25 ; f_{ub} / f_u ; 1)$   
 $k_1 = \min (2,8 e_2 / d_0 - 1,7 ; 1,4 p_2 / d_0 ; 2,5)$



$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } F_{b,Rd} &= n_b \cdot k_1 \cdot a \cdot f_{u/\gamma_{Mb}} \cdot d \cdot t_p \\ a &= \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_u; 1) \\ k_1 &= \min(2,8 e_2/d_0 - 1,7; 1,4 p_2/d_0; 2,5) \end{aligned}$$

TABELLA: Verifica dei fasciami

Area	Combo	$\sigma_x$	$\sigma_\theta$	$\tau_{x\theta}$	$\sigma_{xRd}$	$\sigma_{\theta Rd}$	$\tau_{x\theta Rd}$	% SL1	Esito SL1	% SL3	Esito SL3	$\sigma_{Eq}$	$f_{yd}$	$k_x$	$k_\theta$	$k_\tau$	$k_i$
[-]	[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]
899	SLVTank	-2,61	64,86	-25,46	85,50	6,97	27,25	33,4%	si	89,0%	si	79,5	238,1	1,5193	1,2720	1,7996	0,0001
900	SLVTank	-1,25	64,48	-25,51	85,50	6,97	27,25	33,0%	si	89,0%	si	78,7	238,1	1,5193	1,2720	1,7996	0,0001
974	SLVTank	-2,57	64,86	25,45	85,50	6,97	27,25	33,4%	si	88,9%	si	79,5	238,1	1,5193	1,2720	1,7996	0,0001
973	SLVTank	-1,24	64,48	25,50	85,50	6,97	27,25	33,0%	si	88,9%	si	78,7	238,1	1,5193	1,2720	1,7996	0,0001
901	SLVTank	0,10	64,10	-25,51	85,50	6,97	27,25	32,7%	si	88,8%	si	77,8	238,1	1,5193	1,2720	1,7996	0,0001
972	SLVTank	0,09	64,10	25,50	85,50	6,97	27,25	32,7%	si	88,7%	si	77,8	238,1	1,5193	1,2720	1,7996	0,0001
902	SLVTank	1,45	63,72	-25,46	85,50	6,97	27,25	32,3%	si	88,5%	si	76,9	238,1	1,5193	1,2720	1,7996	0,0001
971	SLVTank	1,41	63,72	25,46	85,50	6,97	27,25	32,3%	si	88,5%	si	76,9	238,1	1,5193	1,2720	1,7996	0,0001
1043	SLVTank	-2,45	73,29	-24,79	84,68	6,97	27,25	36,1%	si	84,8%	si	86,0	238,1	1,5168	1,2720	1,7996	0,0001
1044	SLVTank	-1,19	72,78	-24,84	84,68	6,97	27,25	35,7%	si	84,8%	si	85,1	238,1	1,5168	1,2720	1,7996	0,0001
1118	SLVTank	-2,41	73,28	24,78	84,68	6,97	27,25	36,1%	si	84,8%	si	86,0	238,1	1,5168	1,2720	1,7996	0,0001
1117	SLVTank	-1,17	72,78	24,83	84,68	6,97	27,25	35,7%	si	84,7%	si	85,0	238,1	1,5168	1,2720	1,7996	0,0001
1045	SLVTank	0,07	72,26	-24,84	84,68	6,97	27,25	35,3%	si	84,7%	si	84,1	238,1	1,5168	1,2720	1,7996	0,0001
1116	SLVTank	0,06	72,26	24,83	84,68	6,97	27,25	35,3%	si	84,6%	si	84,1	238,1	1,5168	1,2720	1,7996	0,0001
1046	SLVTank	1,32	71,75	-24,79	84,68	6,97	27,25	34,9%	si	84,4%	si	83,1	238,1	1,5168	1,2720	1,7996	0,0001
1115	SLVTank	1,29	71,75	24,78	84,68	6,97	27,25	34,9%	si	84,3%	si	83,1	238,1	1,5168	1,2720	1,7996	0,0001
1331	SLVTank	-2,13	51,85	-22,93	64,85	8,79	25,52	27,8%	si	83,2%	si	66,2	238,1	1,4543	1,2777	1,7964	0,0001
1406	SLVTank	-2,10	51,85	22,92	64,85	8,79	25,52	27,8%	si	83,2%	si	66,2	238,1	1,4543	1,2777	1,7964	0,0001
1332	SLVTank	-1,06	51,53	-22,98	64,85	8,79	25,52	27,5%	si	83,1%	si	65,5	238,1	1,4543	1,2777	1,7964	0,0001
1405	SLVTank	-1,04	51,53	22,97	64,85	8,79	25,52	27,5%	si	83,0%	si	65,5	238,1	1,4543	1,2777	1,7964	0,0001
1333	SLVTank	0,02	51,21	-22,98	64,85	8,79	25,52	27,2%	si	82,8%	si	64,8	238,1	1,4543	1,2777	1,7964	0,0001
2052	SLVTank	-0,77	42,44	-18,13	61,03	5,09	20,17	22,3%	si	82,8%	si	53,1	238,1	1,4422	1,2660	1,7867	0,0000
1404	SLVTank	0,01	51,21	22,97	64,85	8,79	25,52	27,2%	si	82,8%	si	64,8	238,1	1,4543	1,2777	1,7964	0,0001
2051	SLVTank	-1,45	42,81	-18,09	61,03	5,09	20,17	22,5%	si	82,8%	si	53,6	238,1	1,4422	1,2660	1,7867	0,0000
2126	SLVTank	-1,43	42,81	18,08	61,03	5,09	20,17	22,5%	si	82,7%	si	53,6	238,1	1,4422	1,2660	1,7867	0,0000
2125	SLVTank	-0,76	42,44	18,11	61,03	5,09	20,17	22,3%	si	82,7%	si	53,1	238,1	1,4422	1,2660	1,7867	0,0000
2053	SLVTank	-0,09	42,08	-18,13	61,03	5,09	20,17	22,1%	si	82,6%	si	52,5	238,1	1,4422	1,2660	1,7867	0,0000
1334	SLVTank	1,09	50,89	-22,93	64,85	8,79	25,52	26,9%	si	82,5%	si	64,1	238,1	1,4543	1,2777	1,7964	0,0001
2124	SLVTank	-0,09	42,08	18,12	61,03	5,09	20,17	22,1%	si	82,5%	si	52,5	238,1	1,4422	1,2660	1,7867	0,0000
1403	SLVTank	1,06	50,89	22,92	64,85	8,79	25,52	26,9%	si	82,5%	si	64,1	238,1	1,4543	1,2777	1,7964	0,0001
2054	SLVTank	0,59	41,71	-18,09	61,03	5,09	20,17	21,8%	si	82,3%	si	51,9	238,1	1,4422	1,2660	1,7867	0,0000
2123	SLVTank	0,57	41,71	18,08	61,03	5,09	20,17	21,8%	si	82,2%	si	51,9	238,1	1,4422	1,2660	1,7867	0,0000
1187	SLVTank	-2,29	53,69	-23,88	83,85	6,97	27,25	28,9%	si	79,3%	si	68,7	238,1	1,5141	1,2720	1,7996	0,0001
1188	SLVTank	-1,13	53,38	-23,92	83,85	6,97	27,25	28,6%	si	79,2%	si	68,0	238,1	1,5141	1,2720	1,7996	0,0001
1262	SLVTank	-2,25	53,70	23,87	83,85	6,97	27,25	28,9%	si	79,2%	si	68,7	238,1	1,5141	1,2720	1,7996	0,0001
1261	SLVTank	-1,11	53,39	23,91	83,85	6,97	27,25	28,6%	si	79,2%	si	68,0	238,1	1,5141	1,2720	1,7996	0,0001
1189	SLVTank	0,04	53,08	-23,92	83,85	6,97	27,25	28,3%	si	79,1%	si	67,3	238,1	1,5141	1,2720	1,7996	0,0001
1260	SLVTank	0,03	53,08	23,91	83,85	6,97	27,25	28,3%	si	79,0%	si	67,3	238,1	1,5141	1,2720	1,7996	0,0001
1190	SLVTank	1,20	52,77	-23,88	83,85	6,97	27,25	28,0%	si	78,8%	si	66,6	238,1	1,5141	1,2720	1,7996	0,0001
1259	SLVTank	1,17	52,77	23,87	83,85	6,97	27,25	28,0%	si	78,8%	si	66,6	238,1	1,5141	1,2720	1,7996	0,0001
1475	SLVTank	-1,98	65,26	-22,00	64,14	8,79	25,52	32,1%	si	77,2%	si	76,4	238,1	1,4520	1,2777	1,7964	0,0001
1550	SLVTank	-1,96	65,26	21,99	64,14	8,79	25,52	32,1%	si	77,2%	si	76,4	238,1	1,4520	1,2777	1,7964	0,0001
1476	SLVTank	-1,00	64,75	-22,04	64,14	8,79	25,52	31,8%	si	77,1%	si	75,6	238,1	1,4520	1,2777	1,7964	0,0001
1549	SLVTank	-0,98	64,75	22,03	64,14	8,79	25,52	31,7%	si	77,0%	si	75,6	238,1	1,4520	1,2777	1,7964	0,0001
1477	SLVTank	-0,01	64,23	-22,04	64,14	8,79	25,52	31,4%	si	76,9%	si	74,7	238,1	1,4520	1,2777	1,7964	0,0001
1548	SLVTank	-0,01	64,23	22,03	64,14	8,79	25,52	31,4%	si	76,8%	si	74,7	238,1	1,4520	1,2777	1,7964	0,0001
1478	SLVTank	0,98	63,71	-22,00	64,14	8,79	25,52	31,0%	si	76,6%	si	73,8	238,1	1,4520	1,2777	1,7964	0,0001
1547	SLVTank	0,95	63,71	21,99	64,14	8,79	25,52	31,0%	si	76,6%	si	73,8	238,1	1,4520	1,2777	1,7964	0,0001
2196	SLVTank	-0,72	52,95	-17,14	60,18	5,09	20,17	25,6%	si	74,9%	si	61,0	238,1	1,4396	1,2660	1,7867	0,0000

Area	Combo	$\sigma_x$	$\sigma_\theta$	$\tau_{x\theta}$	$\sigma_{xRd}$	$\sigma_{\theta Rd}$	$\tau_{x\theta Rd}$	% SL1	Esito SL1	% SL3	Esito SL3	$\sigma_{Eq}$	$f_{yd}$	$k_x$	$k_\theta$	$k_\tau$	$k_l$
[-]	[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]
2195	SLVTank	-1,33	53,48	-17,10	60,18	5,09	20,17	25,9%	si	74,9%	si	61,7	238,1	1,4396	1,2660	1,7867	0,0000
2269	SLVTank	-0,71	52,94	17,13	60,18	5,09	20,17	25,6%	si	74,8%	si	61,0	238,1	1,4396	1,2660	1,7867	0,0000
2270	SLVTank	-1,32	53,48	17,10	60,18	5,09	20,17	25,9%	si	74,8%	si	61,7	238,1	1,4396	1,2660	1,7867	0,0000
2197	SLVTank	-0,11	52,41	-17,14	60,18	5,09	20,17	25,3%	si	74,7%	si	60,3	238,1	1,4396	1,2660	1,7867	0,0000
2268	SLVTank	-0,11	52,41	17,13	60,18	5,09	20,17	25,3%	si	74,6%	si	60,3	238,1	1,4396	1,2660	1,7867	0,0000
2198	SLVTank	0,50	51,87	-17,10	60,18	5,09	20,17	25,0%	si	74,5%	si	59,5	238,1	1,4396	1,2660	1,7867	0,0000
2267	SLVTank	0,49	51,87	17,10	60,18	5,09	20,17	25,0%	si	74,4%	si	59,5	238,1	1,4396	1,2660	1,7867	0,0000
1619	SLVTank	-1,84	58,72	-21,04	63,40	8,79	25,52	29,4%	si	71,3%	si	69,9	238,1	1,4497	1,2777	1,7964	0,0001
1694	SLVTank	-1,82	58,72	21,03	63,40	8,79	25,52	29,4%	si	71,2%	si	69,9	238,1	1,4497	1,2777	1,7964	0,0001
1620	SLVTank	-0,94	58,25	-21,08	63,40	8,79	25,52	29,0%	si	71,2%	si	69,1	238,1	1,4497	1,2777	1,7964	0,0001
1693	SLVTank	-0,93	58,25	21,07	63,40	8,79	25,52	29,0%	si	71,1%	si	69,1	238,1	1,4497	1,2777	1,7964	0,0001
1621	SLVTank	-0,03	57,78	-21,08	63,40	8,79	25,52	28,7%	si	70,9%	si	68,4	238,1	1,4497	1,2777	1,7964	0,0001
1692	SLVTank	-0,04	57,78	21,07	63,40	8,79	25,52	28,7%	si	70,9%	si	68,4	238,1	1,4497	1,2777	1,7964	0,0001
1622	SLVTank	0,87	57,31	-21,04	63,40	8,79	25,52	28,4%	si	70,7%	si	67,6	238,1	1,4497	1,2777	1,7964	0,0001
1691	SLVTank	0,85	57,31	21,03	63,40	8,79	25,52	28,4%	si	70,6%	si	67,6	238,1	1,4497	1,2777	1,7964	0,0001
2340	SLVTank	-0,67	47,69	-16,13	59,29	5,09	20,17	23,3%	si	67,2%	si	55,6	238,1	1,4368	1,2660	1,7867	0,0000
2339	SLVTank	-1,22	48,19	-16,09	59,29	5,09	20,17	23,6%	si	67,2%	si	56,2	238,1	1,4368	1,2660	1,7867	0,0000
2413	SLVTank	-0,67	47,69	16,11	59,29	5,09	20,17	23,3%	si	67,1%	si	55,5	238,1	1,4368	1,2660	1,7867	0,0000
2414	SLVTank	-1,21	48,19	16,08	59,29	5,09	20,17	23,6%	si	67,1%	si	56,2	238,1	1,4368	1,2660	1,7867	0,0000
2341	SLVTank	-0,12	47,19	-16,13	59,29	5,09	20,17	23,1%	si	67,0%	si	54,9	238,1	1,4368	1,2660	1,7867	0,0000
2412	SLVTank	-0,13	47,19	16,11	59,29	5,09	20,17	23,0%	si	67,0%	si	54,9	238,1	1,4368	1,2660	1,7867	0,0000
2342	SLVTank	0,42	46,69	-16,09	59,29	5,09	20,17	22,8%	si	66,8%	si	54,2	238,1	1,4368	1,2660	1,7867	0,0000
2411	SLVTank	0,41	46,69	16,08	59,29	5,09	20,17	22,8%	si	66,7%	si	54,2	238,1	1,4368	1,2660	1,7867	0,0000
1763	SLVTank	-1,71	60,30	-20,07	62,64	8,79	25,52	29,5%	si	65,5%	si	70,4	238,1	1,4473	1,2777	1,7964	0,0001
1838	SLVTank	-1,69	60,30	20,06	62,64	8,79	25,52	29,5%	si	65,4%	si	70,3	238,1	1,4473	1,2777	1,7964	0,0001
1764	SLVTank	-0,88	59,77	-20,10	62,64	8,79	25,52	29,2%	si	65,4%	si	69,6	238,1	1,4473	1,2777	1,7964	0,0001
1837	SLVTank	-0,87	59,77	20,10	62,64	8,79	25,52	29,2%	si	65,3%	si	69,5	238,1	1,4473	1,2777	1,7964	0,0001
1765	SLVTank	-0,06	59,25	-20,10	62,64	8,79	25,52	28,9%	si	65,2%	si	68,7	238,1	1,4473	1,2777	1,7964	0,0001
1836	SLVTank	-0,06	59,25	20,09	62,64	8,79	25,52	28,9%	si	65,1%	si	68,7	238,1	1,4473	1,2777	1,7964	0,0001
1766	SLVTank	0,76	58,72	-20,07	62,64	8,79	25,52	28,5%	si	64,9%	si	67,9	238,1	1,4473	1,2777	1,7964	0,0001
1835	SLVTank	0,75	58,72	20,06	62,64	8,79	25,52	28,5%	si	64,9%	si	67,9	238,1	1,4473	1,2777	1,7964	0,0001
35	SLVTank	-2,49	36,81	-21,16	79,78	6,97	27,25	22,2%	si	64,0%	si	52,9	238,1	1,5013	1,2720	1,7996	0,0001
110	SLVTank	-2,44	36,81	21,15	79,78	6,97	27,25	22,2%	si	63,9%	si	52,8	238,1	1,5013	1,2720	1,7996	0,0001
36	SLVTank	-1,15	36,76	-21,20	79,78	6,97	27,25	22,0%	si	63,8%	si	52,4	238,1	1,5013	1,2720	1,7996	0,0001
109	SLVTank	-1,13	36,76	21,19	79,78	6,97	27,25	22,0%	si	63,8%	si	52,4	238,1	1,5013	1,2720	1,7996	0,0001
37	SLVTank	0,19	36,71	-21,20	79,78	6,97	27,25	21,8%	si	63,6%	si	51,9	238,1	1,5013	1,2720	1,7996	0,0001
108	SLVTank	0,18	36,71	21,19	79,78	6,97	27,25	21,8%	si	63,6%	si	51,8	238,1	1,5013	1,2720	1,7996	0,0001
38	SLVTank	1,52	36,66	-21,16	79,78	6,97	27,25	21,6%	si	63,4%	si	51,3	238,1	1,5013	1,2720	1,7996	0,0001
107	SLVTank	1,49	36,66	21,15	79,78	6,97	27,25	21,6%	si	63,4%	si	51,3	238,1	1,5013	1,2720	1,7996	0,0001
1907	SLVTank	-1,58	45,04	-19,10	61,85	8,79	25,52	23,7%	si	59,9%	si	56,5	238,1	1,4448	1,2777	1,7964	0,0001
2484	SLVTank	-0,63	46,07	-15,12	58,37	5,09	20,17	22,4%	si	59,9%	si	53,3	238,1	1,4339	1,2660	1,7867	0,0000
2483	SLVTank	-1,11	46,58	-15,09	58,37	5,09	20,17	22,6%	si	59,9%	si	53,9	238,1	1,4339	1,2660	1,7867	0,0000
1982	SLVTank	-1,56	45,04	19,09	61,85	8,79	25,52	23,7%	si	59,9%	si	56,5	238,1	1,4448	1,2777	1,7964	0,0001
2557	SLVTank	-0,63	46,07	15,11	58,37	5,09	20,17	22,4%	si	59,8%	si	53,3	238,1	1,4339	1,2660	1,7867	0,0000
1908	SLVTank	-0,83	44,67	-19,13	61,85	8,79	25,52	23,5%	si	59,8%	si	56,0	238,1	1,4448	1,2777	1,7964	0,0001
2558	SLVTank	-1,11	46,58	15,08	58,37	5,09	20,17	22,6%	si	59,8%	si	53,9	238,1	1,4339	1,2660	1,7867	0,0000
1981	SLVTank	-0,82	44,67	19,12	61,85	8,79	25,52	23,5%	si	59,8%	si	56,0	238,1	1,4448	1,2777	1,7964	0,0001
2485	SLVTank	-0,14	45,56	-15,12	58,37	5,09	20,17	22,1%	si	59,7%	si	52,6	238,1	1,4339	1,2660	1,7867	0,0000
2556	SLVTank	-0,14	45,56	15,11	58,37	5,09	20,17	22,1%	si	59,7%	si	52,6	238,1	1,4339	1,2660	1,7867	0,0000

**TABELLA: Verifica degli irrigidimenti**

Frame	Combo	N <sub>Sd</sub>	N <sub>Rd,1</sub>	N <sub>Rd,net</sub>	% SL <sub>I</sub>	Esito SL <sub>I</sub>	% SL <sub>net</sub>	Esito SL <sub>net</sub>	A <sub>I</sub>	A <sub>net</sub>	f <sub>yd</sub>	f <sub>ud</sub>
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[MPa]
291	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,1%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
296	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
297	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
295	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
368	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
381	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
369	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
380	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
309	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
308	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
298	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
370	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
379	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
367	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
382	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
307	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
310	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
292	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
299	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
371	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
378	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
306	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
294	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
366	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
383	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
311	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
300	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
372	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
377	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
305	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
301	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
373	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
376	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
304	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
374	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
375	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
302	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
303	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
293	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
365	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
384	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
312	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
290	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
364	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
313	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
385	SLU	0,0	57,1	59,7	20,9%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
314	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
363	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
386	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	20,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
315	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
362	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
387	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
426	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
316	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
361	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
388	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
317	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
360	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
389	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
427	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
318	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
359	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
390	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
319	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
425	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
339	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
338	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
358	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
391	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
340	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
337	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
410	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
411	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
409	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
412	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
341	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0



Frame	Combo	N <sub>Sd</sub>	N <sub>Rd,1</sub>	N <sub>Rd,net</sub>	% SL <sub>l</sub>	Esito SL <sub>l</sub>	% SL <sub>net</sub>	Esito SL <sub>net</sub>	A <sub>l</sub>	A <sub>net</sub>	f <sub>yd</sub>	f <sub>ud</sub>
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[MPa]
336	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
408	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
413	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
342	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
335	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
407	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
414	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
343	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
334	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
406	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
415	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
405	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
344	SLU	0,0	57,1	59,7	20,8%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
333	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
416	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
320	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
357	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
392	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
404	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
345	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
332	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
417	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
403	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
418	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
346	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
331	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
419	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
402	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
347	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
330	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
321	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
393	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
356	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
420	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
401	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
348	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
329	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
421	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
400	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
349	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
328	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
322	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
422	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
394	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
355	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
399	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
424	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
350	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
327	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
423	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
323	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
395	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
354	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
398	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
326	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
351	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
397	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
396	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
324	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
325	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
353	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
352	SLU	0,0	57,1	59,7	20,7%	si	19,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
431	SLU	0,0	57,1	59,7	20,1%	si	19,3%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
430	SLU	0,0	57,1	59,7	20,1%	si	19,3%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
432	SLU	0,0	57,1	59,7	20,1%	si	19,2%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
429	SLU	0,0	57,1	59,7	20,0%	si	19,2%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
426	SLVTank	0,0	57,1	59,7	17,8%	si	17,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
425	SLVTank	0,0	57,1	59,7	17,7%	si	17,0%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
291	SLVTank	0,0	57,1	59,7	17,7%	si	16,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
424	SLVTank	0,0	57,1	59,7	17,6%	si	16,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
423	SLVTank	0,0	57,1	59,7	17,6%	si	16,9%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
427	SLVTank	0,0	57,1	59,7	17,6%	si	16,8%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
422	SLVTank	0,0	57,1	59,7	17,6%	si	16,8%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
292	SLVTank	0,0	57,1	59,7	17,6%	si	16,8%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
290	SLVTank	0,0	57,1	59,7	17,5%	si	16,8%	si	240,0	226,0	238,1	264,0
421	SLVTank	0,0	57,1	59,7	17,5%	si	16,8%	si	240,0	226,0	238,1	264,0

TABELLA: Verifica dei tasselli a terra

Frame	Combo	N <sub>Sd</sub>	V <sub>Sd</sub>	N <sub>Rd</sub>	V <sub>Rd</sub>	% SL	Esito SL
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]
64	SLVAnch	8,5	2,39	13,9	22	72,3%	si
65	SLVAnch	8,7	2,13	13,9	22	72,3%	si
63	SLVAnch	8,4	2,64	13,9	22	72,3%	si
66	SLVAnch	8,8	1,88	13,9	22	72,1%	si
62	SLVAnch	8,2	2,88	13,9	22	72,1%	si
82	SLVAnch	8,5	2,38	13,9	22	72,0%	si
83	SLVAnch	8,3	2,63	13,9	22	72,0%	si
81	SLVAnch	8,7	2,13	13,9	22	72,0%	si
84	SLVAnch	8,2	2,88	13,9	22	71,8%	si
80	SLVAnch	8,8	1,88	13,9	22	71,8%	si
67	SLVAnch	8,9	1,62	13,9	22	71,7%	si
61	SLVAnch	8,0	3,12	13,9	22	71,7%	si
85	SLVAnch	8,0	3,11	13,9	22	71,5%	si
79	SLVAnch	8,9	1,62	13,9	22	71,4%	si
68	SLVAnch	9,0	1,35	13,9	22	71,2%	si
60	SLVAnch	7,8	3,35	13,9	22	71,2%	si
86	SLVAnch	7,8	3,35	13,9	22	71,0%	si
78	SLVAnch	9,0	1,35	13,9	22	71,0%	si
69	SLVAnch	9,1	1,09	13,9	22	70,6%	si
59	SLVAnch	7,6	3,57	13,9	22	70,6%	si
87	SLVAnch	7,5	3,57	13,9	22	70,4%	si
77	SLVAnch	9,1	1,09	13,9	22	70,4%	si
70	SLVAnch	9,2	0,82	13,9	22	69,9%	si
58	SLVAnch	7,3	3,79	13,9	22	69,9%	si
88	SLVAnch	7,3	3,79	13,9	22	69,7%	si
76	SLVAnch	9,2	0,82	13,9	22	69,7%	si
71	SLVAnch	9,2	0,56	13,9	22	69,0%	si
57	SLVAnch	7,1	4,00	13,9	22	69,0%	si
75	SLVAnch	9,2	0,56	13,9	22	68,8%	si
89	SLVAnch	7,0	4,00	13,9	22	68,8%	si
72	SLVAnch	9,3	0,31	13,9	22	68,0%	si
56	SLVAnch	6,8	4,21	13,9	22	67,9%	si
74	SLVAnch	9,2	0,31	13,9	22	67,9%	si
90	SLVAnch	6,8	4,21	13,9	22	67,8%	si
73	SLVAnch	9,3	0,14	13,9	22	67,3%	si
55	SLVAnch	6,5	4,40	13,9	22	66,8%	si
91	SLVAnch	6,5	4,40	13,9	22	66,7%	si
54	SLVAnch	6,2	4,59	13,9	22	65,5%	si
92	SLVAnch	6,2	4,59	13,9	22	65,4%	si
53	SLVAnch	5,9	4,77	13,9	22	64,1%	si
93	SLVAnch	5,9	4,77	13,9	22	64,0%	si
52	SLVAnch	5,6	4,94	13,9	22	62,6%	si
94	SLVAnch	5,6	4,94	13,9	22	62,4%	si
51	SLVAnch	5,2	5,10	13,9	22	60,9%	si
95	SLVAnch	5,2	5,10	13,9	22	60,8%	si
50	SLVAnch	4,9	5,25	13,9	22	59,2%	si
96	SLVAnch	4,9	5,26	13,9	22	59,0%	si
49	SLVAnch	4,6	5,39	13,9	22	57,3%	si
97	SLVAnch	4,5	5,40	13,9	22	57,1%	si
48	SLVAnch	4,2	5,52	13,9	22	55,3%	si
98	SLVAnch	4,2	5,53	13,9	22	55,0%	si
47	SLVAnch	3,8	5,64	13,9	22	53,2%	si
99	SLVAnch	3,8	5,65	13,9	22	52,9%	si
46	SLVAnch	3,5	5,75	13,9	22	51,0%	si
100	SLVAnch	3,4	5,76	13,9	22	50,7%	si
45	SLVAnch	3,1	5,85	13,9	22	48,7%	si
101	SLVAnch	3,0	5,86	13,9	22	48,4%	si
44	SLVAnch	2,7	5,94	13,9	22	46,3%	si
102	SLVAnch	2,6	5,94	13,9	22	46,0%	si
43	SLVAnch	2,3	6,02	13,9	22	43,8%	si
103	SLVAnch	2,3	6,02	13,9	22	43,6%	si
42	SLVAnch	1,9	6,08	13,9	22	41,3%	si
104	SLVAnch	1,9	6,08	13,9	22	41,0%	si
41	SLVAnch	1,5	6,13	13,9	22	38,6%	si
105	SLVAnch	1,5	6,13	13,9	22	38,4%	si
40	SLVAnch	1,1	6,18	13,9	22	35,9%	si
106	SLVAnch	1,1	6,18	13,9	22	35,7%	si
39	SLVAnch	0,7	6,21	13,9	22	33,1%	si
107	SLVAnch	0,7	6,20	13,9	22	32,9%	si
38	SLVAnch	0,3	6,22	13,9	22	30,2%	si
108	SLVAnch	0,3	6,22	13,9	22	30,1%	si
37	SLVAnch	-0,2	6,23	13,9	22	28,3%	si
109	SLVAnch	-0,2	6,23	13,9	22	28,3%	si
36	SLVAnch	-0,6	6,22	13,9	22	28,3%	si
110	SLVAnch	-0,6	6,22	13,9	22	28,3%	si
35	SLVAnch	-1,0	6,21	13,9	22	28,2%	si

Frame	Combo	N <sub>Sd</sub>	V <sub>Sd</sub>	N <sub>Rd</sub>	V <sub>Rd</sub>	% SL	Esito SL
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]
111	SLVAnch	-1,0	6,20	13,9	22	28,2%	si
34	SLVAnch	-1,4	6,18	13,9	22	28,1%	si
112	SLVAnch	-1,4	6,18	13,9	22	28,1%	si
113	SLVAnch	-1,8	6,13	13,9	22	27,9%	si
33	SLVAnch	-1,8	6,13	13,9	22	27,9%	si
114	SLVAnch	-2,2	6,08	13,9	22	27,6%	si
32	SLVAnch	-2,2	6,08	13,9	22	27,6%	si
115	SLVAnch	-2,6	6,02	13,9	22	27,4%	si
31	SLVAnch	-2,6	6,02	13,9	22	27,3%	si
116	SLVAnch	-3,0	5,94	13,9	22	27,0%	si
30	SLVAnch	-3,0	5,94	13,9	22	27,0%	si
117	SLVAnch	-3,4	5,85	13,9	22	26,6%	si
29	SLVAnch	-3,4	5,85	13,9	22	26,6%	si
118	SLVAnch	-3,8	5,76	13,9	22	26,2%	si
28	SLVAnch	-3,8	5,75	13,9	22	26,2%	si
119	SLVAnch	-4,1	5,65	13,9	22	25,7%	si
27	SLVAnch	-4,2	5,64	13,9	22	25,7%	si
120	SLVAnch	-4,5	5,53	13,9	22	25,1%	si
26	SLVAnch	-4,5	5,52	13,9	22	25,1%	si
121	SLVAnch	-4,9	5,40	13,9	22	24,5%	si
25	SLVAnch	-4,9	5,39	13,9	22	24,5%	si
122	SLVAnch	-5,2	5,26	13,9	22	23,9%	si
24	SLVAnch	-5,2	5,25	13,9	22	23,9%	si
123	SLVAnch	-5,6	5,11	13,9	22	23,2%	si
23	SLVAnch	-5,6	5,10	13,9	22	23,2%	si
124	SLVAnch	-5,9	4,95	13,9	22	22,5%	si
22	SLVAnch	-5,9	4,94	13,9	22	22,5%	si
125	SLVAnch	-6,2	4,78	13,9	22	21,7%	si
21	SLVAnch	-6,2	4,77	13,9	22	21,7%	si
126	SLVAnch	-6,5	4,60	13,9	22	20,9%	si
20	SLVAnch	-6,5	4,60	13,9	22	20,9%	si
19	SLVAnch	-6,8	4,41	13,9	22	20,0%	si
127	SLVAnch	-6,8	4,41	13,9	22	20,0%	si
18	SLVAnch	-7,1	4,21	13,9	22	19,2%	si
128	SLVAnch	-7,1	4,21	13,9	22	19,2%	si
17	SLVAnch	-7,4	4,01	13,9	22	18,2%	si
129	SLVAnch	-7,4	4,01	13,9	22	18,2%	si
16	SLVAnch	-7,6	3,80	13,9	22	17,3%	si
130	SLVAnch	-7,6	3,80	13,9	22	17,3%	si
15	SLVAnch	-7,9	3,58	13,9	22	16,3%	si
131	SLVAnch	-7,9	3,58	13,9	22	16,3%	si
14	SLVAnch	-8,1	3,36	13,9	22	15,3%	si
132	SLVAnch	-8,1	3,36	13,9	22	15,3%	si
13	SLVAnch	-8,3	3,13	13,9	22	14,2%	si
133	SLVAnch	-8,3	3,13	13,9	22	14,2%	si
12	SLVAnch	-8,5	2,89	13,9	22	13,1%	si
134	SLVAnch	-8,5	2,89	13,9	22	13,1%	si
11	SLVAnch	-8,7	2,65	13,9	22	12,0%	si
135	SLVAnch	-8,7	2,65	13,9	22	12,0%	si
10	SLVAnch	-8,9	2,40	13,9	22	10,9%	si
136	SLVAnch	-8,8	2,40	13,9	22	10,9%	si
9	SLVAnch	-9,0	2,15	13,9	22	9,8%	si
137	SLVAnch	-9,0	2,15	13,9	22	9,8%	si
8	SLVAnch	-9,2	1,89	13,9	22	8,6%	si
138	SLVAnch	-9,1	1,89	13,9	22	8,6%	si
7	SLVAnch	-9,3	1,64	13,9	22	7,4%	si
139	SLVAnch	-9,2	1,63	13,9	22	7,4%	si
6	SLVAnch	-9,4	1,38	13,9	22	6,3%	si
140	SLVAnch	-9,3	1,37	13,9	22	6,2%	si
5	SLVAnch	-9,4	1,12	13,9	22	5,1%	si
141	SLVAnch	-9,4	1,12	13,9	22	5,1%	si
4	SLVAnch	-9,5	0,86	13,9	22	3,9%	si
142	SLVAnch	-9,5	0,86	13,9	22	3,9%	si
143	SLVAnch	-9,5	0,61	13,9	22	2,8%	si
3	SLVAnch	-9,5	0,61	13,9	22	2,8%	si
144	SLVAnch	-9,6	0,39	13,9	22	1,8%	si
2	SLVAnch	-9,5	0,39	13,9	22	1,8%	si
11	SLU	-0,8	0,32	13,9	22	1,5%	si
27	SLU	-0,8	0,32	13,9	22	1,5%	si
83	SLU	-0,8	0,32	13,9	22	1,5%	si
99	SLU	-0,8	0,32	13,9	22	1,5%	si
82	SLU	-0,8	0,32	13,9	22	1,5%	si
100	SLU	-0,8	0,32	13,9	22	1,5%	si
28	SLU	-0,8	0,32	13,9	22	1,5%	si
10	SLU	-0,8	0,32	13,9	22	1,5%	si
84	SLU	-0,7	0,32	13,9	22	1,5%	si