



00	09/2022	PRIMA EMISSIONE	ETC	ETC	AC
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
<b>PROGETTO</b> <b>W01M</b> <b>Revamping dell'impianto di depurazione di Bellinzago Novarese - Via Ticino (NO)</b>					
<b>LIVELLO DI PROGETTAZIONE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>TITOLO ELABORATO</b> <b>Relazione di predimensionamento delle strutture</b>					
<b>COMMESSA</b> <b>10043353</b>		<b>CODICE ELABORATO</b> <b>D-R-110-15</b>		<b>CUP</b> <b>D11D22000130006</b>	
				<b>SCALA</b> <b>-</b>	
<b>IL PROGETTISTA</b>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> ORDINE DEGLI INGEGNERI  DELLA PROVINCIA DI TRENTO  dott. ing. Angelo Cantatore  Ingegnere civile e ambientale, industriale e dell'informazione  Iscritto al N. 2532 d'Albo - Sezione A degli Ingegneri </div> <p><b>ETC ENGINEERING S.R.L.</b>  Via Praga, 7 - 38121 Trento (TN)  Tel: 0461 825966 - Fax: 0461 825966  web. www.etc-eng.it - e-mail: info@etc-eng.it</p>				<b>DATA</b> <b>09/2022</b>	
 <p>Via generali, 91  28100 Novara (NO)  Tel: 0321.413790</p>		<b>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b> <b>Ing. Giuseppe Caranti</b>		<b>DATA</b> <b>09/2022</b>	
		<b>IL DIRETTORE DEI LAVORI</b>		<b>DATA</b> <b>09/2022</b>	
				<b>PAG. N° DI</b> <b>1 1</b>	

MO0109-Cartiglio-Rev.00

Il presente elaborato non potrà essere riprodotto, nè distribuito senza l'autorizzazione scritta di questa Società che ne detiene la proprietà.

## INDICE

---

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO.....</b>	<b>8</b>
3.1	Inquadramento territoriale dell'area di intervento .....	8
3.2	Caratteristiche del terreno in sito .....	11
3.3	Caratterizzazione sismica del sottosuolo .....	12
3.4	Sintesi degli interventi previsti.....	14
3.5	Descrizione dei materiali .....	16
<b>4</b>	<b>SOFTWARE DI CALCOLO.....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO .....</b>	<b>21</b>
5.1	Carichi permanenti strutturali .....	21
5.2	Spinta a riposo dei terreni .....	21
5.3	Azione statica dovuta al liquido contenuto nelle vasche .....	21
5.4	Carichi variabili.....	22
5.5	Azione sismica – Metodo di Wood.....	23
<b>6</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO – METODO DI ANALISI .....</b>	<b>26</b>
7.1	SLU – Verifiche di resistenza.....	26
7.2	SLE – Verifiche tensionali, fessurazione e deformazione .....	26
7.3	GEO - Verifica carico limite .....	27
7.4	GEO - Verifica cedimenti .....	28
7.5	Opere di sostegno: berlinesi e paratie .....	29
7.5.1	Calcolo della profondità di infissione .....	29
7.5.2	Calcolo delle spinte .....	30
7.5.3	Analisi ad elementi finiti.....	31
<b>8</b>	<b>ANALISI E RISULTATI.....</b>	<b>34</b>
8.1	Sezione pretrattamenti.....	34
8.1.1	Descrizione modello .....	34
8.1.2	Condizioni di carico.....	35

8.1.3 Risultati dell'analisi .....	36
8.1.3.1 SLU – Diagrammi di sollecitazione .....	37
8.1.3.2 SLV – Diagrammi di sollecitazione .....	41
8.1.3.3 SLE – Diagrammi di sollecitazione .....	42
8.1.3.4 SLD – Diagrammi di sollecitazione .....	44
8.1.4 Armatura .....	45
8.1.5 Verifiche .....	46
8.1.5.1 SLU/SLV – Verifiche.....	46
8.1.5.2 Stato limite di esercizio .....	46
8.1.5.3 Stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO) .....	47
8.1.5.4 Calcolo dei cedimenti della fondazione .....	47
8.1.5.5 Verifica di Up-Lift (stato limite di sollevamento) .....	47
8.2 Dissabbiatura – Opere provvisorie.....	48
8.2.1 Lato gruppo antincendio.....	49
8.2.1.1 Condizioni di carico .....	49
8.2.1.2 Caso 1: Modello di calcolo .....	50
8.2.1.3 Caso 1: Risultati micropali.....	51
8.2.1.4 Caso 2: Modello di calcolo .....	56
8.2.1.5 Caso 2: Risultati micropali.....	57
8.2.1.6 Dimensionamento cordolo .....	62
8.2.2 Lato locale .....	64
8.2.2.1 Condizioni di carico .....	64
8.2.2.2 Caso 1: Modello di calcolo .....	65
8.2.2.3 Caso 1: Risultati micropali.....	66
8.2.2.4 Caso 2: Modello di calcolo .....	71
8.2.2.5 Caso 2: Risultati micropali.....	72
8.2.2.6 Dimensionamento cordolo .....	77
8.3 Dissabbiatura – Comparto .....	79
8.3.1 Descrizione modello .....	79
8.3.2 Condizioni di carico.....	80
8.3.3 Risultati dell'analisi .....	81
8.3.3.1 SLU – Diagrammi di sollecitazione .....	81
8.3.3.2 SLV – Diagrammi di sollecitazione .....	83
8.3.3.3 SLE – Diagrammi di sollecitazione .....	83
8.3.3.4 SLD – Diagrammi di sollecitazione .....	84
8.3.4 Armatura .....	85

8.3.5	Verifiche .....	86
8.3.5.1	SLU/SLV – Verifiche.....	86
8.3.5.2	Stato limite di esercizio .....	87
8.3.5.3	Stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO) .....	88
8.3.5.4	Calcolo dei cedimenti della fondazione .....	88
8.3.5.5	Verifica di Up-Lift (stato limite di sollevamento).....	88
8.4	Pozzetto di raccolta acque .....	89
8.4.1	Descrizione modello .....	89
8.4.2	Condizioni di carico.....	90
8.4.3	Risultati dell'analisi .....	91
8.4.3.1	SLU – Diagrammi di sollecitazione .....	91
8.4.3.2	SLV – Diagrammi di sollecitazione .....	93
8.4.3.3	SLE – Diagrammi di sollecitazione .....	94
8.4.3.4	SLD – Diagrammi di sollecitazione .....	96
8.4.4	Armatura .....	97
8.4.5	Verifiche .....	98
8.4.5.1	SLU/SLV – Verifiche.....	98
8.4.5.2	Stato limite di esercizio .....	98
8.4.5.3	Stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO) .....	99
8.4.5.4	Calcolo dei cedimenti della fondazione .....	99
8.4.5.5	Verifica di Up-Lift (stato limite di sollevamento).....	99
8.5	Disinfezione .....	100
8.5.1	Descrizione modello .....	100
8.5.2	Condizioni di carico.....	100
8.5.3	Risultati dell'analisi .....	101
8.5.3.1	SLU – Diagrammi di sollecitazione .....	101
8.5.3.2	SLV – Diagrammi di sollecitazione .....	103
8.5.3.3	SLE – Diagrammi di sollecitazione .....	104
8.5.3.4	SLD – Diagrammi di sollecitazione .....	106
8.5.4	Armatura .....	107
8.5.5	Verifiche .....	108
8.5.5.1	SLU/SLV – Verifiche.....	108
8.5.5.2	Stato limite di esercizio .....	109
8.5.5.3	Stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO) .....	110
8.5.5.4	Calcolo dei cedimenti della fondazione .....	110
8.5.5.5	Verifica di Up-Lift (stato limite di sollevamento).....	110



9 CONCLUSIONI.....	111
--------------------	-----

## 1 PREMESSA

---

ETC Engineering srl ha ricevuto da Acqua Novara VCO l'incarico per lo svolgimento del progetto definitivo per *Revamping dell'impianto di depurazione di Bellinzago novarese – via Ticino (NO)*, ubicato nel comune di Bellinzago Novarese.

L'impianto di depurazione è autorizzato a trattare una potenzialità di 36000 AE. Allo stato attuale il carico medio afferente è pari a circa 26300 AE su base idraulica e a circa di 19000 AE su base BOD<sub>5</sub>. L'impianto necessita di un ammodernamento delle strutture nell'ottica di un efficientamento sia dal punto di vista energetico che dell'automazione, in previsione anche di trattare il maggiore carico derivante dal collettamento dei reflui recapitati dal sollevamento di Pombia (carico aggiuntivo di circa 2500 AE a seguito della dismissione dei piccoli impianti di trattamento) e da futuri incrementi di popolazione.

L'intervento prevede nello specifico un upgrading di opere elettromeccaniche, sistemi di misura e la realizzazione ex novo della sezione pretrattamenti, di un dissabbiatore-disoleatore aerato a flusso longitudinale e di una vasca di disinfezione.

Il presente documento rappresenta la relazione di pre-dimensionamento delle strutture: vengono riepilogate le procedure di dimensionamento e i relativi risultati che hanno portato alla definizione degli interventi di progetto.

L'intervento prevede, in relazione agli interventi civili, la realizzazione ex novo della sezione pretrattamenti, di un dissabbiatore longitudinale, di un nuovo pozzetto di raccolta acque e di una vasca di disinfezione.

Il documento si articola nelle seguenti sezioni:

- Riferimenti normativi (capitolo 2);
- Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto (capitolo 3);
- Software di calcolo (capitolo 4);
- Condizioni elementari di calcolo (capitolo 5);
- Combinazioni di carico (capitolo 6);
- Modello di calcolo – Metodo di analisi (capitolo 7);
- Analisi e risultati (capitolo 8);
- Conclusioni (capitolo 9);

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

---

L'intero compendio della progettazione strutturale si basa sui principi fondamentali contenuti nel D.M. 17.01.2018 – “Norme tecniche per le costruzioni”. Le prestazioni e i requisiti di sicurezza relativi alle strutture sono stati pertanto valutati in relazione al complesso degli stati limite che verosimilmente possono verificarsi nel corso della vita utile di progetto degli edifici.

Per quanto attiene l'assegnazione dei carichi di progetto e le modalità di combinazione delle azioni e di conduzione delle verifiche agli stati limite ultimi e d'esercizio, si assumono come riferimento normativo principale i codici riconosciuti a livello internazionale, gli Eurocodici e le norme di calcolo nazionali contenute nel D.M. 17.01.2018.

Si riporta di seguito un elenco completo del corpo normativo cui si riferisce il progetto.

### LEGGI, DECRETI E CIRCOLARI

- L. 5.11.1971, n° 1086 – “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- D.M. Infrastrutture e Trasporti del 17 Gennaio 2018 – Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni”;
- Eurocodice 2 – Parte 1-1 – “Progettazione delle strutture in calcestruzzo”;
- Eurocodice 3 – Parte 1-1 – “Progettazione delle strutture in acciaio - Regole generali e regole per edifici”;
- Eurocodice 3 – Parte 1-8 – “Progettazione delle strutture in acciaio – Progettazione dei collegamenti”;
- Eurocodice 8 – Parte 4 – “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica: Silos, serbatoi e condotte”;
- UNI EN 206:2014 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- UNI 11104:2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206;
- UNI EN 197-1:2011 - Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni;
- UNI 6156:2015 - Cementi resistenti ai solfati - Classificazione e composizione;
- Istruzioni C.N.R. 10024/86: “Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo”.

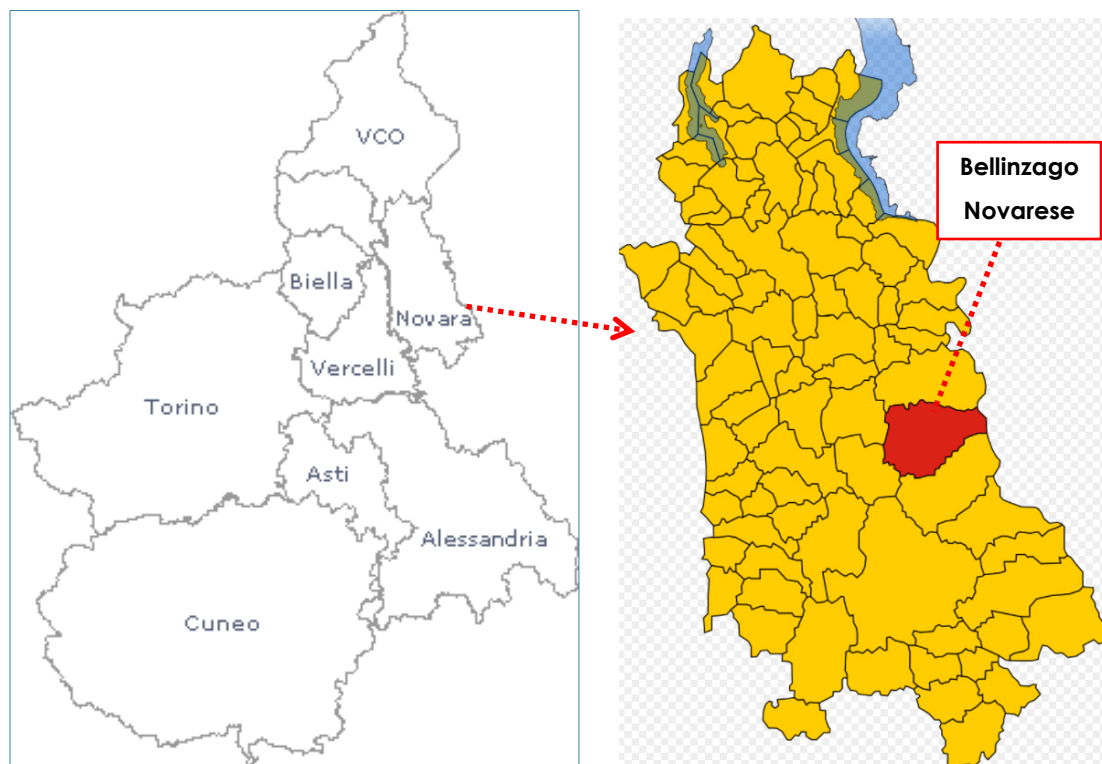
### TESTI CONSULTATI

- Bareš R., Calcolo di lastre e piastre con la teoria elastica lineare, San Marino, 2007;
- Bowles J.E., *Fondazioni. Progetto e analisi*, Milano, McGraw-Hill, 1998;
- Lancellotta R., Calavera J., *Fondazioni*, Milano, McGraw-Hill, 1999;
- Terzaghi K., Peck R.B., *Geotecnica*, Torino, UTET, 2000;
- Lancellotta R., *Geotecnica*, Bologna, 2008.

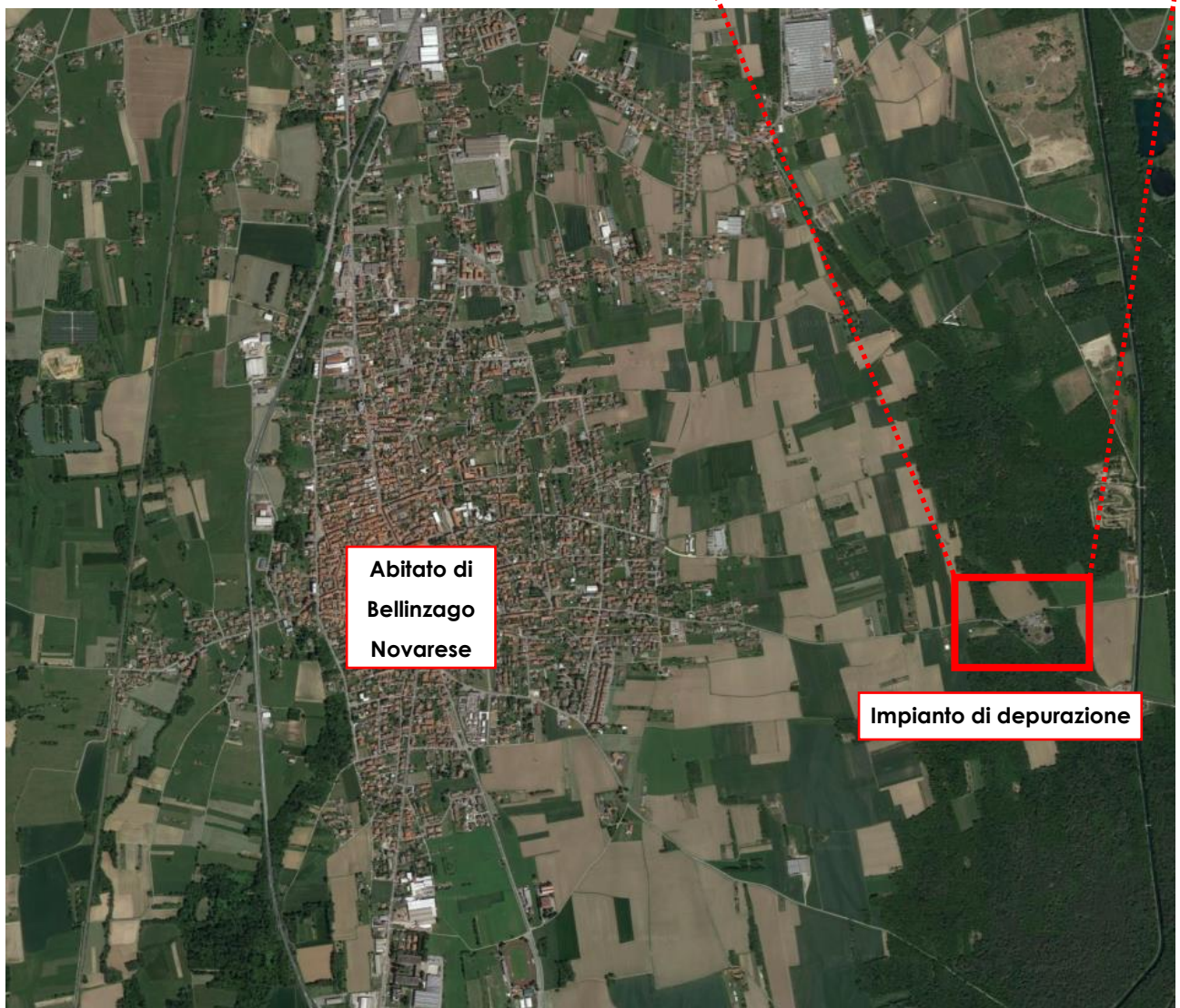
### 3 ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO

#### 3.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA DI INTERVENTO

Il depuratore oggetto del presente studio è sito a Bellinzago Novarese in provincia di Novara, nella Regione Piemonte.



L'impianto di depurazione di Bellinzago Novarese è situato in via Ticino, nell'omonimo comune. Gli interventi di adeguamento e potenziamento dell'impianto riguardano la linea acque e interessano l'attuale sedime dell'impianto, senza richiedere l'acquisizione di ulteriori superfici.



Abitato di  
Bellinzago  
Novarese

Impianto di depurazione



### 3.2 CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN SITO

Facendo riferimento al documento “*Relazione geologica*” a firma del dott. geol. Mattia Bertani, datata ottobre 2021, si riporta in tabella la stratigrafia dei terreni di fondazione e le relative caratteristiche.

Unità	Litologia	Peso Volumetrico naturale $\gamma_d$ [kN/mc]	Peso Volumetrico saturato $\gamma_{Sat}$ [kN/mc]	Angolo d'attrito $\phi'$ [°]	Coesione Drenata ( $c'$ ) [kPa]	Modulo elastico E [kPa]	Coefficiente di Poisson $\nu$ [ad]
<b>R</b>	Terreno di riporto mediamente addensato	18,0	20,0	-	-	-	-
<b>A</b>	Sabbia limosa con ghiaia	15,5	18,0	-	-	-	-
<b>B</b>	Substrato ghiaioso-ciottoloso	19,0	21,0	30	0,0	27-40	0,3

Per l'approfondimento geologico e geotecnico specifico sono state eseguite le seguenti indagini:

- n°2 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 15 m dal p.c., con prelievo di campioni e analisi granulometriche di laboratorio, ed esecuzione di n°10 prove S.P.T in foro;
- n°7 prove penetrometriche dinamiche superpesanti, spinte fino alla profondità massima di 10 m dal p.c. o fino a rifiuto
- 1 prova sismica M.A.S.W.

Per maggiori informazioni fare riferimento alla relazione geologica in allegato.

Secondo quanto riportato in relazione, la falda risulta abbastanza profonda da non interferire con gli scavi: da PRGC la quota dovrebbe risultare all'incirca a 17 m dal p.c., dato avvalorato dal fatto che durante l'esecuzione delle prove in sito l'acquifero non è stata intercettata, ad esclusione del rinvenimento di acqua (ric conducibile ad infiltrazioni) in corrispondenza del sondaggio S1 e della prova penetrometrica S6.

Ai fini delle verifiche geotecniche si considerano i parametri geotecnici dell'unità B.

Unità	Litologia	Peso Volumetrico naturale $\gamma_d$ [kN/mc]	Peso Volumetrico saturato $\gamma_{Sat}$ [kN/mc]	Angolo d'attrito $\phi'$ [°]	Coesione Drenata ( $c'$ ) [kPa]	Modulo elastico E [kPa]	Coefficiente di Poisson $\nu$ [ad]
<b>B</b>	Substrato ghiaioso-ciottoloso	19,0	21,0	30	0,0	27-40	0,3

### 3.3 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

Per quanto riguarda la classificazione sismica, il Comune di Bellinzago Novarese è inserito in Zona 4 (zona con pericolosità sismica molto bassa) ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Piemonte n. 4-3084 del 12/12/2011 e modificata con la D.G.R. n. 65-7656 del 21 maggio 2014 e con la D.G.R. n.6-887 del 30 dicembre 2019.

La categoria di sottosuolo dell'area è stata determinata mediante la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio, ottenuta con una sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita come:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Il valore di  $V_{S,30}$  è risultato pari a 323 m/s e quindi il terreno appartiene alla categoria C: depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

I parametri sismici impiegati nell'analisi, eseguita tramite il programma Spettri NTC 1.03 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, risultano:

Coordinate del sito in esame (ED50 EPSG 4230):

latitudine: 45,5697

longitudine: 8,6443

Valore minimo della Vita nominale  $V_N$  di progetto 50 anni (Tab. 2.4.I., NTC 2018)

- Classe d'uso II (§. 2.4.2., NTC 2018)
- Coefficiente d'uso  $C_u$  1.0 (Tab. 2.4.II., NTC 2018)
- Periodo di riferimento  $V_R$  50 anni (§. 2.4.3., NTC 2018)
- Categoria di sottosuolo C
- Categoria topografica T1

Ai fini delle analisi si applicano gli spettri previsti da normativa: in particolare, facendo riferimento alla mappa della pericolosità sismica INGV si ricavano i seguenti spettri elastici:



SLV		Parametri	
T[sec]	Se[g]	a <sub>g</sub>	0,037
0,000	0,075	F <sub>0</sub>	2,606
0,147	0,197	T <sub>c</sub> *	0,275
0,442	0,197	S <sub>s</sub>	1,500
0,505	0,172	C <sub>c</sub>	1,607
0,567	0,153	S <sub>t</sub>	1,000
0,629	0,138		
0,691	0,126		
0,754	0,115		
0,816	0,107		
0,878	0,099		
0,940	0,093		
1,002	0,087		
1,065	0,082		
1,127	0,077		
1,189	0,073		
1,251	0,070		
1,314	0,066		
1,376	0,063		
1,438	0,060		
1,500	0,058		
1,563	0,056		
1,625	0,054		
1,687	0,052		
1,749	0,050		
1,856	0,044		
1,964	0,039		
2,071	0,035		
2,178	0,032		
2,285	0,029		
2,392	0,027		
2,499	0,024		
2,607	0,022		
2,714	0,021		
2,821	0,019		
2,928	0,018		
3,035	0,017		
3,143	0,015		
3,250	0,014		
3,357	0,014		
3,464	0,013		
3,571	0,012		
3,678	0,011		
3,786	0,011		
3,893	0,010		
4,000	0,010		

SLD		Parametri	
T[sec]	Se[g]	a <sub>g</sub>	0,018
0,000	0,036	F <sub>0</sub>	2,519
0,107	0,091	T <sub>c</sub> *	0,169
0,320	0,091	S <sub>s</sub>	1,500
0,384	0,076	C <sub>c</sub>	1,887
0,448	0,065	S <sub>t</sub>	1,000
0,513	0,057		
0,577	0,051		
0,641	0,045		
0,706	0,041		
0,770	0,038		
0,835	0,035		
0,899	0,032		
0,963	0,030		
1,028	0,028		
1,092	0,027		
1,157	0,025		
1,221	0,024		
1,285	0,023		
1,350	0,022		
1,414	0,021		
1,479	0,020		
1,543	0,019		
1,607	0,018		
1,672	0,017		
1,783	0,015		
1,893	0,014		
2,004	0,012		
2,115	0,011		
2,226	0,010		
2,337	0,009		
2,448	0,008		
2,559	0,007		
2,670	0,007		
2,780	0,006		
2,891	0,006		
3,002	0,005		
3,113	0,005		
3,224	0,005		
3,335	0,004		
3,446	0,004		
3,557	0,004		
3,667	0,004		
3,778	0,003		
3,889	0,003		
4,000	0,003		

### 3.4 SINTESI DEGLI INTERVENTI PREVISTI

- Realizzazione di una nuova **sezione pretrattamenti**

La struttura, in c.a. gettato in opera, verrà realizzata nelle immediate vicinanze dell'ingresso all'impianto, previa demolizione delle strutture di trattamento esistenti che risultino interferenti con le opere di progetto: per limitare le lavorazioni di scavo si prevede la parziale demolizione della testa muro della vasca di dissabbiatura esistente, che verrà semplicemente riempita di materiale proveniente da cava fino al raggiungimento della quota per la realizzazione della fondazione stradale della viabilità di progetto.

Per garantire la discontinuità strutturale con il manufatto di ingresso esistente le strutture verranno gettate garantendo uno strato di separazione di 10 cm riempito in materiale deformabile (tipo polistirolo); l'opera di progetto sarà composta da una sezione di grigliatura grossolana e una sezione di grigliatura fine: i due comparti, a pianta rettangolare, risulteranno complessivamente di dimensioni 3,7 x 19,80 mq e insisteranno sulla medesima struttura di fondazione a platea di spessore 30 cm, posta alla quota di 0,94 m dal piano campagna di progetto; le elevazioni, di spessore 25 cm e altezza complessiva 2,40 m, risulteranno quindi fuori terra per uno sviluppo pari a 1,46 m.

A completamento dell'opera, il comparto risulterà munito di passerelle correnti sul testa-muro e di relative scale e parapetti in carpenteria metallica, al fine di permettere agli operatori l'accesso alla strumentazione di progetto.

- Realizzazione di un nuovo **dissabbiatore longitudinale**

La struttura, in c.a. gettato in opera, verrà realizzata nei pressi del nuovo comparto di pretrattamento, previa demolizione degli esistenti canali per l'alloggiamento delle tubazioni di processo, e risulterà situata tra l'attuale comparto di disinfezione, da convertire a volume di accumulo antincendio e il locale disidratazione fanghi, esistenti e non oggetto di demolizione.

L'opera, di dimensioni in pianta pari a 6,80 x 19,70 mq, risulterà composta da due pozzetti, di ingresso e uscita, di lunghezza 2,30 e 3,40 m, un volume di trattamento principale di sviluppo 14,0 m e una tramoggia di raccolta di lunghezza pari a 2,5 m; le strutture di fondazione dell'opera risulteranno due platee di spessore 50 cm relativamente alla sezione di ingresso e per la sezione di dissabbiatura, situate rispettivamente alla quota di 3,86 e 5,36 m di profondità dal p.c.; le elevazioni, perimetrali di spessore 40 cm e interne di spessore 30 cm, risulteranno fuori-terra di circa 1,2 m e saranno completate da passerelle correnti sul testa-muro e di relative scale e parapetti in carpenteria metallica, al fine di permettere agli operatori l'accesso alla strumentazione di progetto. Data la vicinanza con le opere esistenti, al fine di evitare lo scalzamento del piano di posa delle fondazioni della vasca di disinfezione e del limitrofo locale, si rende necessaria la protezione del fronte di scavo risultante mediante la realizzazione di due berlinesi di micropali, il cui dimensionamento è esplicitato nel relativo paragrafo.

- Realizzazione di un nuovo **pozzetto di raccolta acque**

Il pozzetto di raccolta acque esistente risulta in posizione interferente con la realizzazione del nuovo comparto di dissabbiatura di progetto; pertanto, ne risulta necessaria la demolizione e la ricostruzione in una zona limitrofa dell'impianto, a circa 12 m a est dalla posizione attuale: la struttura, in c.a. gettato in opera, sarà composta da una platea di fondazione di dimensioni in pianta pari a 2,7x2,7 mq e spessore 25 cm ed elevazioni di altezza 4,0 m e spessore 25 cm anch'esse. La struttura risulterà completamente interrata e, poiché nell'area destinata alla realizzazione è previsto il transito di mezzi funzionali alle operazioni dell'impianto, in sommità sarà presente un grigliato di chiusura carrabile.

- Realizzazione di una nuova **vasca di disinfezione**

La struttura, in c.a. gettato in opera, verrà realizzata nella zona sud-est dell'impianto, e risulterà situata tra l'esistente sedimentatore secondario (in funzione) e l'ex percolatore (dismesso): in particolare l'opera risulterà situata in corrispondenza della dismessa vasca di ossidazione, di dimensioni in pianta 8,6 x 14,6 mq, le cui elevazioni sui lati nord-est e nord-ovest dovranno essere parzialmente demolite per fare spazio al manufatto di progetto, di dimensioni in pianta 7,2 x 17,4 mq; inoltre, risulterà necessario prevedere 0,36 m di riempimento in misto cementato per l'innalzamento del fondo vasca esistente fino alla quota di imposta delle fondazioni di progetto, pari a 3,15 m dal p.c. di progetto.

Il nuovo comparto di disinfezione sarà realizzato su una fondazione a platea di spessore 40 cm, sulla quale insisteranno elevazioni perimetrali anch'essi di spessore 40 cm e setti divisorii interni di spessore 30 cm: lo sviluppo delle elevazioni in altezza è pari a 3,0 m; pertanto, l'opera risulterà quindi quasi completamente interrata.

A completamento del comparto sono previsti due pozzetti di dimensioni interne 4,80 x 2,30 mq, solidali con il corpo principale dell'opera, e passerelle correnti sul testa-muro e relativi parapetti in carpenteria metallica, al fine di permettere agli operatori l'accesso alla strumentazione di progetto.

### 3.5 DESCRIZIONE DEI MATERIALI

I materiali utilizzati nella costruzione devono essere oggetto di prove certificanti la rispondenza fra i valori di progetto delle resistenze adottate nel calcolo e le caratteristiche meccaniche dei prodotti posti in opera. Particolare attenzione viene inoltre dedicata alla valutazione delle problematiche connesse alla durabilità delle strutture, facendo riferimento ai più moderni orientamenti normativi.

#### Opere in c.a.

Riferimento normativo: UNI 11104 (Applicazione in Italia della EN 206-1):

**Acciaio per armatura:** Barre ad aderenza migliorata in acciaio tipo B 450 C:

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	450 MPa
Tensione caratteristica a rottura $f_{tk}$	540 MPa
Modulo elastico E	206 Gpa
SLE: in tutte le combinazioni	$\sigma_s < 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

**Calcestruzzo per opere non strutturali: magrone**

Classe di resistenza del calcestruzzo	C 12/15
Resistenza cubica caratteristica a 28 gg	$R_{ck} \geq 15 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica a 28 gg	$f_{ck} \geq 12 \text{ MPa}$
Classe di esposizione	X0

**Calcestruzzo per elementi completamente immersi in acque reflue (fondazioni a platea):**

Classe di resistenza del calcestruzzo	C 32/40
Resistenza cubica caratteristica a 28 gg	$R_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica a 28 gg	$f_{ck} \geq 32 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo allo S.L.U.	$f_{cd} = 18.8 \text{ MPa}$
Modulo elastico	$E_c = 33640 \text{ MPa}$
Classe di esposizione	XC2 + XA2
Massimo rapporto a/c	0,50
Contenuto minimo di cemento	$340 \text{ kg/m}^3$
Tipo di cemento	III ÷ IV
Copriferro minimo	$C_{f,min} \geq 40 \text{ mm}$
Classe minima di consistenza	S4
Diametro massimo dell'inerte	16 mm
SLE: combinazione rara	$\sigma_c < 0.6 f_{ck} = 19,9 \text{ MPa}$
SLE: combinazione quasi permanente	$\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 14,9 \text{ MPa}$

**Calcestruzzo per elementi parzialmente immersi in acque reflue (elevazioni):**

Classe di resistenza del calcestruzzo	C 32/40
Resistenza cubica caratteristica a 28 gg	$R_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica a 28 gg	$f_{ck} \geq 32 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo allo S.L.U.	$f_{cd} = 18.8 \text{ MPa}$
Modulo elastico	$E_c = 33640 \text{ MPa}$
Classe di esposizione	XC4 + XA2
Massimo rapporto a/c	0,50
Contenuto minimo di cemento	340 kg/m <sup>3</sup>
Tipo di cemento	III ÷ IV
Copriferro minimo	$c_{f,min} \geq 40 \text{ mm}$
Classe minima di consistenza	S4
Diametro massimo dell'inerte	16 mm
SLE: combinazione rara	$\sigma_c < 0.6 f_{ck} = 19,9 \text{ MPa}$
SLE: combinazione quasi permanente	$\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 14,9 \text{ MPa}$

**Calcestruzzo per elementi a contatto con terreni non inquinati (fondazioni locali):**

Classe di resistenza del calcestruzzo	C 25/30
Resistenza cubica caratteristica a 28 gg	$R_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica a 28 gg	$f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo allo S.L.U.	$f_{cd} = 14.2 \text{ MPa}$
Modulo elastico	$E_c = 31000 \text{ MPa}$
Classe di esposizione	XC2
Massimo rapporto a/c	0,60
Contenuto minimo di cemento	300 kg/m <sup>3</sup>
Tipo di cemento	I ÷ V
Copriferro minimo	$c_{f,min} \geq 40 \text{ mm}$
Classe minima di consistenza	S4
Diametro massimo dell'inerte	32 mm
SLE: combinazione rara	$s_c < 0.6 f_{ck} = 15,0 \text{ MPa}$
SLE: combinazione quasi permanente	$s_c < 0.45 f_{ck} = 11,25 \text{ MPa}$

**Calcestruzzo per fondazioni profonde (berlinese di micropali)**

Classe di resistenza del calcestruzzo	C 40/50
Resistenza cubica caratteristica a 28 gg	$R_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica a 28 gg	$f_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo allo S.L.U.	$f_{cd} = 22,67 \text{ MPa}$
Modulo elastico	$E_c = 35220 \text{ MPa}$
Classe di esposizione	XC2
Massimo rapporto a/c	0,60
Contenuto minimo di cemento	300 kg/m <sup>3</sup>
Tipo di cemento	I ÷ V
Copriferro minimo	$c_{f,min} \geq 50 \text{ mm}$
Classe minima di consistenza	S5
Diametro massimo dell'inerte	16 mm
SLE: combinazione rara	$s_c < 0.6 f_{ck} = 24,0 \text{ MPa}$
SLE: combinazione quasi permanente	$s_c < 0.45 f_{ck} = 18 \text{ MPa}$

**Acciaio per armatura micropali:**

Riferimento normativo: EN 10025 e 10028-3	
Grado	S 355 JR
Tensione caratteristica di snervamento ( $t \leq 40 \text{ mm}$ )	$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica a rottura ( $t \leq 40 \text{ mm}$ )	$f_{yk,u} = 510 \text{ MPa}$
Modulo elastico	$E = 210 \text{ GPa}$
Modulo di elasticità trasversale	$G = 91,3 \text{ GPa}$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$
Coefficiente di espansione termica lineare	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$
Densità	$\rho = 7860 \text{ kg/m}^3$

***Per classe di esposizione XA2 impiegare cementi ad alta resistenza al dilavamento ARD e ad alta resistenza chimica ai solfati ARS.***

## **Carpenterie metalliche in acciaio zincato**

Riferimento normativo: EN 10025 e 10028-3

<u>Grado</u>	<u>S 275 JR</u>
Certificato secondo	UNI EN 1090
Classe	<u>Travi, pilastri, elementi strutturali:</u> EXC3 <u>Parapetti e grigliati:</u> EXC2
Classe di durabilità	VH (ISO 14713-1:2007)
Necessità prima manutenzione	20-40 anni.
Zincato a caldo conforme a norme	UNI EN ISO 1461
Tensione caratteristica di snervamento ( $t \leq 40$ mm)	$f_{yk} = 275$ MPa
Tensione caratteristica a rottura ( $t \leq 40$ mm)	$f_{yd} = 430$ MPa
Tensione caratteristica di snervamento	( $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$ ) $f_{yk} = 255$ MPa
Tensione caratteristica a rottura	( $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$ ) $f_{yd} = 410$ MPa
Modulo elastico	$E = 210$ Gpa
Modulo di elasticità trasversale	$G = 91,3$ Gpa
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$
Coefficiente di espansione termica lineare	$\alpha = 12 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}^{-1}$
Densità	$\rho = 7860$ kg/m <sup>3</sup>
Corrosività ambientale	C4

## **Carpenteria metallica in acciaio inossidabile AISI 304 L (1.4307)**

Riferimento normativo: EN 1993-1-4

Grado	1.4301
Certificato secondo	UNI EN 1090
Classe	<u>Travi, pilastri, elementi strutturali:</u> EXC3 <u>Parapetti e grigliati:</u> EXC2
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 190$ MPa
Tensione caratteristica a rottura	$f_{uk} = 500$ MPa
Modulo elastico	$E = 200$ GPa
Modulo di elasticità trasversale	$G = 76.9$ GPa
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$
Coefficiente di espansione termica lineare	$\alpha = 15 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}^{-1}$
Densità	$\rho = 7900$ kg/m <sup>3</sup>

## 4 SOFTWARE DI CALCOLO

---

Le elaborazioni tramite calcolatore elettronico sono state eseguite utilizzando i seguenti software:

- Spettri-NTCver.1.0.3.: programma Excel fornito dal Consiglio Superiore Lavori Pubblici per il calcolo degli spettri di risposta rappresentativi le componenti orizzontali e verticali delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale;
- VcaSLU Ver.7.5: programma per il progetto a flessione e a taglio delle sezioni in cemento armato, distribuito in modo libero dal prof. Piero Gelfi, università di Brescia.
- Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021 ver.34.0.0.7777: programma agli elementi finiti utilizzato per la modellazione, l'analisi e il progetto di strutture sia in c.a. che in carpenteria metallica; la struttura viene schematizzata in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale.

Distribuito da Autodesk, il programma è utilizzato con licenza n°564-00099871, concessa a ETC Engineering Srl (15 gennaio 2021 – 31 gennaio 2023).

- PAC - Analisi e Calcolo Paratie ver.16.02 A: programma agli elementi finiti utilizzato per la modellazione, l'analisi e il progetto di paratie, palancolate e scavi sbadacchiati; la struttura viene schematizzata in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti da due coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Distribuito da Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS), il programma è utilizzato con licenza n° AIU6801SP, concessa a ETC Engineering Srl.

I programmi sono testati periodicamente mediante procedure di controllo codificate, tali da verificare l'attendibilità delle applicazioni e dei risultati ottenuti ed individuare eventuali vizi ed anomalie.



## 5 CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO

### 5.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI

Riguarda il peso proprio delle strutture. Il peso per unità di volume del calcestruzzo armato è stato assunto di  $25 \text{ kN/m}^3$ , mentre quello dell'acciaio strutturale è stato considerato pari a  $78,5 \text{ kN/m}^3$ .

### 5.2 SPINTA A RIPOSO DEI TERRENI

Attiene alla spinta, agente sulle pareti, esercitata dalla terra in condizioni di riposo e calcolata tenendo conto delle caratteristiche geotecniche del sito e del materiale impiegato nei rinterri:

$$\gamma_{s,k} = 19,0 \text{ kN/m}^3 ; \varphi' = 30,0^\circ$$

determinando il coefficiente di spinta attiva, secondo la formula:

$$K_0 = 1 - \tan(\varphi') = 0,50$$

La spinta delle terre genera sulle pareti un carico distribuito di forma triangolare, con valore nullo alla quota del piano campagna e massimo alla quota dell'estradosso della fondazione.

Nella determinazione delle spinte orizzontali, è stata trascurata la presenza della falda, in quanto si attesta ad una profondità tale da non interessare le opere di progetto.

Sommità:  $p_{\text{sommità}} = 0$

Quota falda:  $p_{\text{falda}} = K_A \times (\gamma_{d,k} \times H_{\text{falda}})$

Quota fondazione:

$$p_{\text{fondazione}} = K_A \times (\gamma_{d,k} \times H_{\text{falda}} + (\gamma_{s,k} - \gamma_w) \times (H_{\text{fondazione}} - H_{\text{falda}})) + \gamma_w \times (H_{\text{fondazione}} - H_{\text{falda}})$$

essendo  $H_{\text{fondazione}}$ , pari alla profondità della parete rispetto al piano campagna e  $H_{\text{falda}}$ , la profondità della falda rispetto al p.c..

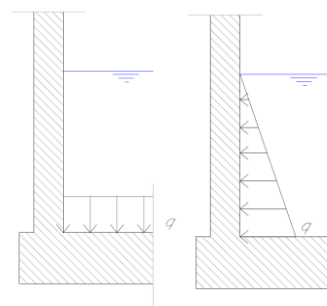
### 5.3 AZIONE STATICA DOVUTA AL LIQUIDO CONTENUTO NELLE VASCHE

Per quanto riguarda il fluido contenuto nelle vasche, la sua densità è prossima a quella dell'acqua limpida; si adotta pertanto cautelativamente:

$$\gamma_{\text{fluido}} = 11 \text{ kN/m}^3;$$

Il liquido contenuto nelle vasche determina quindi una spinta di tipo triangolare sulle pareti di contenimento, calcolata moltiplicando la densità del fluido per la profondità rispetto al pelo libero.

Gli stessi valori di pressione, calcolati sul fondo delle vasche, sono utilizzati per "caricare" l'intradosso della platea di fondazione.



## **5.4 CARICHI VARIABILI**

- Camminamenti: sovraccarico verticale cautelativo (categoria E) pari a  $6,00 \text{ kN/m}^2$ .
- Parapetti: carico variabile orizzontale di  $1,00 \text{ kN/m}^2$ , applicato al corrente superiore.
- Sovraccarico traffico veicolare: in corrispondenza delle strade adiacenti ai manufatti è stato considerato un sovraccarico accidentale di  $20,0 \text{ kN/m}^2$ , applicato al piano viario, che incide sulle condizioni di spinta dei terreni sui manufatti adiacenti.
- Azione della neve su camminamenti e coperture, pari a  $1,1 \text{ kN/m}^2$

## 5.5 AZIONE SISMICA – METODO DI WOOD

Le azioni orizzontali derivanti dallo scuotimento del suolo vengono calcolate moltiplicando le masse interessate per un coefficiente moltiplicativo orizzontale  $k_h$ , determinato secondo la formula seguente:

$$k_{h\_SLV} = a_g/g \times S_s \times S_T = 0,056$$

$$k_{h\_SLD} = a_g/g \times S_s \times S_T = 0,027$$

Attraverso questo procedimento vengono di seguito calcolate l'azione sismica dovuta alle inerzie delle masse strutturali, la sovra-spinta delle terre dovuta al terremoto e la sovra-spinta del fluido sulle pareti delle vasche.

Secondo quanto proposto da Wood, l'azione sismica dovuta alle inerzie delle masse strutturali vale:

$$F_i = k_h \times W$$

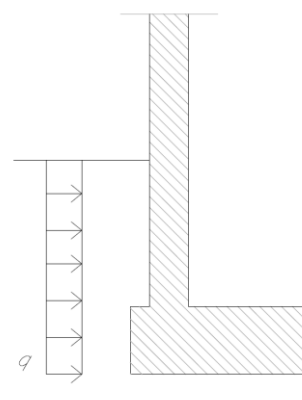
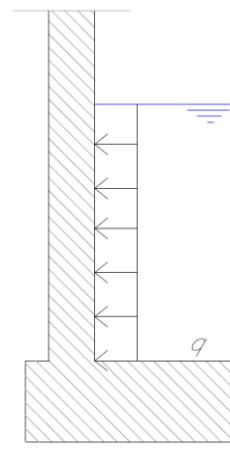
Dove  $W$  è il peso dell'elemento strutturale considerato.

Per il calcolo della sovraspinta sismica  $\Delta S$  del liquido contenuto nelle vasche, si può adottare la medesima formula, ottenendo quanto segue.

$$\Delta S = k_h \times \gamma_r \times H$$

Per il calcolo della sovraspinta sismica  $\Delta P$  dei terreni, si adotta il medesimo approccio:

$$\Delta P = k_h \times \gamma_r \times H$$



## 6 COMBINAZIONI DI CARICO

Il progetto e la verifica degli elementi strutturali seguono il Metodo Semi-Probabilistico agli Stati Limite.

Le condizioni di carico elementari sono state cumulate in modo da determinare situazioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni, con i rispettivi valori più sfavorevoli, come previsto dalle norme vigenti.

<u>N°</u>	<u>Condizione</u>
1	Pesi propri strutturali
2	Pesi propri non strutturali
3	Neve
4	Variabile Cat, E
5	Azione variabile liquido vasche
6	Spinta a riposo delle terre
7	Sisma – Direzione X
8	Sisma – Direzione Y
9	Sisma – Direzione Z

SLU												
Combinazione	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y
SLU01 - Tenuta idraulica - E	1	1,3	2	1,5	3	0,75	4	1,5	5	1,5	6	0,0
SLU02 - Tenuta idraulica - SN	1	1,3	2	1,5	3	1,5	4	1,5	5	1,5	6	0,0
SLU03 - Terreno - E	1	1,3	2	1,5	3	0,75	4	1,5	5	0,0	6	1,5
SLU04 - Terreno - SN	1	1,3	2	1,5	3	1,5	4	1,5	5	0,0	6	1,5
SLU05 - Esercizio - E	1	1,3	2	1,5	3	0,75	4	1,5	5	1,5	6	1,5
SLU06 - Esercizio - SN	1	1,3	2	1,5	3	1,5	4	1,5	5	1,5	6	1,5

SLE												
Combinazione	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y
SLE RARA 01	1	1,0	2	1,0	3	0,5	4	1,0	5	1,0	6	0,0
SLE RARA 02	1	1,0	2	1,0	3	1,0	4	1,0	5	1,0	6	0,0
SLE RARA 03	1	1,0	2	1,0	3	0,5	4	1,0	5	0,0	6	1,0
SLE RARA 04	1	1,0	2	1,0	3	1,0	4	1,0	5	0,0	6	1,0
SLE RARA 05	1	1,0	2	1,0	3	0,5	4	1,0	5	1,0	6	1,0
SLE RARA 06	1	1,0	2	1,0	3	1,0	4	1,0	5	1,0	6	1,0
SLE FREQ 01	1	1,0	2	1,0	3	0,0	4	0,9	5	1,0	6	0,0
SLE FREQ 02	1	1,0	2	1,0	3	0,2	4	0,8	5	1,0	6	0,0
SLE FREQ 03	1	1,0	2	1,0	3	0,0	4	0,9	5	0,0	6	1,0
SLE FREQ 04	1	1,0	2	1,0	3	0,2	4	0,8	5	0,0	6	1,0
SLE FREQ 05	1	1,0	2	1,0	3	0,0	4	0,9	5	1,0	6	1,0
SLE FREQ 06	1	1,0	2	1,0	3	0,2	4	0,8	5	1,0	6	1,0
SLE QP 01	1	1,0	2	1,0	3	0,0	4	0,8	5	1,0	6	0,0
SLE QP 02	1	1,0	2	1,0	3	0,0	4	0,8	5	0,0	6	1,0
SLE QP 03	1	1,0	2	1,0	3	0,0	4	0,8	5	1,0	6	1,0

SLV – SLD																
Combinazione	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y	C	Y
SLV 01	1	1,0	2	1,0	4	1,0	5	1,0	6	1,0	7	1	8	0,3	9	0,3
SLV 02	1	1,0	2	1,0	4	1,0	5	1,0	6	1,0	7	1	8	-0,3	9	0,3
SLV 03	1	1,0	2	1,0	4	1,0	5	1,0	6	1,0	7	-1	8	0,3	9	0,3
SLV 04	1	1,0	2	1,0	4	1,0	5	1,0	6	1,0	7	-1	8	-0,3	9	0,3
SLV 05	1	1,0	2	1,0	4	1,0	5	1,0	6	1,0	7	0,3	8	1	9	0,3
SLV 06	1	1,0	2	1,0	4	1,0	5	1,0	6	1,0	7	-0,3	8	1	9	0,3
SLV 07	1	1,0	2	1,0	4	1,0	5	1,0	6	1,0	7	0,3	8	-1	9	0,3
SLV 08	1	1,0	2	1,0	4	1,0	5	1,0	6	1,0	7	-0,3	8	-1	9	0,3
SLV 09	1	1,0		1,0	4	1,0	5	1,0		1,0	7	0,3	8	0,3	9	1,0
SLV 10	1	1,0		1,0	4	1,0	5	1,0		1,0	7	0,3	8	-0,3	9	1,0
SLV 11	1	1,0		1,0	4	1,0	5	1,0		1,0	7	-0,3	8	0,3	9	1,0
SLV 12	1	1,0	2	1	4	1,0	5	1,0	6	1,0	7	-0,3	8	-0,3	9	1,0

## 7 MODELLO DI CALCOLO – METODO DI ANALISI

---

### 7.1 SLU – VERIFICHE DI RESISTENZA

#### FLESSIONE E TAGLIO

La resistenza degli elementi strutturali viene verificata in relazione alle massime sollecitazioni registrate, flettenti e di taglio; nei corrispondenti paragrafi si riporta il confronto tra azioni e resistenze, eseguito mediante il calcolo di un fattore di sicurezza, corrispondente al rapporto  $R_d/E_d$ , il quale deve risultare superiore all'unità per il soddisfacimento della verifica.

### 7.2 SLE – VERIFICHE TENSIONALI, FESSURAZIONE E DEFORMAZIONE

- **C.a.**

Per gli Stati Limite di Esercizio si confrontano i valori di tensione nel calcestruzzo ( $\sigma_c$ ) e nell'acciaio ( $\sigma_s$ ) con i seguenti limiti (calcestruzzo di classe C32/40):

Tensioni nell'acciaio:	$\sigma_s < 0,8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$	tutte le combinazioni;
Tensioni nel calcestruzzo	$\sigma_c < 0,6 f_{ck} = 15,0 \text{ MPa}$	combinazione rara;
	$\sigma_c < 0,45 f_{ck} = 11,25 \text{ MPa}$	combinazione q.p.;

Per quanto riguarda lo stato limite di apertura delle fessure, con riferimento alla tabella 4.1.IV delle N.T.C.2018, si sono adottati i seguenti limiti:

Classe di esposizione XC2/XC4+XA2, condizioni ambientali aggressive, armatura poco sensibile

$w_3 = 0,3 \text{ mm}$     combinazione frequente

$w_2 = 0,2 \text{ mm}$     combinazione q.p.

### 7.3 GEO - VERIFICA CARICO LIMITE

Il calcolo della capacità portante del terreno di fondazione, nel caso di elementi strutturali bidimensionali, è stato eseguito mediante la formula di Brinch-Hansen, valida per fondazioni a base quadrata o rettangolare; la combinazione adottata per le verifiche geotecniche corrisponde all'approccio 1, combinazione 2 (A1+M1+R3) come indicato in NTC18, in quanto condizione che porta ad ottenere i risultati più gravosi.

Rispetto alla formula trinomia di Terzaghi si introducono i coefficienti correttivi:

- s: fattore di forma – Platea di fondazione
- d: fattore di profondità – Piano di posa
- i: fattore di inclinazione - Risultante di carico
- b: fattore di inclinazione - Piano di posa
- g: fattore di inclinazione - Superficie terreno

La formula per il calcolo della capacità portante risulta quindi:

**Condizioni drenate:** 
$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma + q' N_q s_q d_q i_q b_q g_q + q' N_c s_c d_c i_c b_c g_c$$

Dove  $N_\gamma$ ,  $N_q$ ,  $N_c$  sono fattori di capacità portante; si riportano in seguito le formule impiegate per la stima dei parametri di calcolo ( $b_i = g_i = 1$ ):

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi'}{2} \right) \exp (\pi \tan \varphi')$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \varphi'$$

$$N_c = (N_q - 1) \cotan \varphi'$$

s	d	i
$s_\gamma = 1 + 0.1 \frac{B}{L} \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$	$d_\gamma = 1$	$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{N + B L c' \cot \varphi'} \right]^{m+1}, (*)$
$s_q = s_\gamma$	$d_q = 1 + 2 \frac{D}{B} \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2, B \geq D$ $d_q = 1 + 2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 \tan^{-1}(D/B), B < D$	$i_q = \left[ 1 - \frac{H}{N + B L c' \cot \varphi'} \right]^m, (*)$
$s_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L} \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$	$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \tan \varphi'}$	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan \varphi'}$

$$(*) m = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$$

**Condizioni non drenate:**  $q_{lim} = c_u N_{c,0} s_{c,0} d_{c,0} i_{c,0} b_{c,0} z_{c,0} + q$

$$N_{q_0} = 1$$

$$N_{\gamma_0} = 1$$

$$N_{c_0} = 5,14$$

s	d	i
$s_\gamma = 1 + 0,1 \frac{B}{L} \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$	$d_\gamma = 1$	$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{N + B L c' \cot \varphi'} \right]^{m+1}, (*)$
$s_q = s_\gamma$	$d_q = 1$	$i_q = \left[ 1 - \frac{H}{N + B L c' \cot \varphi'} \right]^m, (*)$
$s_c = 1 + 0,2 \frac{B}{L} \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$	$d_c = 1 + 0,4 \frac{D}{B}, B \geq D$ $d_c = 1 + 0,4 \arctan \frac{D}{B}, B < D$	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan \varphi'}$

## 7.4 GEO - VERIFICA CEDIMENTI

Data la natura dei terreni di fondazione si adotta il metodo di Timoshenko e Goodier (1951), basato sulla teoria dell'elasticità (eq. 5.16 - Fondazioni - Bowles):

$$\Delta H = q_0 B' \frac{(1 - \nu^2)}{E_s} I_s I_F$$

Dove

$q_0$  = intensità della pressione di contatto

$B'$  = minima dimensione laterale dell'area reagente

$I_F$  = coefficiente di riduzione

$$I_s = I_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu} I_2$$

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \left[ M \ln \frac{(1 + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{M^2 + N^2}}{M(1 + \sqrt{1 + M^2 + N^2})} + \ln \frac{(M + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{1 + N^2}}{M + \sqrt{1 + M^2 + N^2}} \right]$$

$$I_2 = \frac{N}{2\pi} \tan^{-1} \left( \frac{M}{N \sqrt{1 + M^2 + N^2}} \right)$$

$$M = L'/B'$$

$$N = H/B'$$

$H$  = spessore dello strato

$$L' = \begin{cases} L/2 & \text{per } I_i \text{ relativi al centro} \\ L & \text{per } I_i \text{ relativi allo spigolo} \end{cases}$$

$$B' = \begin{cases} B/2 & \text{per } I_i \text{ relativi al centro} \\ B & \text{per } I_i \text{ relativi allo spigolo} \end{cases}$$



## 7.5 OPERE DI SOSTEGNO: BERLINESI E PARATIE

### 7.5.1 Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.

Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.

Pertanto, il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).

Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (Centro di rotazione) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).

Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.

Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

- Kam diagramma della spinta attiva agente da monte
- Kav diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
- Kpm diagramma della spinta passiva agente da monte
- Kpv diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$$D_m = K_{pm} - K_{av} \quad e \quad D_v = K_{pv} - K_{am}$$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.

Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione si può agire con tre modalità:

1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su  $\tan(f)$  e sulla coesione

## 7.5.2 Calcolo delle spinte

### Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).

La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione  $r$  rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio ( $W$ ), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura ( $R$  e  $C$ ) e resistenza per coesione lungo la parete ( $A$ );
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta  $S$  sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta  $S$  rispetto all'ordinata  $z$ . Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

### Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa, al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume efficace

$$g' = g_{sat} - g_w$$

dove  $g_{sat}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $g_w$  è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una

pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione esercitata dall'acqua.

Il regime di filtrazione della falda può essere idrostatico o idrodinamico.

Nell'ipotesi di regime idrostatico sia la falda di monte che di valle viene considerata statica, la pressione in un punto a quota  $h$  al di sotto della linea freatica sarà dunque pari a:

$$g_w \times h$$

### **Spinta in presenza di sisma**

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con  $W$  il peso del cuneo e con  $C$  il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W \cdot C$$

Indicando con  $S$  la spinta calcolata in condizioni statiche e con  $S_s$  la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/3 dell'altezza della parete stessa (diagramma triangolare con vertice in alto).

### **7.5.3 Analisi ad elementi finiti**

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia  $I$  e l'area  $A$  per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.

La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti, questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta  $L$  la lunghezza libera del tirante,  $A_f$  l'area di armatura nel tirante ed  $E_s$  il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad  $L$ , area  $A_f$ , inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico  $E_s$ . La parte

interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.

I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

### **Schematizzazione del terreno**

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (costante di Winkler). La costante di sottofondo,  $k$ , è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo  $[F/L^3]$ . È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se  $m$  è l'interasse fra le molle (in cm) e  $b$  è la larghezza della paratia in direzione longitudinale ( $b=100$  cm) l'area equivalente della molla sarà  $A_m=m*b$ .

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidezza flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

### **Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno**

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma **PAC**). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore  $X_{max}$ ; una volta

superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione  $p_{max}$ . Tale pressione  $p_{max}$  può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale ( $K$  matrice di rigidezza,  $u$  vettore degli spostamenti nodali,  $p$  vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale  $p_0$ , fino a raggiungere il carico totale  $p$ . Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassemblaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).

Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti, la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre, dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

## 8 ANALISI E RISULTATI

### 8.1 SEZIONE PRETRATTAMENTI

#### 8.1.1 Descrizione modello

L'analisi delle strutture è stata eseguita mediante il programma di calcolo Autodesk Robot, impiegando il modello analitico tridimensionale ad elementi finiti piani tipo "shell" contestuale alle strutture modellate tramite il software Autodesk Revit.

I vincoli interni alle strutture (collegamenti tra elevazioni ed elevazioni-platea di fondazione) sono stati schematizzati come incastri lineari; l'interazione terreno-struttura è stata simulata nel modello attraverso un letto di molle alla Winkler di costante di sottofondo pari a 8200 kN/m<sup>3</sup>, applicato all'intradosso della fondazione; Il modello è caratterizzato dalle seguenti dimensioni:

Grigliatura		
Platea di fondazione principale	B [m]	3,70
	L [m]	14,20
	Sp. [m]	0,30
	D [m]	1,20
Platea di fondazione tramoggia	B [m]	3,70
	L [m]	2,00
	Sp. [m]	0,30
	D [m]	1,40
Setti	L[m]	3,70 – 16,2
	h [m]	1,50
	Sp. [m]	0,25

### 8.1.2 Condizioni di carico

Sono state prese in considerazione le seguenti azioni:

- Azioni permanenti:
  - pesi propri strutturali delle opere, caratterizzati da una  $\rho_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$ ;
  - Azione statica del fluido contenuto nel manufatto –  $h_{w,tot} = 1,0 \text{ m}$  dall'estradosso della platea di fondazione tramoggia.
  - Azione statica delle terre sui paramenti esterni del manufatto –  $h_{t,tot} = 1,0 \text{ m}$  dall'estradosso della platea di fondazione.
- Azioni variabili:
  - azione variabile  $Q_{CatE} = 6,0 \text{ kN/mq}$  applicata sui camminamenti in quota;
  - azione variabile  $Q_{Sn} = 1,1 \text{ kN/mq}$  applicata sui camminamenti in quota;
  - azione variabile da traffico trasmessa al terreno da mezzi circolanti in prossimità dei manufatti, quantificato pari a  $20 \text{ kN/mq}$ ;
- Azioni sismiche: l'aliquota sismica delle azioni permanenti e la sovra-spinta sismica delle terre e del fluido contenuto all'interno della sezione di trattamento è stata modellata come riportato in (5.5)

### **8.1.3 Risultati dell'analisi**

Le azioni descritte, applicate ai modelli di calcolo e combinate secondo le combinazioni di cui al punto precedente, hanno permesso di ricavare le sollecitazioni agenti sulla struttura, in base alle quali è stato eseguito il dimensionamento.

#### **Convenzioni di segno:**

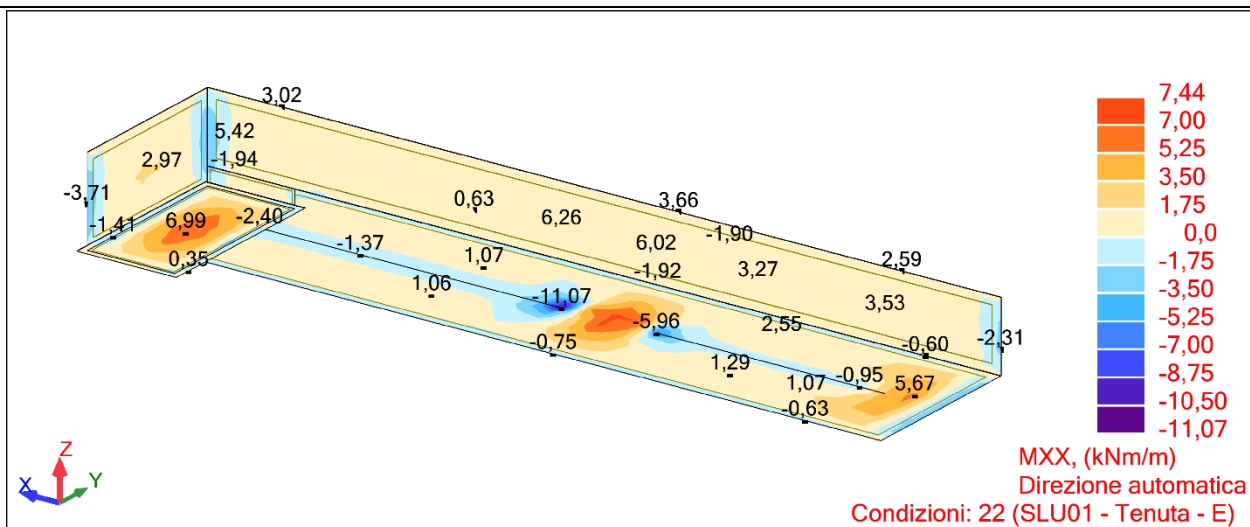
- Azione assiale: positiva se di compressione;
- Momento flettente:
  - nelle pareti, positivo se tende le fibre sul lato esterno della vasca;
  - nelle platee, positivo se tende l'estradosso della fondazione.



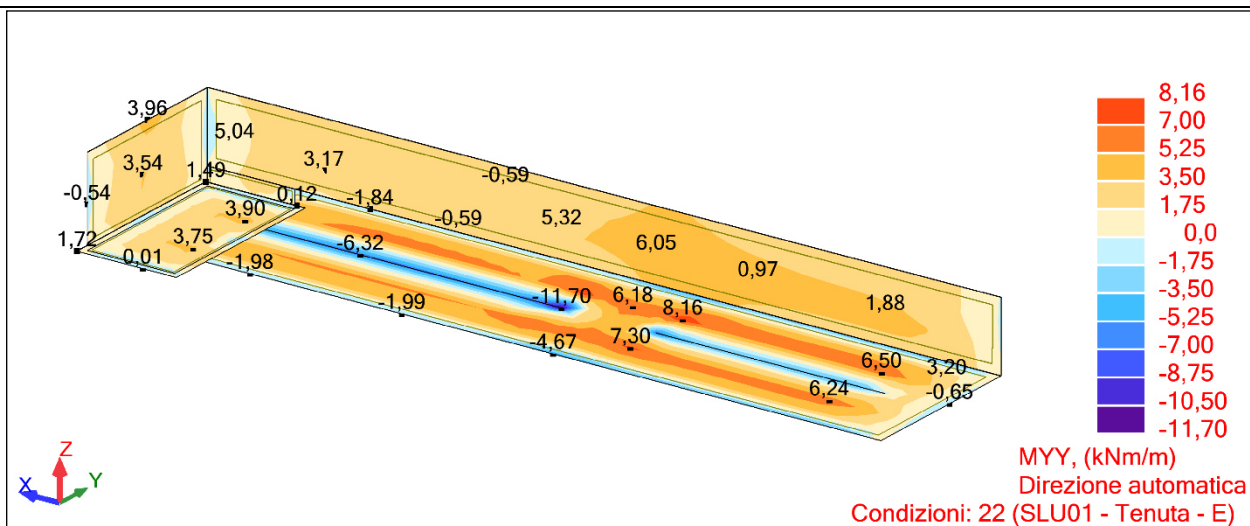
### 8.1.3.1 SLU – Diagrammi di sollecitazione

SLU01

Azione flettente – Mx [kNm]

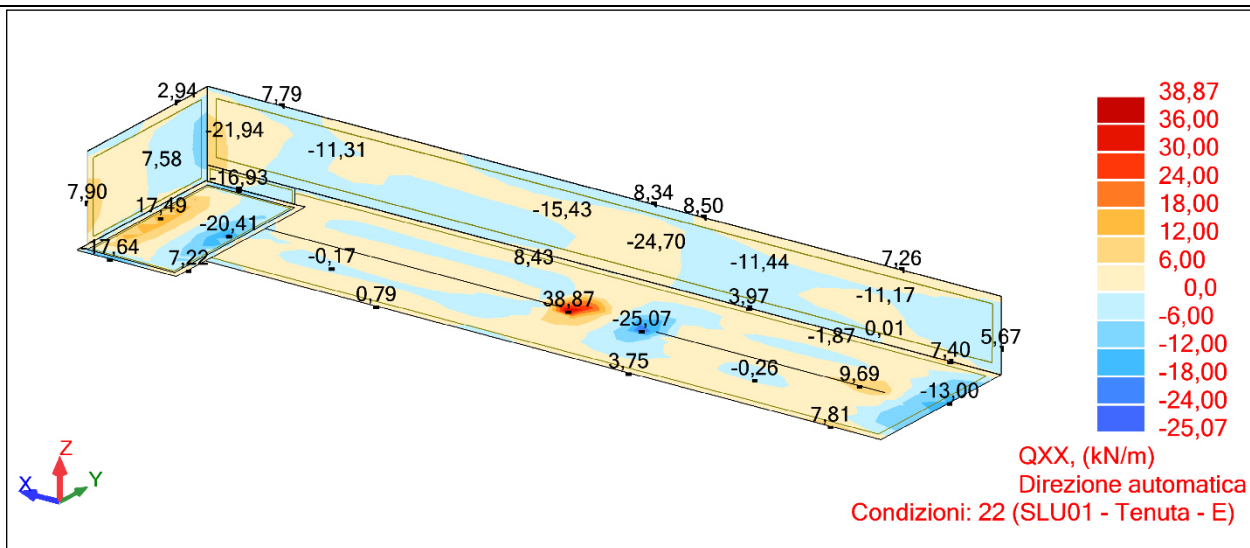


Azione flettente – My [kNm]

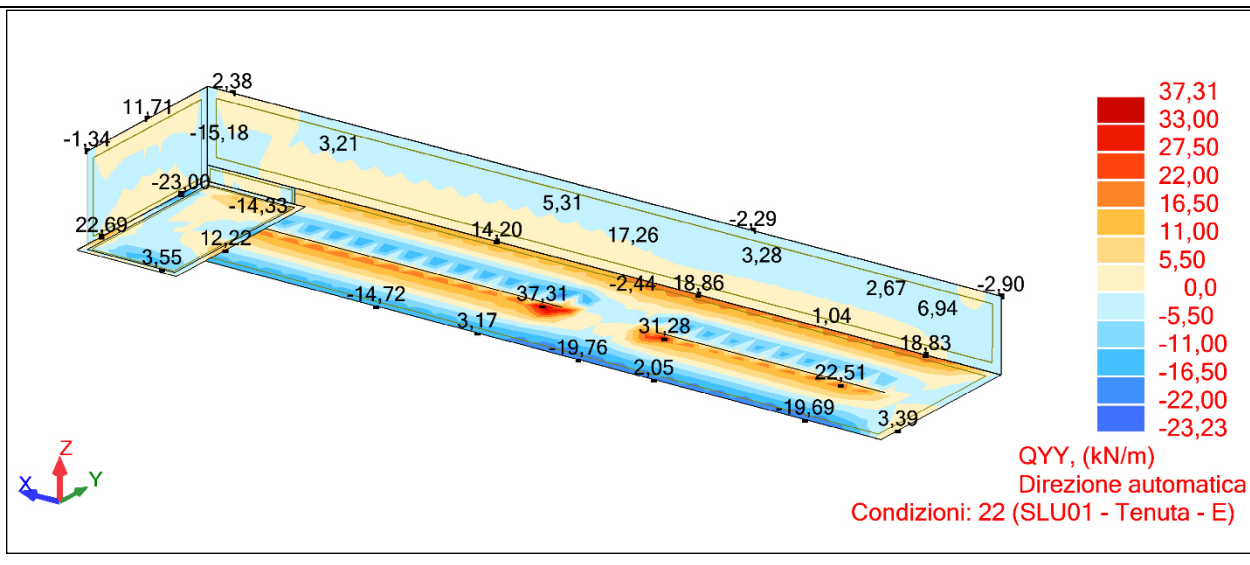


SLU01

Azione tagliante Vx [kN]

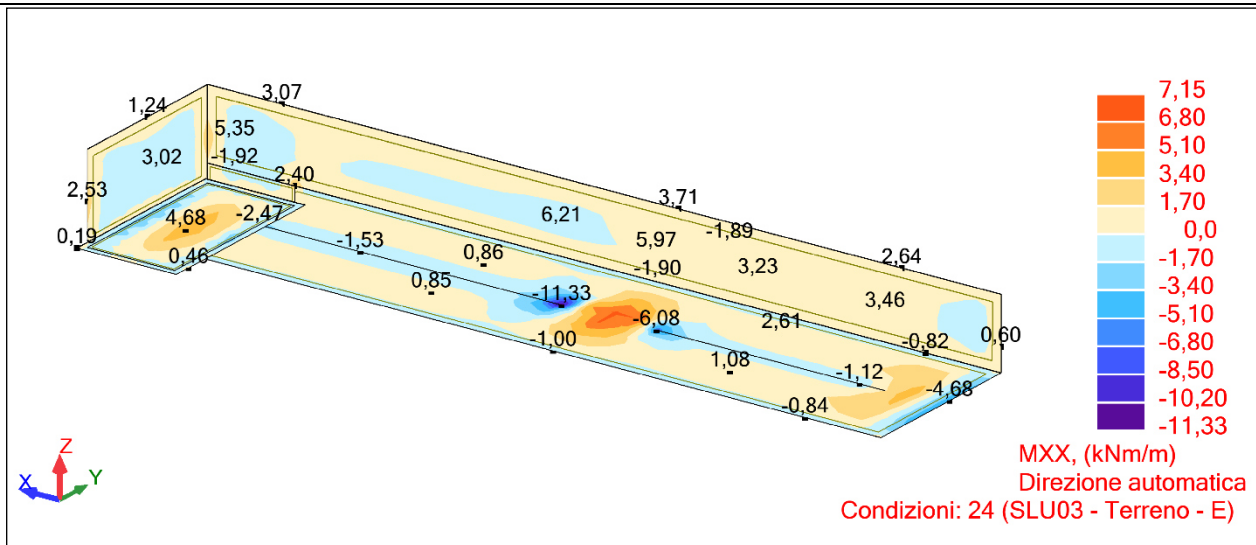


Azione tagliante Vy [kN]

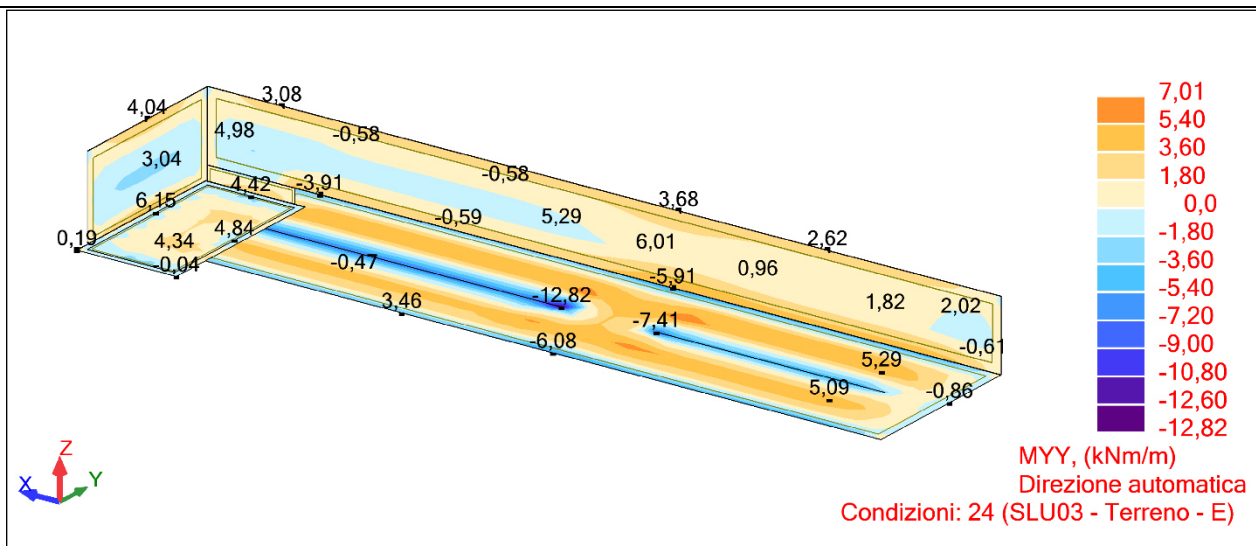


SLU03

Azione flettente – Mx [kNm]

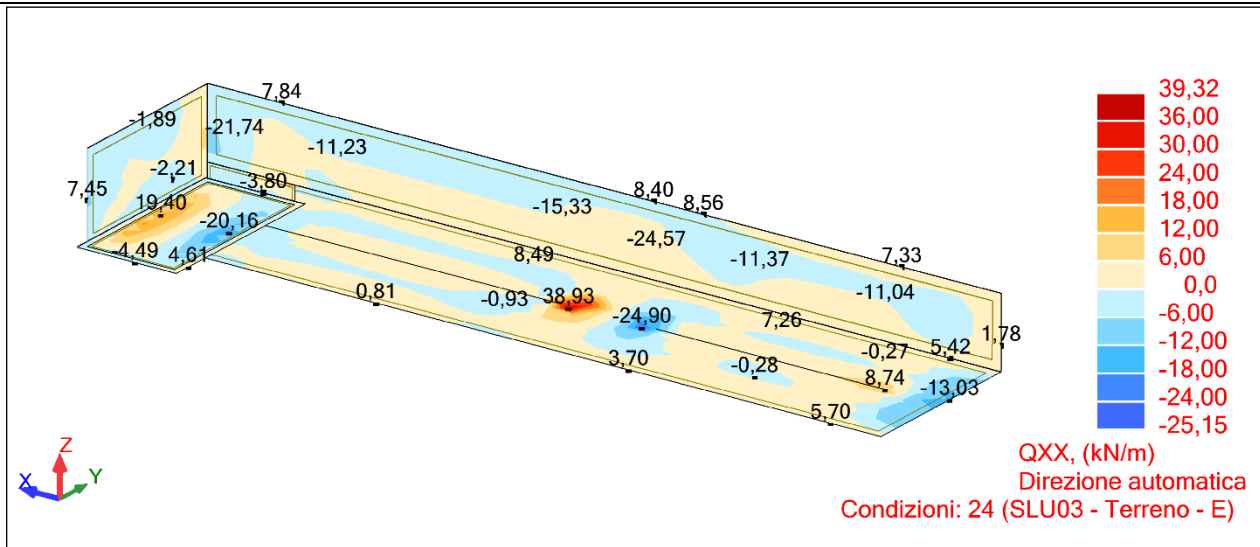


Azione flettente – My [kNm]

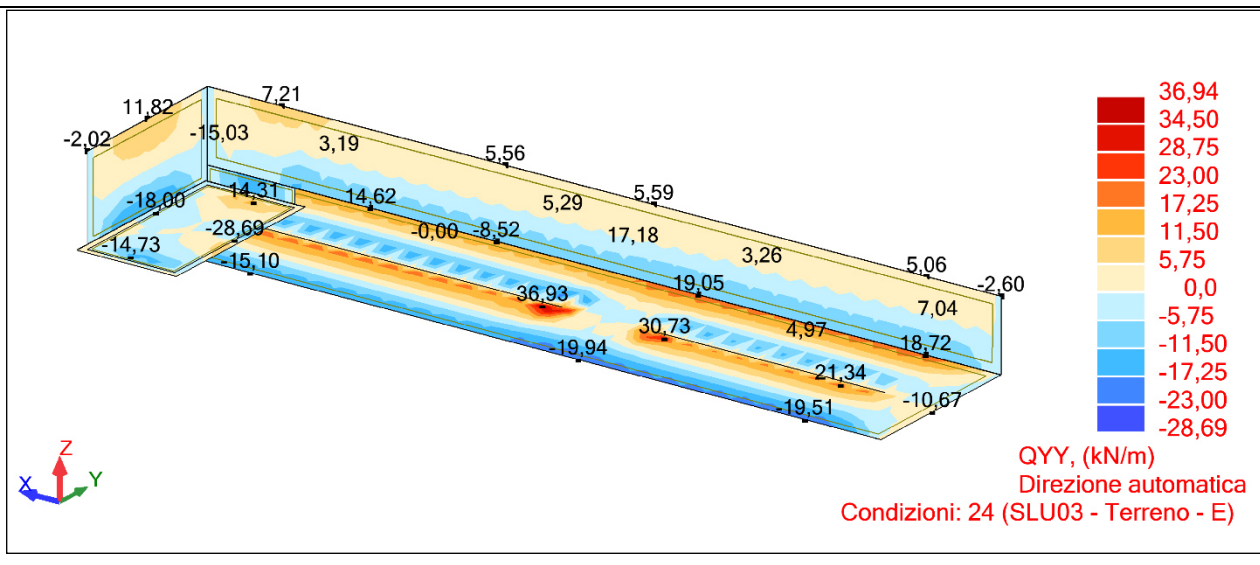


SLU03

Azione tagliante Vx [kN]



Azione tagliante Vy [kN]



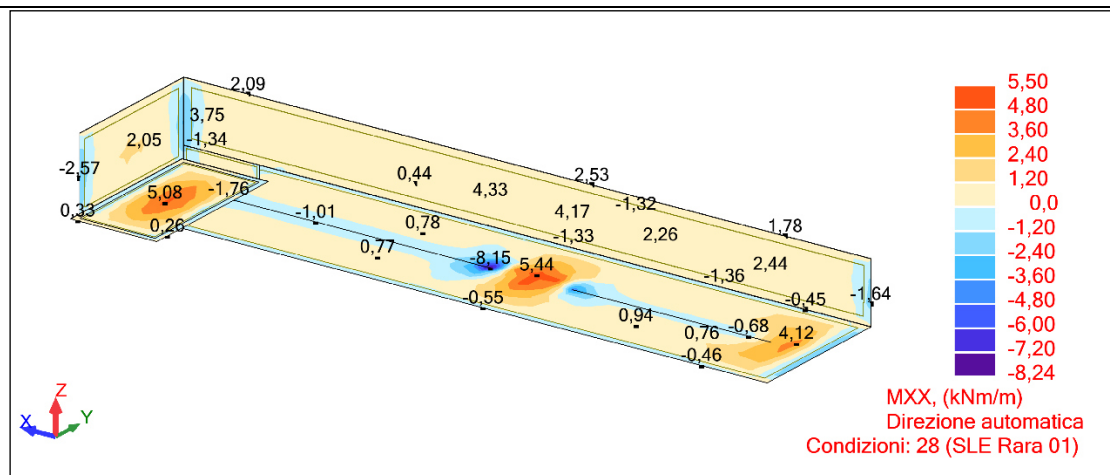
#### **8.1.3.2 SLV – Diagrammi di sollecitazione**

Le sollecitazioni allo Stato Limite di salvaguardia della Vita risultano molto inferiori a quelle ottenute allo Stato Limite Ultimo, pertanto non vengono incluse all'interno della presente relazione.

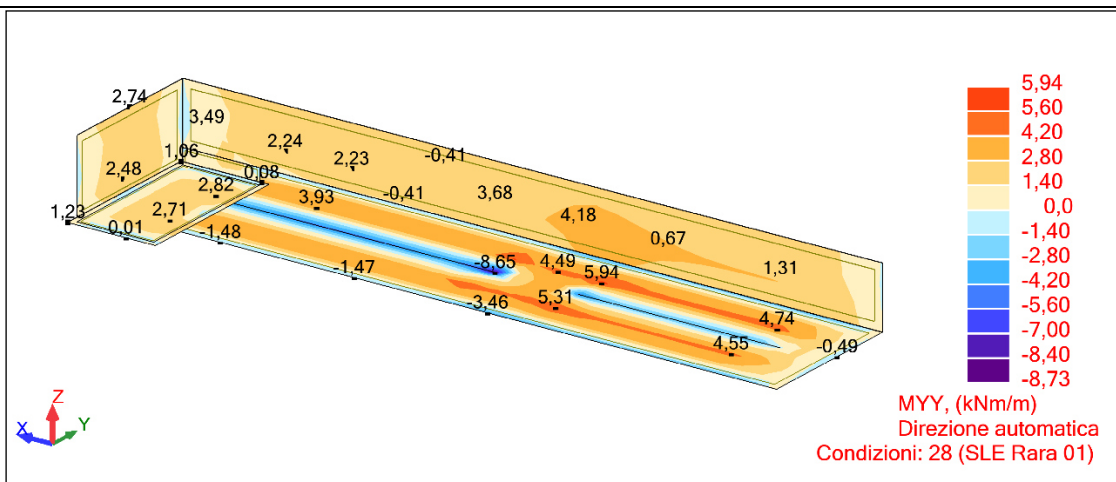
### 8.1.3.3 SLE – Diagrammi di sollecitazione

#### SLE01 – Rara

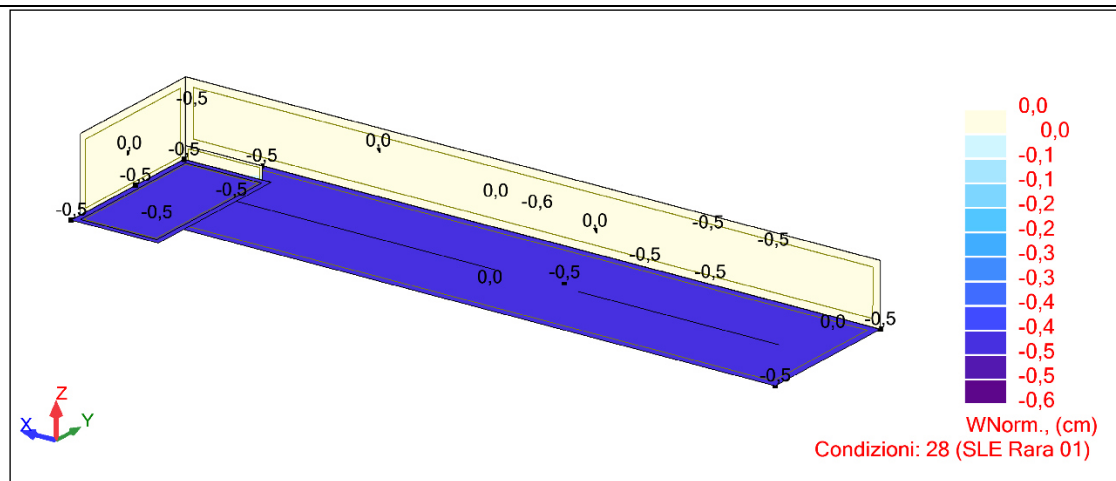
#### Azione flettente – Mx [kNm]



#### Azione flettente – My [kNm]

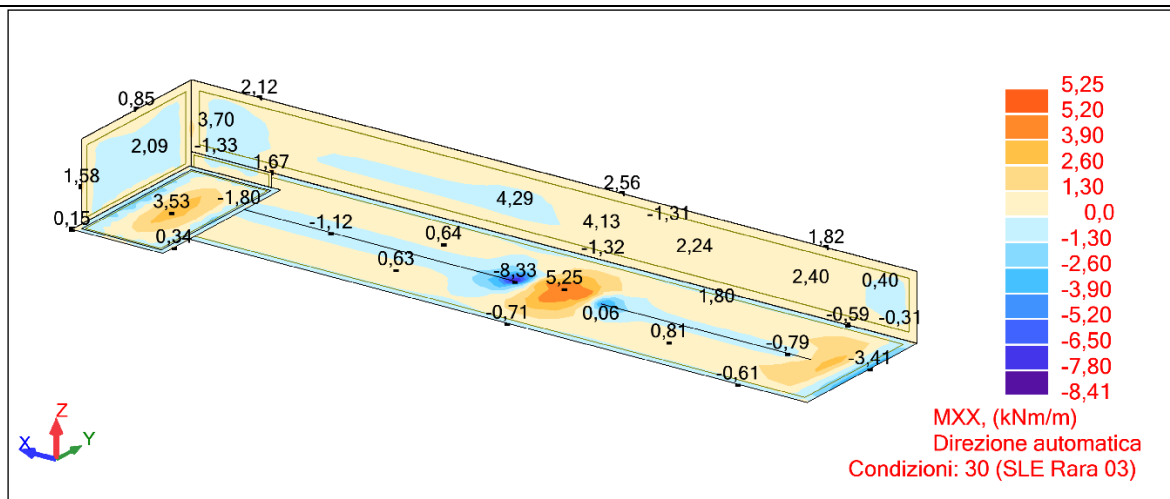


#### Spostamenti – Wnorm [cm]

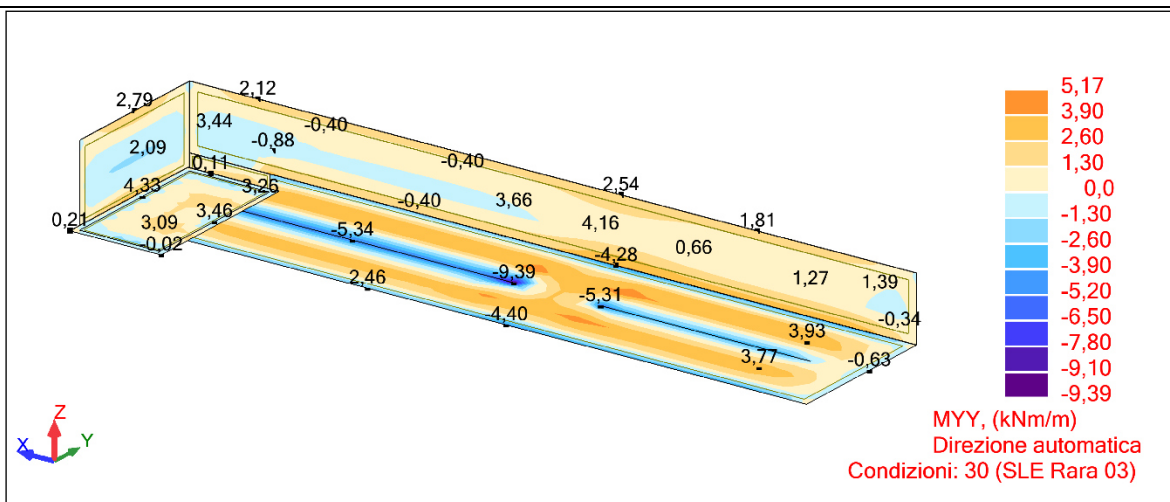


# SLE03 – Rara

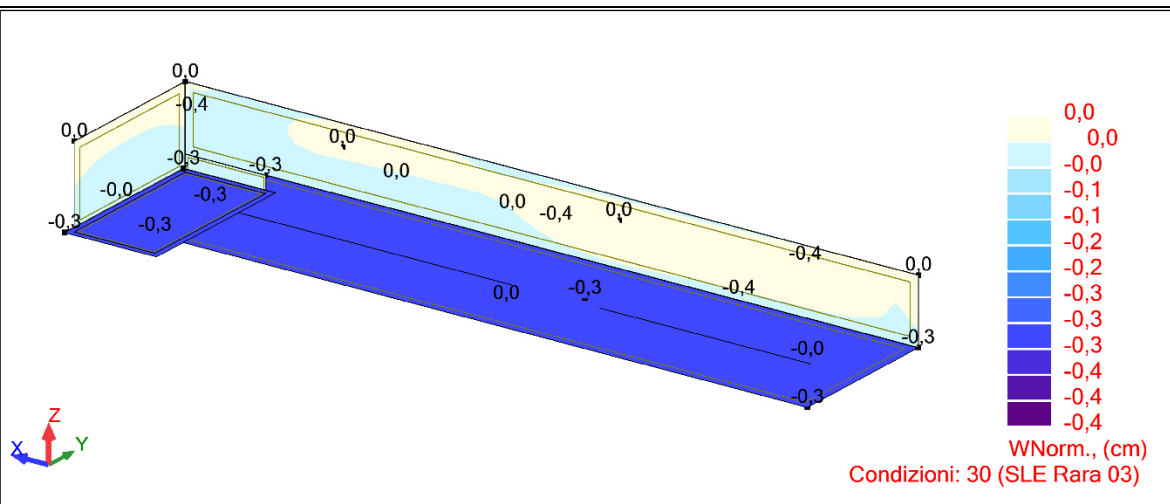
## Azione flettente – Mx [kNm]



## Azione flettente – My [kNm]



## Spostamenti – Wnorm [cm]



#### **8.1.3.4 SLD – Diagrammi di sollecitazione**

Sollecitazioni e deformazioni allo Stato Limite di Danno risultano inferiori rispetto a quelle ottenute per lo Stato Limite di Esercizio, pertanto non vengono incluse nella presente relazione.



#### 8.1.4 Armatura

Elemento	Posizione	Armatura di base	Infittimenti	$M_{Rd}$ (kNm/m)	$V_{Rd}$ (kN/m)
Platea Sp. 30 cm	Intradosso/estradosso	$\Phi 12/20 \times 20$	-	Dir. X/Y 56,69	Dir. X/Y 132,38
Setti Sp. 25 cm	Paramento Interno/esterno	$\Phi 12/20 \times 20$	-	Dir. X/Y 46,39	Dir. X/Y 115,48

## 8.1.5 Verifiche

### 8.1.5.1 SLU/SLV – Verifiche

Si riporta il valore delle azioni agenti ed i coefficienti di sicurezza, calcolati come rapporto tra il momento/taglio resistente di calcolo ed il momento/taglio sollecitante.

Essendo le azioni sismiche di entità modesta, le sollecitazioni dimensionanti si registrano per lo Stato Limite Ultimo.

Elemento	Direzione	Comb.	$M_{Ed}$ (kNm)	C.s. $M_{Rd}/M_{Ed}$	$V_{Ed}$ (kN)	C.s. $V_{Rd}/V_{Ed}$
Platea Sp. 30 cm	X	SLU03	11,33	5,00	39,32	3,37
	Y		12,82	4,34	37,31	3,55
Setti Sp. 25 cm	X	SLU01	6,26	5,26	24,70	4,68
	Y		6,05	5,55	23,20	4,98

### 8.1.5.2 Stato limite di esercizio

Per gli Stati Limite di Esercizio si riportano i valori di tensione nel calcestruzzo ( $\sigma_c$ ), nell'acciaio ( $\sigma_s$ ) ed il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ).

Elemento	Direzione	Comb.	$M_{Ed}$ (kNm)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$w_d$ (mm)
Platea Sp. 30 cm	X	SLE03	4,33	0,99	56,59	0,069
	Y		4,18	0,96	54,63	0,066
Setti Sp. 25 cm	X	SLE01	8,41	1,15	62,09	0,075
	Y		9,39	1,28	69,33	0,083

### 8.1.5.3 Stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO)

In accordo con le NTC 2018, la verifica della capacità portante della fondazione è stata condotta seguendo l'Approccio 2 (che prevede coefficienti tipo A1+M1+R3), utilizzando i parametri geotecnici dello strato n°2.

Dimensioni platea di fondazione:

$B = 3,70 \text{ m}$

$L = 16,20 \text{ m}$ ;

$D = 1,2 \text{ m}$

#### Condizioni D

$E_d$ [kN/mq]	$Q_{lim}$ [kN/mq]	$R_d$ [kN/mq]	F.S.
44,0	1270,0	524,8	11,92

### 8.1.5.4 Calcolo dei cedimenti della fondazione

Si riportano i valori ottenuti per i principali parametri coinvolti nel calcolo dei cedimenti:

$q_0$	33,75 kPa
$B'$	3,7 m
$I_s$	0,54
$I_F$	1
$H$	7,4 m
$\Delta H$	2,4 mm

Il §9.4 del testo *Geotecnica* di R. Lancellotta, per il tipo di struttura in esame, pone i seguenti limiti al di sotto dei quali non si riscontrano danni alle opere:

$\Delta_{max} = 65\text{-}100 \text{ mm}$ ;

I cedimenti stimati sono quindi compatibili con i limiti sopra esposti.

### 8.1.5.5 Verifica di Up-Lift (stato limite di sollevamento)

La verifica non risulta necessaria in quanto il piano di posa della fondazione risulta ad una quota non interessata dalla falda.

## 8.2 DISSABBIATURA – OPERE PROVVISORIE

Durante le fasi preliminari della realizzazione del manufatto di progetto, data la profondità dell'opera, i profili di scavo risulterebbero interferenti coi piani fondazionali di alcune opere limitrofe esistenti, in particolare:

- Gruppo antincendio e accumulo
- Locale

Al fine di proteggere l'integrità dei manufatti presenti da eventuali cedimenti differenziali dovuti allo scalzamento del terreno di fondazione, si rende necessaria la realizzazione di due berlinesi di micropali: le opere si sviluppano lungo percorsi segmentati, così da incrementare la resistenza al ribaltamento in una direzione grazie al contributo dei tratti ad essa parallela.

In tale configurazione, il cordolo sommitale, trasmettendo le sollecitazioni tra segmenti ortogonali, viene assimilato a un vincolo di ritegno in testa al palo.

L'analisi delle strutture è stata eseguita mediante il programma di calcolo PAC 16.0, impiegando un modello bidimensionale per lo studio delle spinte dovute a terreno e manufatti limitrofi, insistenti sul fronte lungo il quale si sviluppa la berlinese di progetto.

Come prescritto in NTC2018 6.5.2.2 il modello geometrico di riferimento tiene conto delle possibili variazioni del profilo di terreno a valle dell'opera grazie alla diminuzione della quota di scavo di un valore pari a circa il 10% dell'altezza di terreno da sostenere.

## 8.2.1 Lato gruppo antincendio

La berlinese, composta da micropali in c.a. C40/50  $\varnothing 300$ , con armatura tubolare  $\varnothing 219,1$  mm sp. 8mm, si sviluppa lungo un percorso spezzato a tratti ortogonali, di lunghezza pari a 2,80+6,65+4,20 m, lungo il quale i micropali risultano disposti con interasse pari a 0,35 m.

In sommità i pali sono vincolati tra loro mediante un cordolo di testa di sezione 0,5x0,4 mq, realizzato in c.a. C40/50, armato con (4+4)  $\varnothing 18$  longitudinali e staffe rettangolari  $\varnothing 10/20$ ; inoltre, al fine di soddisfare la richiesta di resistenza al taglio in corrispondenza delle intersezioni con tratti contigui, risulta necessario un ulteriore infittimento del passo delle staffe a 10 cm.

Lunghezza elementi:

n° 22 - L=10,50 m

n° 11 - L=5,8 m

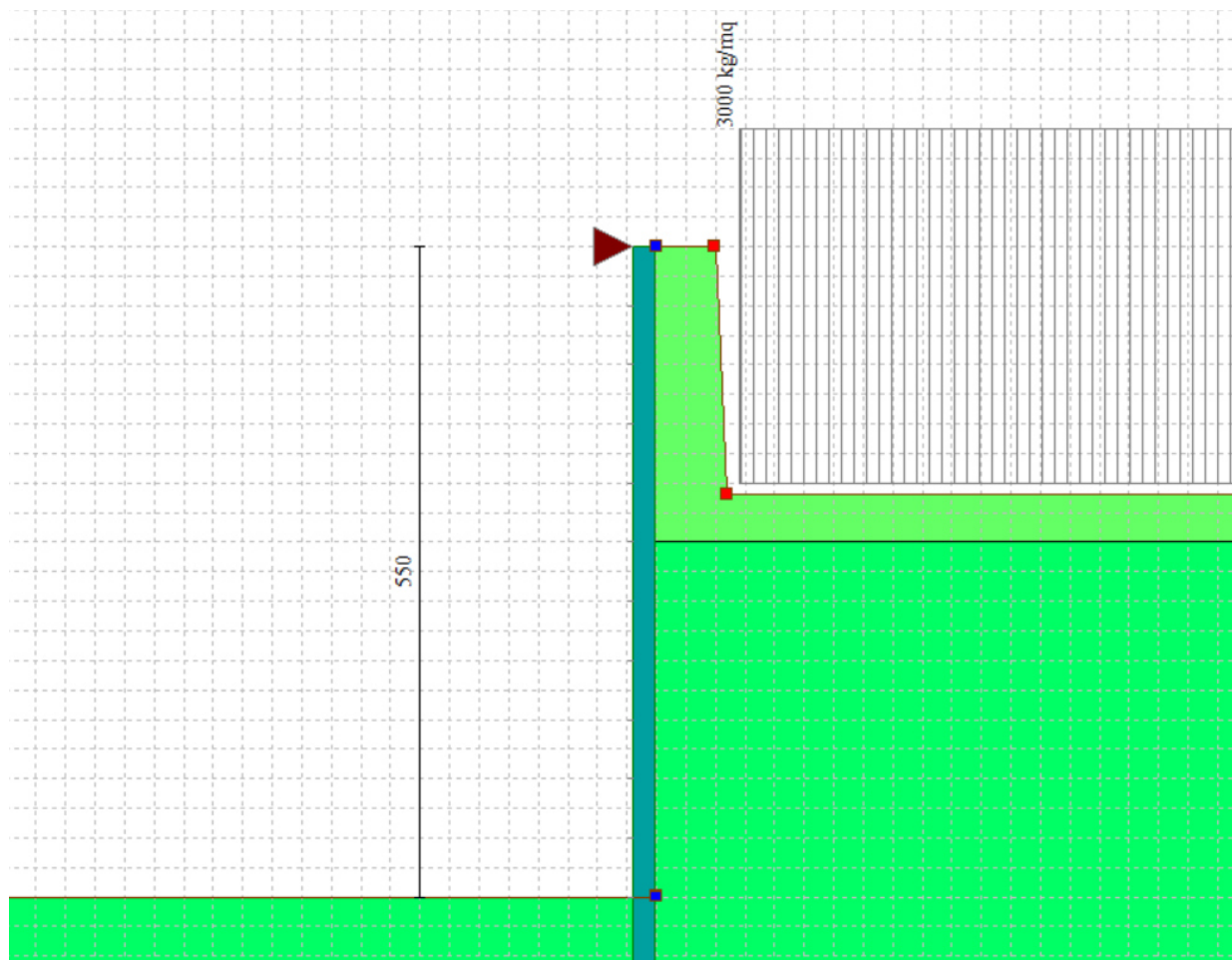
n° 7 - L=4,50 m

### 8.2.1.1 Condizioni di carico

A monte della berlinese si considera un sovraccarico distribuito pari a 30 kN/mq a causa della presenza di un manufatto esistente.

Data la natura dell'opera, nella presente analisi si trascurano le azioni sismiche.

### 8.2.1.2 Caso 1: Modello di calcolo



### 8.2.1.3 Caso 1: Risultati micropali

#### Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	5,50	[m]
Profondità di infissione	5,40	[m]
Altezza totale della paratia	11,00	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]

Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,35	[m]
Diametro dei micropali	30,00	[cm]
Numero totale di micropali	27	
Numero di micropali per metro lineare	2,70	
Diametro esterno del tubolare	219,10	[mm]
Spessore del tubolare	8,80	[mm]

#### Descrizione terreni

##### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
$\gamma$	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$\gamma_{sat}$	peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
$\phi$	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
$\delta$	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
ca	adesione terreno/paratia espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
Cesp	coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
$\tau_i$	tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kg/cm <sup>2</sup> ]

I parametri medi e minimi vengono usati per il calcolo di portanza di progetto dei pali e per la resistenza di progetto a sfilamento dei tiranti

N°	Descrizione	$\gamma$ [kg/mc]	$\gamma_{sat}$ [kg/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]	ca [kg/cm <sup>2</sup> ]	Cesp	$\tau_i$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	
1	Terreno 1	1800,0	2000,0	25,00	16,60	0,000	0,000	1,80	0,000	CAR
				25,00	16,60	0,000	0,000		0,000	MIN
				25,00	16,60	0,000	0,000		0,000	MED
2	Terreno 2	1900,0	2100,0	30,00	20,00	0,000	0,000	1,00	0,000	CAR
				30,00	20,00	0,000	0,000		0,000	MIN
				30,00	20,00	0,000	0,000		0,000	MED

#### Descrizione stratigrafia

##### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in [Kg/cm <sup>2</sup> /cm]
$\alpha$	inclinazione dello strato espressa in [°] (M: strato di monte, V: strato di valle)
Terreno	Terreno associato allo strato (M: strato di monte, V: strato di valle)

N°	sp [m]	$\alpha_M$ [°]	$\alpha_V$ [°]	KwM [kg/cm <sup>2</sup> /cm]	KwV [kg/cm <sup>2</sup> /cm]	Terreno M	Terreno V
1	2,50	0,00	0,00	0,31	0,31	Terreno 1	Terreno 1
2	40,00	0,00	0,00	7,56	7,56	Terreno 2	Terreno 2

#### Impostazioni di analisi

##### Analisi per Combinazioni di Carico.

##### Rottura del terreno:

Pressione passiva

**Influenza  $\delta$  (angolo di attrito terreno-paratia):** Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva Ka e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

##### Stabilità globale:

Metodo:	Metodo di Fellenius
Maglia dei centri	Passo maglia <b>Automatica</b>
Resistenza a taglio paratia	<b>V<sub>Rd</sub></b>

#### Impostazioni analisi sismica

Non sono state analizzate Combinazioni/Fasi sismiche.

## Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

### Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kg]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc	Controspinta, espressa in [kg]

n°	Tipo	Pa [kg]	Y <sub>Pa</sub> [m]	Is [kg]	Y <sub>Is</sub> [m]	Pw [kg]	Y <sub>Pw</sub> [m]	Pp [kg]	Y <sub>Pp</sub> [m]	Pc [kg]	Y <sub>Pc</sub> [m]
1	SLU - STR	8651	3,97	--	--	--	--	-7908	7,13	2215	9,92
2	SLU - GEO	8828	4,11	--	--	--	--	-8471	7,76	2851	10,32
3	SLE - Rara	6655	3,97	--	--	--	--	-6083	7,13	1704	9,92
4	SLE - Frequente	6655	3,97	--	--	--	--	-6083	7,13	1704	9,92
5	SLE - Quasi permanente	6655	3,97	--	--	--	--	-6083	7,13	1704	9,92

### Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt	Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc [kg]	Y <sub>Rc</sub> [m]	Rt [kg]	Y <sub>Rt</sub> [m]	Rv [kg]	Y <sub>Rv</sub> [m]	Rp [kg]	Y <sub>Rp</sub> [m]
1	SLU - STR	0	0,00	0	0,00	-2958	0,00	0	0,00
2	SLU - GEO	0	0,00	0	0,00	-3207	0,00	0	0,00
3	SLE - Rara	0	0,00	0	0,00	-2275	0,00	0	0,00
4	SLE - Frequente	0	0,00	0	0,00	-2275	0,00	0	0,00
5	SLE - Quasi permanente	0	0,00	0	0,00	-2275	0,00	0	0,00

## Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M [kgm]	Y <sub>M</sub> [m]	T [kg]	Y <sub>T</sub> [m]	N [kg]	Y <sub>N</sub> [m]	
1	SLU - STR	4832	7,40	5693	6,00	5248	11,00	MAX
		-6734	3,80	-2958	0,00	0	0,00	MIN
2	SLU - GEO	5574	8,00	5621	6,30	5248	11,00	MAX
		-8059	3,95	-3207	0,00	0	0,00	MIN
3	SLE - Rara	3717	7,40	4379	6,00	5248	11,00	MAX
		-5180	3,80	-2275	0,00	0	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	3717	7,40	4379	6,00	5248	11,00	MAX
		-5180	3,80	-2275	0,00	0	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	3717	7,40	4379	6,00	5248	11,00	MAX
		-5180	3,80	-2275	0,00	0	0,00	MIN



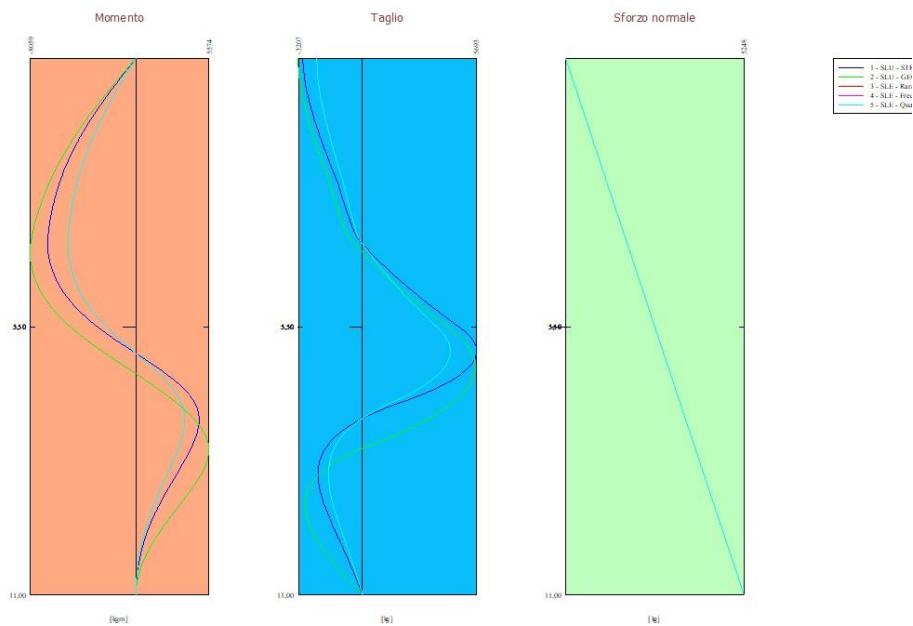


Fig. 1 - Sollecitazioni (Inviluppo)

**Spostamenti massimi e minimi della paratia**

*Simbologia adottata*

- n° Indice della combinazione/fase
- Tipo Tipo della combinazione/fase
- Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
- U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
- V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Yu [m]	V [cm]	Yv [m]	
1	SLU - STR	0,4247	3,65	0,0042	0,00	MAX
		-0,0146	9,90	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	0,5756	3,90	0,0042	0,00	MAX
		-0,0337	11,00	0,0000	0,00	MIN
3	SLE - Rara	0,3267	3,65	0,0042	0,00	MAX
		-0,0112	9,90	0,0000	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	0,3267	3,65	0,0042	0,00	MAX
		-0,0112	9,90	0,0000	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	0,3267	3,65	0,0042	0,00	MAX
		-0,0112	9,90	0,0000	0,00	MIN

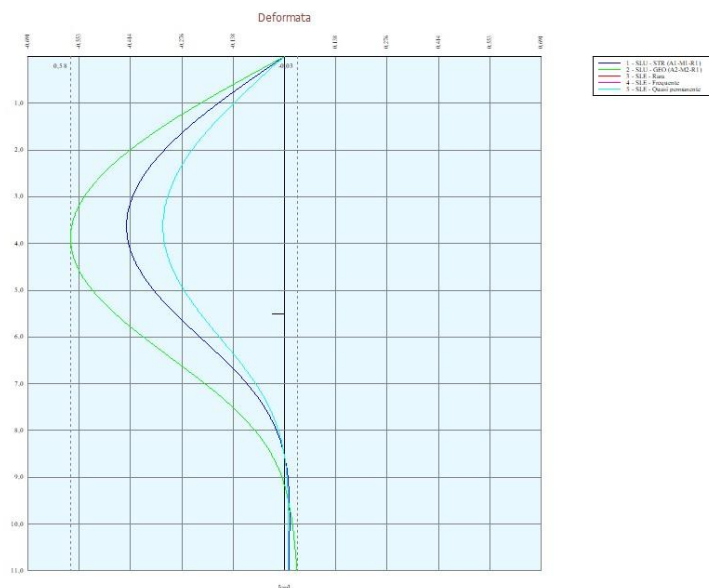


Fig. 2 - Spostamenti (Inviluppo)

## Stabilità globale

### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X <sub>c</sub> ; Y <sub>c</sub> )	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X <sub>v</sub> ; Y <sub>v</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X <sub>m</sub> ; Y <sub>m</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza
R	Coefficiente di sicurezza richiesto

Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	X <sub>c</sub> , Y <sub>c</sub> [m]	R [m]	X <sub>v</sub> , Y <sub>v</sub> [m]	X <sub>m</sub> , Y <sub>m</sub> [m]	FS	R
2	SLU - GEO	-1,10; 0,00	11,05	-10,70; -5,48	9,76; -2,10	1.995	1.100

## Risultati vincoli

### Simbologia adottata

n°	Indice del vincolo
R <sub>x</sub>	reazione in direzione orizzontale a metro lineare, positiva verso valle, espressa in [kg]
R <sub>θ</sub>	reazione momento a metro lineare, positiva antioraria, espressa in [kgm]
u	spostamento orizzontale, positivo verso valle, espresso in [cm]

### Combinazione n° 1 - SLU - STR

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-2958	--	0,00000

### Combinazione n° 2 - SLU - GEO

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-3207	--	0,00000

### Combinazione n° 3 - SLE - Rara

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-2275	--	0,00000

### Combinazione n° 4 - SLE - Frequente

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-2275	--	0,00000

### Combinazione n° 5 - SLE - Quasi permanente

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-2275	--	0,00000

### Verifica a flessione

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
M	momento flettente espresso in [kgm]
N	sforzo normale espresso in [kg] (positivo di compressione)
M <sub>u</sub>	momento ultimo di riferimento espresso in [kgm]
N <sub>u</sub>	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kg]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

Area della sezione del tubolare 58,14 [cmq]

n° - Tipo	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	M <sub>u</sub> [kgm]	N <sub>u</sub> [kg]	FS
1 - SLU - STR	3,80	-2494	672	-18017	4851	7.224

### Verifica a taglio

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
V <sub>Ed</sub>	taglio agente sul palo, espresso in [kg]
V <sub>Rd</sub>	taglio resistente, espresso in [kg]
FS	coefficiente di sicurezza a taglio (V <sub>Rd</sub> /V <sub>Ed</sub> )

La verifica a taglio sui micropali viene eseguita considerando il solo contributo resistente del tubolare. L'area della sezione effettiva di verifica (A<sub>eff</sub>) viene determinata come area lorda (A) della sezione tubolare moltiplicata per 2 / π.

A<sub>eff</sub> = 37,01 cmq

n° - Tipo	Y [m]	V <sub>Ed</sub> [kg]	V <sub>Rd</sub> [kg]	FS
1 - SLU - STR	6,00	2109	93387	44.288

### Verifica tensioni

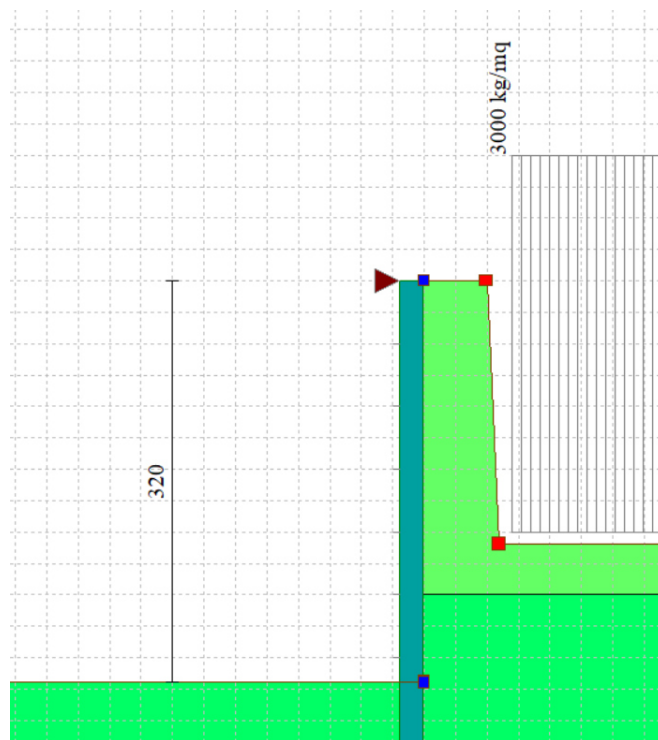
#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ <sub>f</sub>	tensione nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
τ <sub>f</sub>	tensione tangenziale in [kg/cm <sup>2</sup> ]
σ <sub>id</sub>	tensione ideale espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

Area della sezione del tubolare 58,14 [cmq]

σ <sub>f</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	τ <sub>f</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>id</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	cmb
664,32	0,03	664,32	3

#### 8.2.1.4 Caso 2: Modello di calcolo



## 8.2.1.5 Caso 2: Risultati micropali

### Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	3,20	[m]
Profondità di infissione	3,00	[m]
Altezza totale della paratia	6,20	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]

Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,35	[m]
Diametro dei micropali	30,00	[cm]
Numero totale di micropali	27	
Numero di micropali per metro lineare	2,70	
Diametro esterno del tubolare	219,10	[mm]
Spessore del tubolare	8,80	[mm]

### Descrizione terreni

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
$\gamma$	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$\gamma_{sat}$	peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
$\phi$	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
$\delta$	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
ca	adesione terreno/paratia espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix	
Cesp	coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
$\tau_i$	tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kg/cm <sup>2</sup> ]

I parametri medi e minimi vengono usati per il calcolo di portanza di progetto dei pali e per la resistenza di progetto a sfilamento dei tiranti

N°	Descrizione	$\gamma$ [kg/mc]	$\gamma_{sat}$ [kg/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]	ca [kg/cm <sup>2</sup> ]	Cesp	$\tau_i$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	
1	Terreno 1	1800,0	2000,0	25,00	16,60	0,000	0,000	1,80	0,000	CAR
				25,00	16,60	0,000	0,000		0,000	MIN
				25,00	16,60	0,000	0,000		0,000	MED
2	Terreno 2	1900,0	2100,0	30,00	20,00	0,000	0,000	1,00	0,000	CAR
				30,00	20,00	0,000	0,000		0,000	MIN
				30,00	20,00	0,000	0,000		0,000	MED

### Descrizione stratigrafia

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in [Kg/cm <sup>2</sup> /cm]
$\alpha$	inclinazione dello strato espressa in [°] (M: strato di monte, V: strato di valle)
Terreno	Terreno associato allo strato (M: strato di monte, V: strato di valle)

N°	sp [m]	$\alpha_M$ [°]	$\alpha_V$ [°]	K <sub>wM</sub> [kg/cm <sup>2</sup> /cm]	K <sub>wV</sub> [kg/cm <sup>2</sup> /cm]	Terreno M	Terreno V
1	2,50	0,00	0,00	0,31	0,31	Terreno 1	Terreno 1
2	40,00	0,00	0,00	7,56	7,56	Terreno 2	Terreno 2

### Impostazioni di analisi

#### Analisi per Combinazioni di Carico.

#### Rottura del terreno:

Pressione passiva

**Influenza  $\delta$  (angolo di attrito terreno-paratia):** Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva Ka e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

#### Stabilità globale:

Metodo:	Metodo di Fellenius
Maglia dei centri	Passo maglia <b>Automatica</b>
Resistenza a taglio paratia	<b>V<sub>Rd</sub></b>

### Impostazioni analisi sismica

Non sono state analizzate Combinazioni/Fasi sismiche.

### Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

#### Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kg]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc	Controspinta, espressa in [kg]

n°	Tipo	Pa [kg]	Y <sub>Pa</sub> [m]	Is [kg]	Y <sub>Is</sub> [m]	Pw [kg]	Y <sub>Pw</sub> [m]	Pp [kg]	Y <sub>Pp</sub> [m]	Pc [kg]	Y <sub>Pc</sub> [m]
1	SLU - STR	2281	1,89	--	--	--	--	-1438	4,03	251	5,91
2	SLU - GEO	2134	1,92	--	--	--	--	-1306	4,28	253	5,94
3	SLE - Rara	1755	1,89	--	--	--	--	-1106	4,03	193	5,91
4	SLE - Frequente	1755	1,89	--	--	--	--	-1106	4,03	193	5,91
5	SLE - Quasi permanente	1755	1,89	--	--	--	--	-1106	4,03	193	5,91

#### Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt	Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc [kg]	Y <sub>Rc</sub> [m]	Rt [kg]	Y <sub>Rt</sub> [m]	Rv [kg]	Y <sub>Rv</sub> [m]	Rp [kg]	Y <sub>Rp</sub> [m]
1	SLU - STR	0	0,00	0	0,00	-1093	0,00	0	0,00
2	SLU - GEO	0	0,00	0	0,00	-1081	0,00	0	0,00
3	SLE - Rara	0	0,00	0	0,00	-841	0,00	0	0,00
4	SLE - Frequente	0	0,00	0	0,00	-841	0,00	0	0,00
5	SLE - Quasi permanente	0	0,00	0	0,00	-841	0,00	0	0,00

### Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

#### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M [kgm]	Y <sub>M</sub> [m]	T [kg]	Y <sub>T</sub> [m]	N [kg]	Y <sub>N</sub> [m]	
1	SLU - STR	287	4,50	1188	3,30	2958	6,20	MAX
		-1289	1,90	-1093	0,00	0	0,00	MIN
2	SLU - GEO	258	4,65	1053	3,35	2958	6,20	MAX
		-1335	2,00	-1081	0,00	0	0,00	MIN
3	SLE - Rara	221	4,50	914	3,30	2958	6,20	MAX
		-991	1,90	-841	0,00	0	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	221	4,50	914	3,30	2958	6,20	MAX
		-991	1,90	-841	0,00	0	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	221	4,50	914	3,30	2958	6,20	MAX
		-991	1,90	-841	0,00	0	0,00	MIN

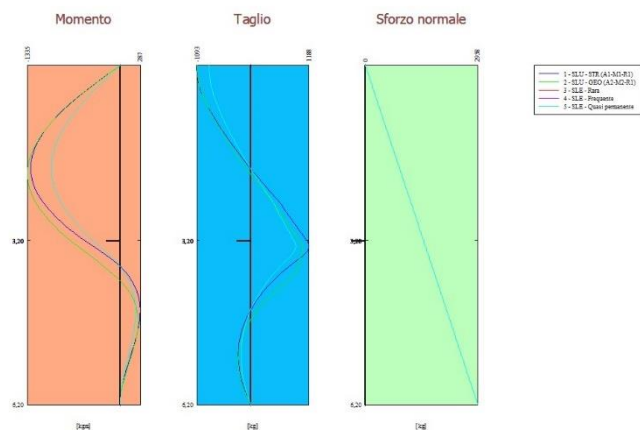


Fig. 1 - Sollecitazioni (Inviluppo)

## Spostamenti massimi e minimi della paratia

### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U	spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V	spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Yu [m]	V [cm]	Yv [m]	
1	SLU - STR	0,0313	2,15	0,0013	0,00	MAX
		-0,0075	6,20	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	0,0357	2,30	0,0013	0,00	MAX
		-0,0086	6,20	0,0000	0,00	MIN
3	SLE - Rara	0,0241	2,15	0,0013	0,00	MAX
		-0,0057	6,20	0,0000	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	0,0241	2,15	0,0013	0,00	MAX
		-0,0057	6,20	0,0000	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	0,0241	2,15	0,0013	0,00	MAX
		-0,0057	6,20	0,0000	0,00	MIN

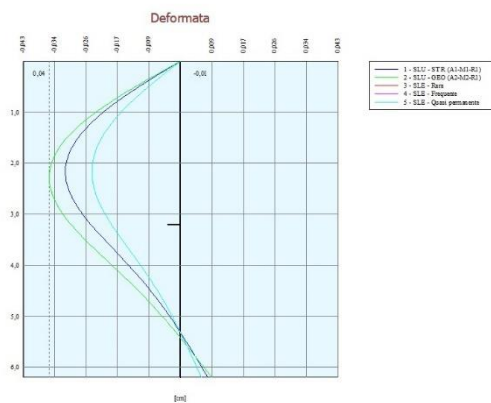


Fig. 2 - Spostamenti (Inviluppo)

## Stabilità globale

### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X <sub>c</sub> ; Y <sub>c</sub> )	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X <sub>v</sub> ; Y <sub>v</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X <sub>m</sub> ; Y <sub>m</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza
R	Coefficiente di sicurezza richiesto

Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	X <sub>c</sub> , Y <sub>c</sub> [m]	R [m]	X <sub>v</sub> , Y <sub>v</sub> [m]	X <sub>m</sub> , Y <sub>m</sub> [m]	FS	R
2	SLU - GEO	-0,62; 0,00	6,23	-5,98; -3,18	5,26; -2,10	2.100	1.100

## Risultati vincoli

### Simbologia adottata

n°	Indice del vincolo
R <sub>x</sub>	reazione in direzione orizzontale a metro lineare, positiva verso valle, espressa in [kg]
R <sub>θ</sub>	reazione momento a metro lineare, positiva antioraria, espressa in [kgm]
u	spostamento orizzontale, positivo verso valle, espresso in [cm]

### Combinazione n° 1 - SLU - STR

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-1093	--	0,00000

### Combinazione n° 2 - SLU - GEO

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-1081	--	0,00000

### Combinazione n° 3 - SLE - Rara

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-841	--	0,00000

### Combinazione n° 4 - SLE - Frequente

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-841	--	0,00000

### Combinazione n° 5 - SLE - Quasi permanente

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-841	--	0,00000

## Verifica a flessione

### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
M	momento flettente espresso in [kgm]
N	sforzo normale espresso in [kg] (positivo di compressione)
M <sub>u</sub>	momento ultimo di riferimento espresso in [kgm]
N <sub>u</sub>	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kg]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

Area della sezione del tubolare 58,14 [cmq]

n° - Tipo	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	M <sub>u</sub> [kgm]	N <sub>u</sub> [kg]	FS
1 - SLU - STR	1,85	-477	327	-18150	12437	38.041



## Verifica a taglio

### Simbologia adottata

$n^{\circ}$	numero d'ordine della sezione
$Y$	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
$V_{Ed}$	taglio agente sul palo, espresso in [kg]
$V_{Rd}$	taglio resistente, espresso in [kg]
$FS$	coefficiente di sicurezza a taglio ( $V_{Rd}/V_{Ed}$ )

La verifica a taglio sui micropali viene eseguita considerando il solo contributo resistente del tubolare. L'area della sezione effettiva di verifica ( $A_{eff}$ ) viene determinata come area lorda ( $A$ ) della sezione tubolare moltiplicata per  $2 / \pi$ .

$A_{eff} = 37,01 \text{ cmq}$

$n^{\circ}$ - Tipo	$Y$ [m]	$V_{Ed}$ [kg]	$V_{Rd}$ [kg]	$FS$
1 - SLU - STR	3,30	440	93387	212.311

## Verifica tensioni

### Simbologia adottata

$n^{\circ}$	numero d'ordine della sezione
$Y$	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
$\sigma_f$	tensione nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$\tau_f$	tensione tangenziale in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{id}$	tensione ideale espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

Area della sezione del tubolare 58,14 [cm<sup>2</sup>]

$\sigma_f$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_f$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{id}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	cmb
130,68	0,15	130,68	3

### 8.2.1.6 Dimensionamento cordolo

Al fine del dimensionamento del cordolo di collegamento in testa alla berlinese sono state considerate le massime sollecitazioni risultanti dall'analisi del caso 1, pari a 32,1 kN/m (SLU) e 22,81 kN/m (SLE), applicate come carichi distribuiti su una trave di lunghezza 6,60 m, incastrata alle estremità.

#### 8.2.1.6.1 Armatura

Elemento	Direzione	Armatura di base	$M_{Rd}$ (kNm/m)	$V_{Rd}$ (kN/m)
Cordolo sommitale 40x50 (*) cm	Longitudinale	(5+5) $\Phi 16$	169,37	-
	Trasversale	Staffe $\Phi 10/20$	-	95,05
	Trasversale	Staffe $\Phi 10/10$	-	127,23

(\*) Si analizza la risposta a un'azione parallela al piano campagna, la sezione resistente da considerare è quella nel piano orizzontale: la trave risulta quindi di base 40 cm e altezza 50 cm.

### 8.2.1.6.2 SLU/SLE – Verifiche

Si riporta il valore delle azioni agenti ed i coefficienti di sicurezza, calcolati come rapporto tra il momento/taglio sollecitante ed il momento/taglio resistente.

Elemento	$M_{Ed}$ (kNm)	C.s. $M_{Rd}/M_{Ed}$	$V_{Ed}$ (kN)	C.s. $V_{Rd}/V_{Ed}$
Cordolo sommitale 40x50 cm	139,82	0,83	105,93	0,83

Per gli Stati Limite di Esercizio si riportano i valori di tensione nel calcestruzzo ( $\sigma_c$ ), nell'acciaio ( $\sigma_s$ ) ed il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ).

Elemento	$M_{Ed}$ (kNm)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$w_d$ (mm)
Cordolo sommitale 40x50 cm	99,31	6,42	237,15	0,197

### 8.2.2 Lato locale

La berlinese, composta da micropali in c.a. C40/50  $\varnothing 200$ , con armatura tubolare  $\varnothing 139,7$  mm sp. 8mm, si sviluppa lungo un percorso spezzato a tratti ortogonali, di lunghezza pari a 3,75+13,50+2,50 m, lungo il quale i micropali risultano disposti con interasse pari a 0,25 m.

In sommità i pali sono vincolati tra loro mediante un cordolo di testa di sezione 0,5x0,4 mq, realizzato in c.a. C40/50, armato con (7+7)  $\varnothing 20$  longitudinali e staffe rettangolari  $\varnothing 10/20$ ; inoltre, al fine di soddisfare la richiesta di resistenza al taglio in corrispondenza delle intersezioni con tratti contigui, risulta necessario aggiungere ulteriori staffe chiuse  $\varnothing 10/10$  cm.

Lunghezza elementi:

n° 14 - L=9,3 m

n° 48 - L=5,1 m

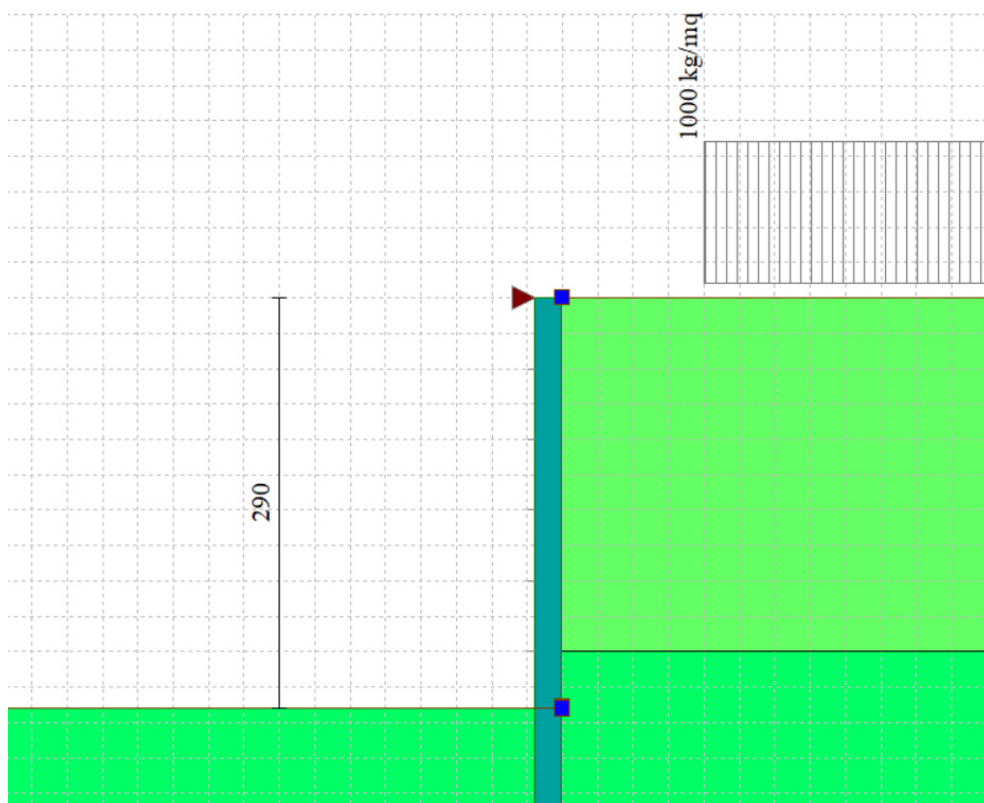
n° 19 - L=3,6 m

#### 8.2.2.1 Condizioni di carico

A monte della berlinese si considera un sovraccarico distribuito pari a 10 kN/mq a causa della presenza del locale esistente.

Data la natura dell'opera, nella presente analisi si trascurano le azioni sismiche.

### 8.2.2.2 Caso 1: Modello di calcolo



### 8.2.2.3 Caso 1: Risultati micropali

#### Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	2,90	[m]
Profondità di infissione	2,60	[m]
Altezza totale della paratia	5,50	[m]
Lunghezza paratia	13,50	[m]

Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,25	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	53	
Numero di micropali per metro lineare	3.93	
Diametro esterno del tubolare	139,70	[mm]
Spessore del tubolare	8,00	[mm]

#### Descrizione terreni

##### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
$\gamma$	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$\gamma_{sat}$	peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
$\phi$	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
$\delta$	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
ca	adesione terreno/paratia espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix	
Cesp	coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
$\tau_i$	tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kg/cm <sup>2</sup> ]

I parametri medi e minimi vengono usati per il calcolo di portanza di progetto dei pali e per la resistenza di progetto a sfilamento dei tiranti

N°	Descrizione	$\gamma$ [kg/mc]	$\gamma_{sat}$ [kg/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]	ca [kg/cm <sup>2</sup> ]	Cesp	$\tau_i$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	
1	Terreno 1	1800,0	2000,0	25.00	16.60	0,000	0,000	1.80	0,000	CAR
				25.00	16.60	0,000	0,000		0,000	MIN
				25.00	16.60	0,000	0,000		0,000	MED
2	Terreno 2	1900,0	2100,0	30.00	20.00	0,000	0,000	1.00	0,000	CAR
				30.00	20.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				30.00	20.00	0,000	0,000		0,000	MED

#### Descrizione stratigrafia

##### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in [Kg/cm <sup>2</sup> /cm]
$\alpha$	inclinazione dello strato espressa in [°] (M: strato di monte, V: strato di valle)
Terreno	Terreno associato allo strato (M: strato di monte, V: strato di valle)

N°	sp [m]	$\alpha_M$ [°]	$\alpha_V$ [°]	KwM [kg/cm <sup>2</sup> /cm]	KwV [kg/cm <sup>2</sup> /cm]	Terreno M	Terreno V
1	2,50	0.00	0.00	0.31	0.31	Terreno 1	Terreno 1
2	40,00	0.00	0.00	7.56	7.56	Terreno 2	Terreno 2

#### Impostazioni di analisi

##### Analisi per Combinazioni di Carico.

##### Rottura del terreno:

Pressione passiva

**Influenza  $\delta$  (angolo di attrito terreno-paratia):** Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva Ka e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

##### Stabilità globale:

Metodo:	Metodo di Fellenius
Maglia dei centri	Passo maglia <b>Automatica</b>
Resistenza a taglio paratia	<b>V<sub>Rd</sub></b>

#### Impostazioni analisi sismica

Non sono state analizzate Combinazioni/Fasi sismiche.

### Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

#### Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kg]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc	Controspinta, espressa in [kg]

n°	Tipo	Pa [kg]	Y <sub>Pa</sub> [m]	Is [kg]	Y <sub>Is</sub> [m]	Pw [kg]	Y <sub>Pw</sub> [m]	Pp [kg]	Y <sub>Pp</sub> [m]	Pc [kg]	Y <sub>Pc</sub> [m]
1	SLU - STR	4339	2,01	--	--	--	--	-3397	3,97	910	5,27
2	SLU - GEO	4367	2,07	--	--	--	--	-3173	4,31	872	5,34
3	SLE - Rara	3337	2,01	--	--	--	--	-2613	3,97	700	5,27
4	SLE - Frequente	3337	2,01	--	--	--	--	-2613	3,97	700	5,27
5	SLE - Quasi permanente	3337	2,01	--	--	--	--	-2613	3,97	700	5,27

#### Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt	Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc [kg]	Y <sub>Rc</sub> [m]	Rt [kg]	Y <sub>Rt</sub> [m]	Rv [kg]	Y <sub>Rv</sub> [m]	Rp [kg]	Y <sub>Rp</sub> [m]
1	SLU - STR	0	0,00	0	0,00	-1851	0,00	0	0,00
2	SLU - GEO	0	0,00	0	0,00	-2066	0,00	0	0,00
3	SLE - Rara	0	0,00	0	0,00	-1424	0,00	0	0,00
4	SLE - Frequente	0	0,00	0	0,00	-1424	0,00	0	0,00
5	SLE - Quasi permanente	0	0,00	0	0,00	-1424	0,00	0	0,00

### Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

#### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M [kgm]	Y <sub>M</sub> [m]	T [kg]	Y <sub>T</sub> [m]	N [kg]	Y <sub>N</sub> [m]	
1	SLU - STR	806	4,20	2487	3,20	1696	5,50	MAX
		-2454	1,95	-1851	0,00	0	0,00	MIN
2	SLU - GEO	566	4,55	2301	3,45	1696	5,50	MAX
		-2922	2,10	-2066	0,00	0	0,00	MIN
3	SLE - Rara	620	4,20	1913	3,20	1696	5,50	MAX
		-1888	1,95	-1424	0,00	0	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	620	4,20	1913	3,20	1696	5,50	MAX
		-1888	1,95	-1424	0,00	0	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	620	4,20	1913	3,20	1696	5,50	MAX
		-1888	1,95	-1424	0,00	0	0,00	MIN

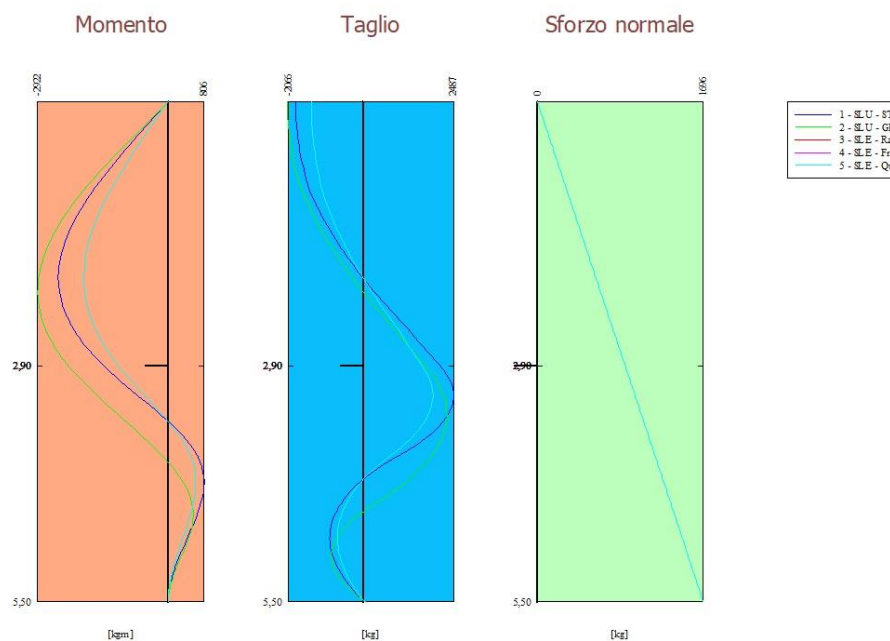


Fig. 1 - Sollecitazioni (Inviluppo)

## Spostamenti massimi e minimi della paratia

### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U	spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V	spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Yu [m]	V [cm]	Yv [m]	
1	SLU - STR	0,1699	2,05	0,0010	0,00	MAX
		-0,0347	5,50	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	0,2394	2,25	0,0010	0,00	MAX
		-0,0469	5,50	0,0000	0,00	MIN
3	SLE - Rara	0,1307	2,05	0,0010	0,00	MAX
		-0,0267	5,50	0,0000	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	0,1307	2,05	0,0010	0,00	MAX
		-0,0267	5,50	0,0000	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	0,1307	2,05	0,0010	0,00	MAX
		-0,0267	5,50	0,0000	0,00	MIN



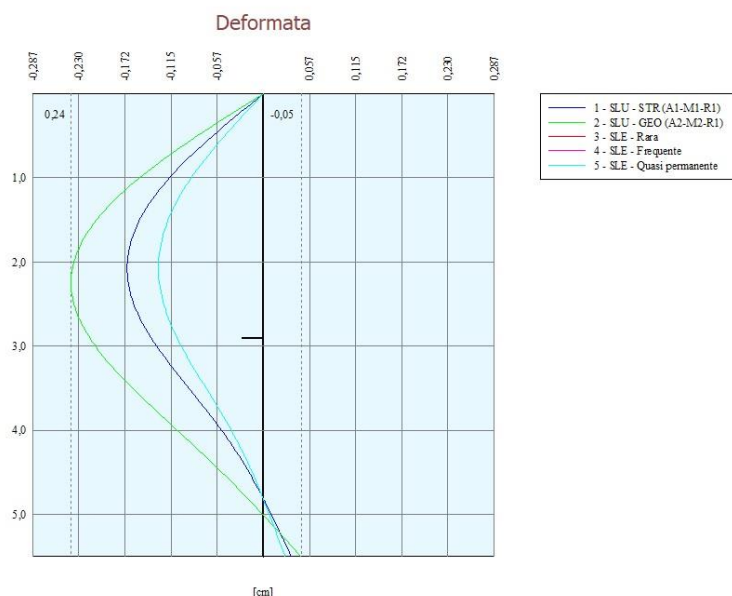


Fig. 2 - Spostamenti (Inviluppo)

## Stabilità globale

### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X <sub>c</sub> ; Y <sub>c</sub> )	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X <sub>v</sub> ; Y <sub>v</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X <sub>m</sub> ; Y <sub>m</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza
R	Coefficiente di sicurezza richiesto

Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	X <sub>c</sub> , Y <sub>c</sub> [m]	R [m]	X <sub>v</sub> , Y <sub>v</sub> [m]	X <sub>m</sub> , Y <sub>m</sub> [m]	FS	R
2	SLU - GEO	-1,10; 0,00	5,61	-5,91; -2,89	4,51; 0,00	1.555	1.100

## Risultati vincoli

### Simbologia adottata

n°	Indice del vincolo
R <sub>x</sub>	reazione in direzione orizzontale a metro lineare, positiva verso valle, espressa in [kg]
R <sub>θ</sub>	reazione momento a metro lineare, positiva antioraria, espressa in [kgm]
u	spostamento orizzontale, positivo verso valle, espresso in [cm]

### Combinazione n° 1 - SLU - STR

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-1851	--	0,00000

### Combinazione n° 2 - SLU - GEO

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-2066	--	0,00000

### Combinazione n° 3 - SLE - Rara

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-1424	--	0,00000

### Combinazione n° 4 - SLE - Frequente

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-1424	--	0,00000

### Combinazione n° 5 - SLE - Quasi permanente

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-1424	--	0,00000

### Verifica a flessione

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
M	momento flettente espresso in [kgm]
N	sforzo normale espresso in [kg] (positivo di compressione)
M <sub>u</sub>	momento ultimo di riferimento espresso in [kgm]
N <sub>u</sub>	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kg]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

Area della sezione del tubolare 33,10 [cmq]

n° - Tipo	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	M <sub>u</sub> [kgm]	N <sub>u</sub> [kg]	FS
1 - SLU - STR	1,95	-625	153	-6163	1510	9.858

### Verifica a taglio

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
V <sub>Ed</sub>	taglio agente sul palo, espresso in [kg]
V <sub>Rd</sub>	taglio resistente, espresso in [kg]
FS	coefficiente di sicurezza a taglio (V <sub>Rd</sub> /V <sub>Ed</sub> )

La verifica a taglio sui micropali viene eseguita considerando il solo contributo resistente del tubolare. L'area della sezione effettiva di verifica (A<sub>eff</sub>) viene determinata come area lorda (A) della sezione tubolare moltiplicata per 2 / π.

A<sub>eff</sub> = 21,07 cmq

n° - Tipo	Y [m]	V <sub>Ed</sub> [kg]	V <sub>Rd</sub> [kg]	FS
1 - SLU - STR	3,20	634	53167	83.918

### Verifica tensioni

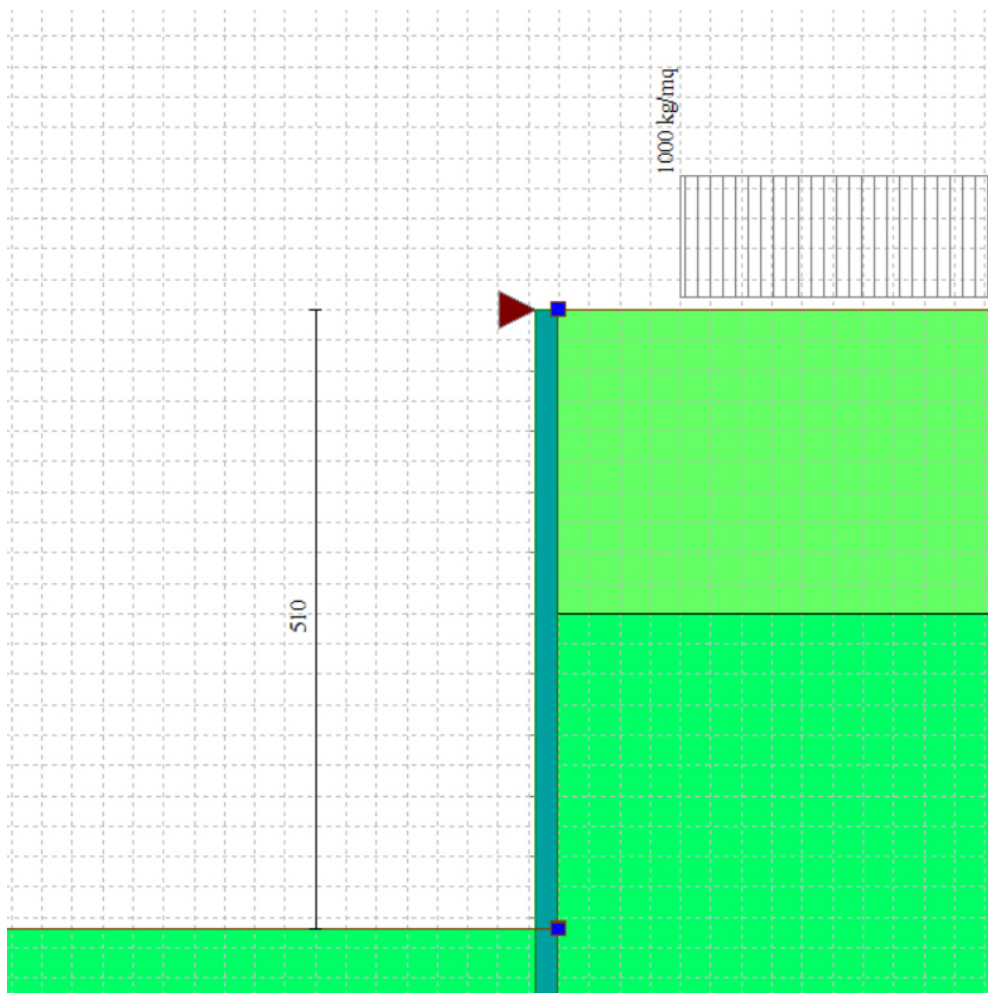
#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ <sub>f</sub>	tensione nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
τ <sub>f</sub>	tensione tangenziale in [kg/cm <sup>2</sup> ]
σ <sub>id</sub>	tensione ideale espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

Area della sezione del tubolare 33,10 [cmq]

σ <sub>f</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	τ <sub>f</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>id</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	cmb
470,94	0,34	470,94	3

#### 8.2.2.4 Caso 2: Modello di calcolo



## 8.2.2.5 Caso 2: Risultati micropali

### Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	5,10	[m]
Profondità di infissione	4,60	[m]
Altezza totale della paratia	9,70	[m]
Lunghezza paratia	13,50	[m]

Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,25	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	53	
Numero di micropali per metro lineare	3.93	
Diametro esterno del tubolare	139,70	[mm]
Spessore del tubolare	8,00	[mm]

### Descrizione terreni

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
$\gamma$	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$\gamma_{sat}$	peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
$\phi$	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
$\delta$	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
ca	adesione terreno/paratia espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
Cesp	coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
$\tau_i$	tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kg/cm <sup>2</sup> ]

Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix

I parametri medi e minimi vengono usati per il calcolo di portanza di progetto dei pali e per la resistenza di progetto a sfilamento dei tiranti

N°	Descrizione	$\gamma$ [kg/mc]	$\gamma_{sat}$ [kg/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]	ca [kg/cm <sup>2</sup> ]	Cesp	$\tau_i$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	
1	Terreno 1	1800,0	2000,0	25.00	16.60	0,000	0,000	1.80	0,000	CAR
				25.00	16.60	0,000	0,000		0,000	MIN
				25.00	16.60	0,000	0,000		0,000	MED
2	Terreno 2	1900,0	2100,0	30.00	20.00	0,000	0,000	1.00	0,000	CAR
				30.00	20.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				30.00	20.00	0,000	0,000		0,000	MED

### Descrizione stratigrafia

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in [Kg/cm <sup>2</sup> /cm]
$\alpha$	inclinazione dello strato espressa in [°] (M: strato di monte, V: strato di valle)
Terreno	Terreno associato allo strato (M: strato di monte, V: strato di valle)

N°	sp [m]	$\alpha_M$ [°]	$\alpha_V$ [°]	K <sub>WM</sub> [kg/cm <sup>2</sup> /cm]	K <sub>WV</sub> [kg/cm <sup>2</sup> /cm]	Terreno M	Terreno V
1	2,50	0.00	0.00	0.31	0.31	Terreno 1	Terreno 1
2	40,00	0.00	0.00	7.56	7.56	Terreno 2	Terreno 2

### Impostazioni di analisi

#### Analisi per Combinazioni di Carico.

#### Rottura del terreno:

Pressione passiva

**Influenza  $\delta$  (angolo di attrito terreno-paratia):** Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva Ka e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

#### Stabilità globale:

Metodo:	Metodo di Fellenius
Maglia dei centri	Passo maglia <b>Automatica</b>
Resistenza a taglio paratia	<b>V<sub>Rd</sub></b>

### Impostazioni analisi sismica

Non sono state analizzate Combinazioni/Fasi sismiche.

### Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

#### Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kg]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc	Controspinta, espressa in [kg]

n°	Tipo	Pa [kg]	Y <sub>Pa</sub> [m]	Is [kg]	Y <sub>Is</sub> [m]	Pw [kg]	Y <sub>Pw</sub> [m]	Pp [kg]	Y <sub>Pp</sub> [m]	Pc [kg]	Y <sub>Pc</sub> [m]
1	SLU - STR	11704	3,46	--	--	--	--	-11565	6,92	4403	8,99
2	SLU - GEO	11854	3,58	--	--	--	--	-12788	7,71	5980	9,40
3	SLE - Rara	9003	3,46	--	--	--	--	-8896	6,92	3387	8,99
4	SLE - Frequente	9003	3,46	--	--	--	--	-8896	6,92	3387	8,99
5	SLE - Quasi permanente	9003	3,46	--	--	--	--	-8896	6,92	3387	8,99

#### Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt	Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc [kg]	Y <sub>Rc</sub> [m]	Rt [kg]	Y <sub>Rt</sub> [m]	Rv [kg]	Y <sub>Rv</sub> [m]	Rp [kg]	Y <sub>Rp</sub> [m]
1	SLU - STR	0	0,00	0	0,00	-4541	0,00	0	0,00
2	SLU - GEO	0	0,00	0	0,00	-5046	0,00	0	0,00
3	SLE - Rara	0	0,00	0	0,00	-3493	0,00	0	0,00
4	SLE - Frequente	0	0,00	0	0,00	-3493	0,00	0	0,00
5	SLE - Quasi permanente	0	0,00	0	0,00	-3493	0,00	0	0,00

### Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

#### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M [kgm]	Y <sub>M</sub> [m]	T [kg]	Y <sub>T</sub> [m]	N [kg]	Y <sub>N</sub> [m]	
1	SLU - STR	7018	7,10	7162	5,65	2991	9,70	MAX
		-9323	3,15	-4541	0,00	0	0,00	MIN
2	SLU - GEO	6901	7,85	6808	6,00	2991	9,70	MAX
		-11236	3,45	-5980	8,80	0	0,00	MIN
3	SLE - Rara	5399	7,10	5509	5,65	2991	9,70	MAX
		-7171	3,15	-3493	0,00	0	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	5399	7,10	5509	5,65	2991	9,70	MAX
		-7171	3,15	-3493	0,00	0	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	5399	7,10	5509	5,65	2991	9,70	MAX
		-7171	3,15	-3493	0,00	0	0,00	MIN

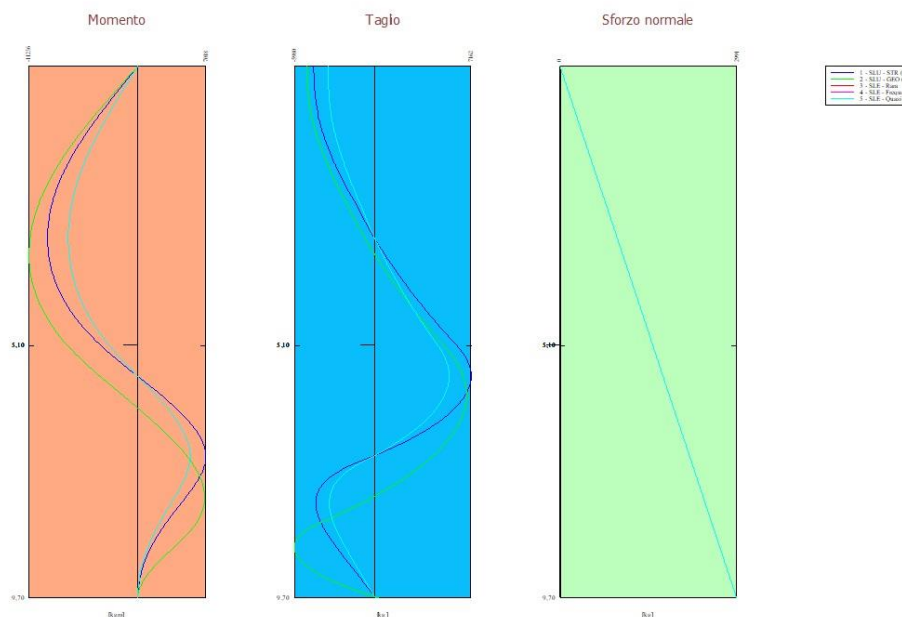


Fig. 1 - Sollecitazioni (Inviluppo)

### Spostamenti massimi e minimi della paratia

#### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U	spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V	spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Yu [m]	V [cm]	Yv [m]	
1	SLU - STR	1,6677	3,30	0,0032	0,00	MAX
		-0,0423	9,35	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	2,4627	3,65	0,0032	0,00	MAX
		-0,1705	9,70	0,0000	0,00	MIN
3	SLE - Rara	1,2829	3,30	0,0032	0,00	MAX
		-0,0325	9,35	0,0000	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	1,2829	3,30	0,0032	0,00	MAX
		-0,0325	9,35	0,0000	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	1,2829	3,30	0,0032	0,00	MAX
		-0,0325	9,35	0,0000	0,00	MIN

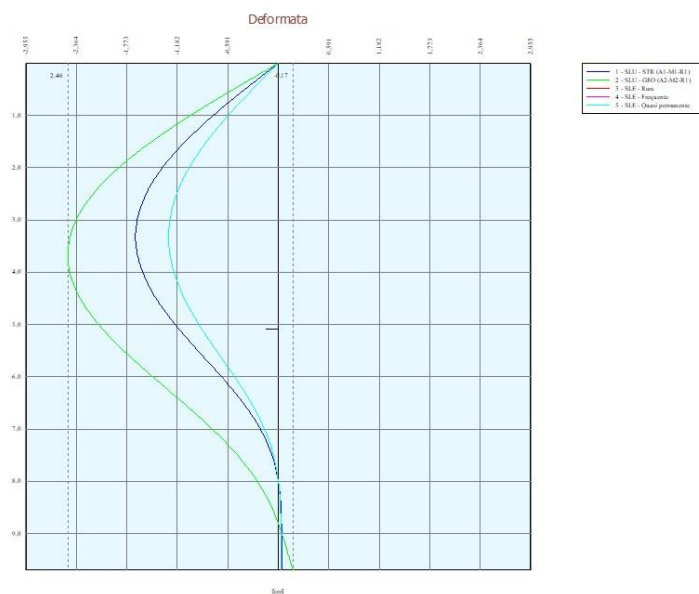


Fig. 2 - Spostamenti (Inviluppo)

## Stabilità globale

### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X <sub>c</sub> ; Y <sub>c</sub> )	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X <sub>v</sub> ; Y <sub>v</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X <sub>m</sub> ; Y <sub>m</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza
R	Coefficiente di sicurezza richiesto

Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	X <sub>c</sub> , Y <sub>c</sub> [m]	R [m]	X <sub>v</sub> , Y <sub>v</sub> [m]	X <sub>m</sub> , Y <sub>m</sub> [m]	FS	R
2	SLU - GEO	-1,94; 0,00	9,89	-10,43; -5,08	7,95; 0,00	1.628	1.100

## Risultati vincoli

### Simbologia adottata

n°	Indice del vincolo
R <sub>x</sub>	reazione in direzione orizzontale a metro lineare, positiva verso valle, espressa in [kg]
R <sub>θ</sub>	reazione momento a metro lineare, positiva antioraria, espressa in [kgm]
u	spostamento orizzontale, positivo verso valle, espresso in [cm]

### Combinazione n° 1 - SLU - STR

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-4541	--	0,00000

### Combinazione n° 2 - SLU - GEO

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-5046	--	0,00000

### Combinazione n° 3 - SLE - Rara

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-3493	--	0,00000

### Combinazione n° 4 - SLE - Frequente

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-3493	--	0,00000

### Combinazione n° 5 - SLE - Quasi permanente

n°	R <sub>x</sub> [kg]	R <sub>θ</sub> [kgm]	u [cm]
1	-3493	--	0,00000

### Verifica a flessione

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
M	momento flettente espresso in [kgm]
N	sforzo normale espresso in [kg] (positivo di compressione)
M <sub>u</sub>	momento ultimo di riferimento espresso in [kgm]
N <sub>u</sub>	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kg]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

Area della sezione del tubolare 33,10 [cmq]

n° - Tipo	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	M <sub>u</sub> [kgm]	N <sub>u</sub> [kg]	FS
1 - SLU - STR	3,15	-2375	247	-6157	642	2.593

### Verifica a taglio

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
V <sub>Ed</sub>	taglio agente sul palo, espresso in [kg]
V <sub>Rd</sub>	taglio resistente, espresso in [kg]
FS	coefficiente di sicurezza a taglio (V <sub>Rd</sub> /V <sub>Ed</sub> )

La verifica a taglio sui micropali viene eseguita considerando il solo contributo resistente del tubolare. L'area della sezione effettiva di verifica (A<sub>eff</sub>) viene determinata come area lorda (A) della sezione tubolare moltiplicata per 2 / π.

A<sub>eff</sub> = 21,07 cmq

n° - Tipo	Y [m]	V <sub>Ed</sub> [kg]	V <sub>Rd</sub> [kg]	FS
1 - SLU - STR	5,65	1824	53167	29.143

### Verifica tensioni

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ <sub>f</sub>	tensione nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
τ <sub>f</sub>	tensione tangenziale in [kg/cm <sup>2</sup> ]
σ <sub>id</sub>	tensione ideale espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

Area della sezione del tubolare 33,10 [cmq]

σ <sub>f</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	τ <sub>f</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>id</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	cmb
1778,87	0,08	1778,87	3



### 8.2.2.6 Dimensionamento cordolo

Il tratto di berlinese di maggior sviluppo (13 m) risulta soggetto a due diverse spinte:

Lato locale – Reazioni vincolari	Q SLU [kN/m]	Q SLE [kN/m]
<b>Caso 1 (2,9+2,6 m) – L =11 m</b>	20,66	14,24
<b>Caso 2 (5,1+4,6 m) – L=2 m</b>	50,45	34,9

I carichi sono stati applicati come carichi distribuiti, secondo la distribuzione spaziale indicata in tabella, a una trave di lunghezza 13,0 m, incastrata alle estremità.

#### 8.2.2.6.1 Armatura

Elemento	Direzione	Armatura di base	M <sub>Rd</sub> (kNm/m)	V <sub>Rd</sub> (kN/m)
Cordolo sommitale 40x50 (*) cm	Longitudinale	(7+7) $\Phi$ 20	365,27	-
	Trasversale	Staffe $\Phi$ 10/20	-	123,44
	Trasversale	Staffe $\Phi$ 10/20 + Staffe $\Phi$ 10/10	-	254,47

(\*) Si analizza la risposta a un'azione parallela al piano campagna, la sezione resistente da considerare è quella nel piano orizzontale: la trave risulta quindi di base 40 cm e altezza 50 cm.

#### 8.2.2.6.2 SLU/SLE – Verifiche

Si riporta il valore delle azioni agenti ed i coefficienti di sicurezza, calcolati come rapporto tra il momento/taglio sollecitante ed il momento/taglio resistente.

Elemento	$M_{Ed}$ (kNm)	C.s. $M_{Rd}/M_{Ed}$	$V_{Ed}$ (kN)	C.s. $V_{Rd}/V_{Ed}$
Cordolo sommitale 40x50 cm	338,5	0,93	191,90	0,75

Per gli Stati Limite di Esercizio si riportano i valori di tensione nel calcestruzzo ( $\sigma_c$ ), nell'acciaio ( $\sigma_s$ ) ed il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ).

Elemento	$M_{Ed}$ (kNm)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$w_d$ (mm)
Cordolo sommitale 40x50 cm	233,9	9,76	258,65	0,195

## 8.3 DISSABBIATURA – COMPARTO

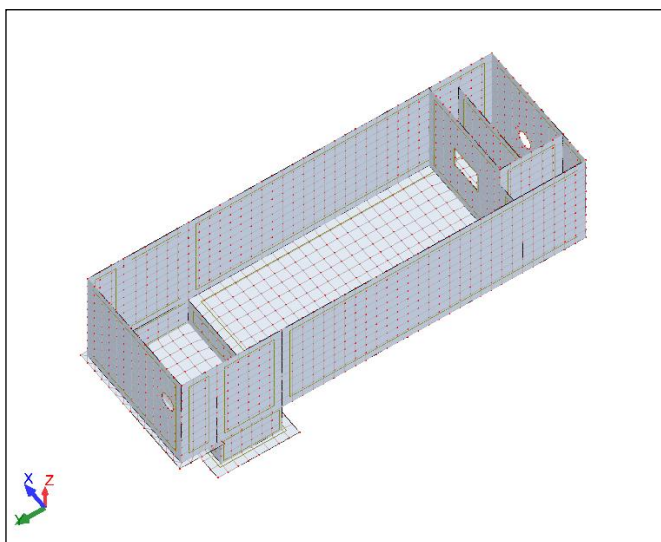
### 8.3.1 Descrizione modello

L'analisi delle strutture è stata eseguita mediante il programma di calcolo Autodesk Robot, impiegando il modello analitico tridimensionale ad elementi finiti piani tipo "shell" contestuale alle strutture modellate tramite il software Autodesk Revit.

I vincoli interni alle strutture (collegamenti tra elevazioni ed elevazioni-platea di fondazione) sono stati schematizzati come incastri lineari; l'interazione terreno-struttura è stata simulata nel modello attraverso un letto di molle alla Winkler di costante di sottofondo pari a 8200 kN/m<sup>3</sup>, applicato all'intradosso della fondazione.

Il modello è caratterizzato dalle seguenti dimensioni:

Dissabbiatura		
Platea di fondazione - Ingresso	B [m]	2,30
	L [m]	6,80
	Sp. [m]	0,50
	D [m]	4,70
Platea di fondazione – Tramoggia	B [m]	3,90
	L [m]	7,40
	Sp. [m]	0,40
	D [m]	6,20
Platea di fondazione (trattamento e uscita)	B [m]	6,80
	L [m]	14,50
	Sp. [m]	0,50
	D [m]	4,70
Setti perimetrali e interni	L [m]	19,70
	B [m]	6,80
	H [m]	5,1 – 6,6
	Sp. [m]	0,40



### 8.3.2 Condizioni di carico

Sono state prese in considerazione le seguenti azioni:

- Azioni permanenti:
  - pesi propri strutturali delle opere, caratterizzati da una  $\rho_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$ ;
  - Azione statica del fluido contenuto nel manufatto –  $h_{w,tot} = 2,5 - 3,6 \text{ m}$  dall'estradosso delle rispettive platee di fondazione.
  - Azione statica delle terre sui paramenti esterni del manufatto –  $h_{t,tot} = 2,9 \text{ m}$  dall'estradosso della platea di fondazione di ingresso.
- Azioni variabili:
  - azione variabile  $Q_{CatE} = 6,0 \text{ kN/mq}$  applicata sui camminamenti in quota;
  - azione variabile  $Q_{Sn} = 1,1 \text{ kN/mq}$  applicata sui camminamenti in quota;
  - azione variabile da traffico trasmessa al terreno da mezzi circolanti in prossimità dei manufatti, quantificato pari a  $20 \text{ kN/mq}$ ;
  - azione variabile dovuta al carroponte va e vieni, modellata come carico distribuito pari a  $6 \text{ kN/m}$  lungo le vie di corsa in sommità alle elevazioni.
- Azioni sismiche: l'aliquota sismica delle azioni permanenti e la sovra-spinta sismica delle terre e del fluido contenuto all'interno della sezione di trattamento è stata modellata come riportato in (5.5)

### 8.3.3 Risultati dell'analisi

Le azioni descritte, applicate ai modelli di calcolo e combinate secondo le combinazioni di cui al punto precedente, hanno permesso di ricavare le sollecitazioni agenti sulla struttura, in base alle quali è stato eseguito il dimensionamento.

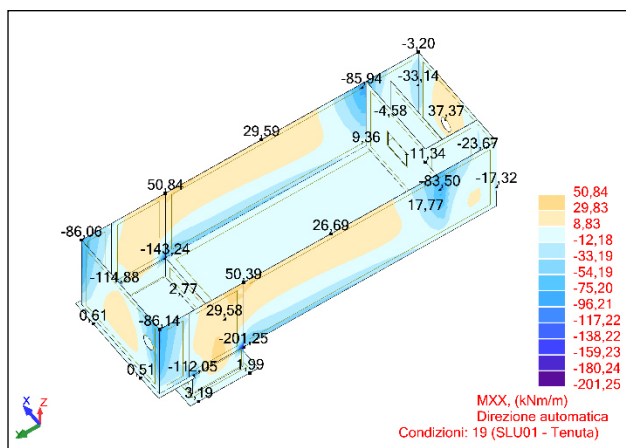
#### Convenzioni di segno:

- Azione assiale: positiva se di compressione;
- Momento flettente:
  - nelle pareti, positivo se tende le fibre sul lato esterno della vasca;
  - nelle platee, positivo se tende l'estradosso della fondazione.

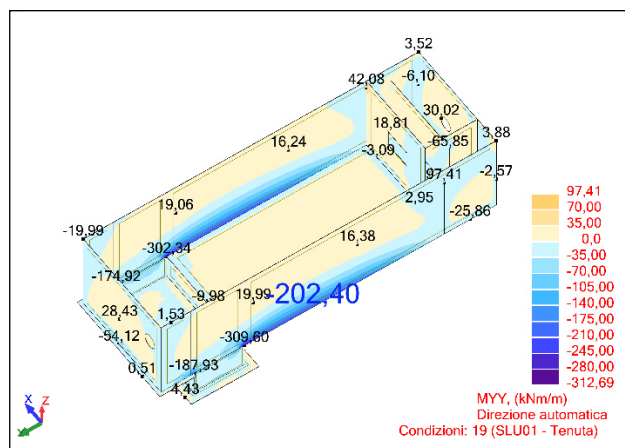
#### 8.3.3.1 SLU – Diagrammi di sollecitazione

##### SLU01

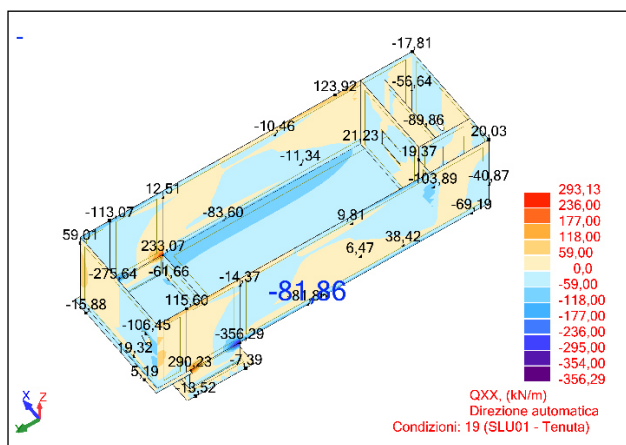
##### Azione flettente – Mx [kNm]



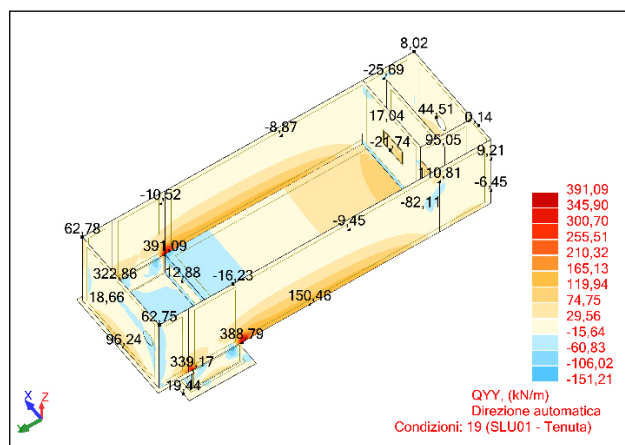
##### Azione flettente – My [kNm]



##### Azione tagliante Vx [kN]

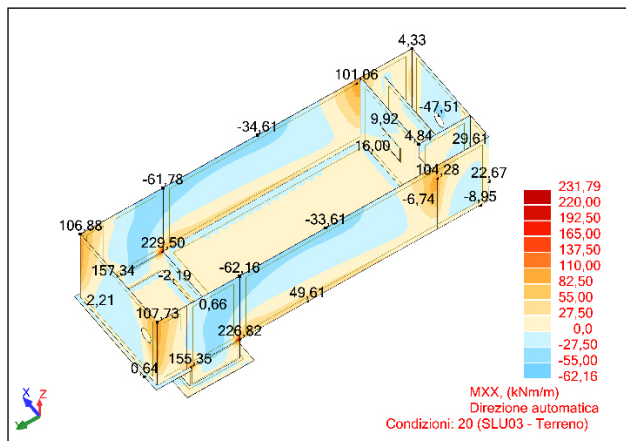


##### Azione tagliante Vy [kN]

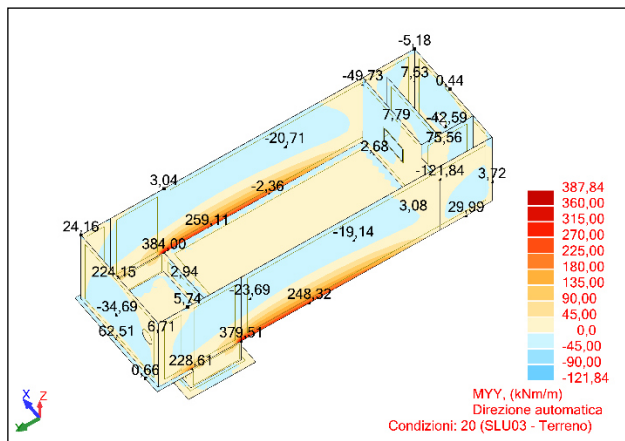


SLU03

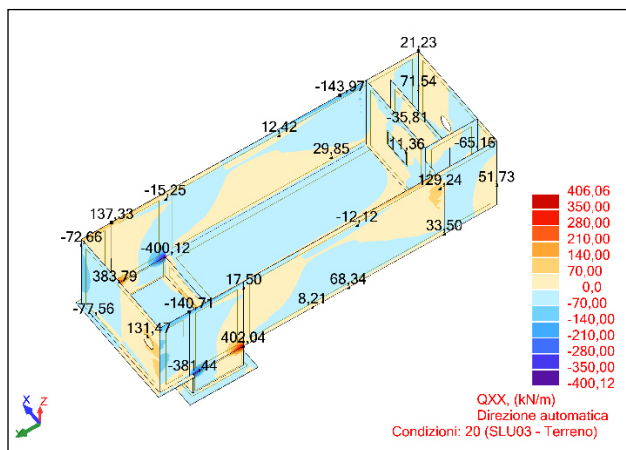
Azione flettente – Mx [kNm]



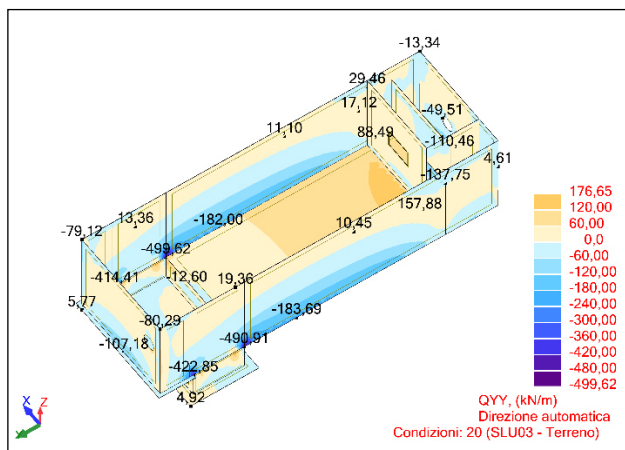
Azione flettente – My [kNm]



Azione tagliante Vx [kN]



Azione tagliante Vy [kN]



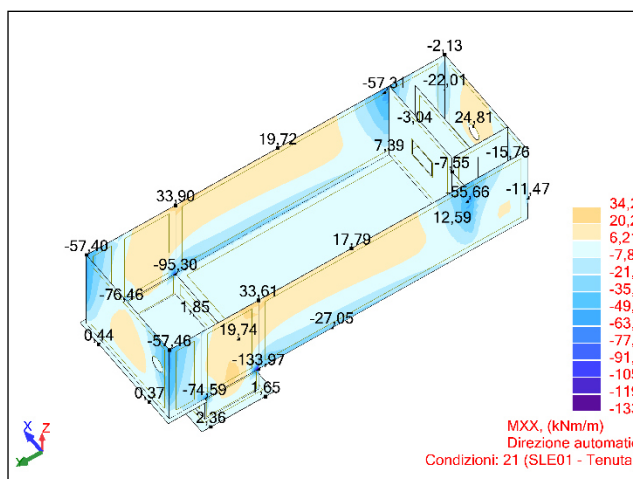
### 8.3.3.2 SLV – Diagrammi di sollecitazione

Le sollecitazioni allo Stato Limite di salvaguardia della Vita risultano molto inferiori a quelle ottenute allo Stato Limite Ultimo, pertanto non vengono incluse all'interno della presente relazione.

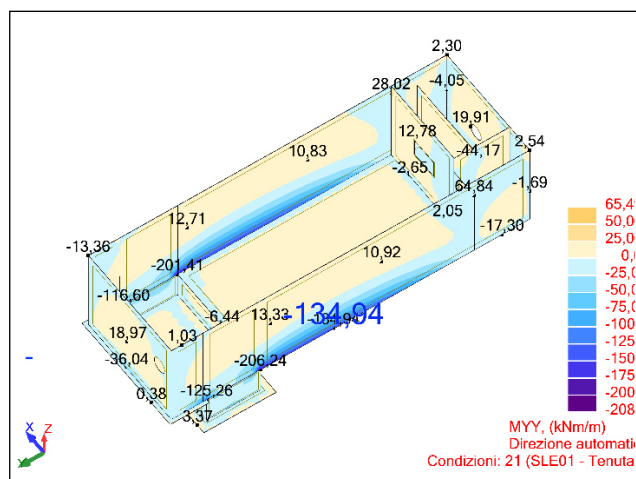
### 8.3.3.3 SLE – Diagrammi di sollecitazione

#### SLE01 – Rara

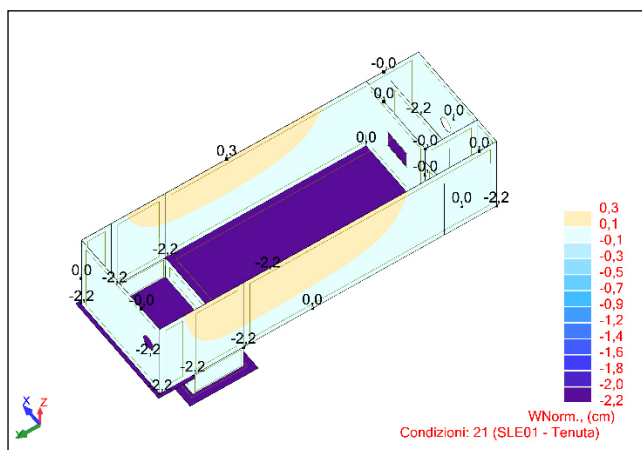
#### Azione flettente – Mx [kNm]



#### Azione flettente – My [kNm]

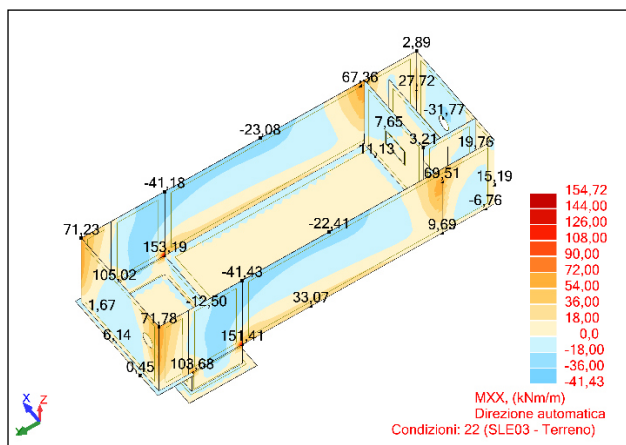


#### Spostamenti

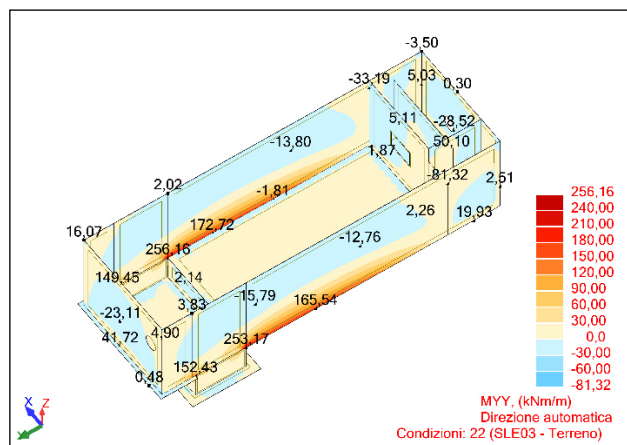


## SLE03 - Rara

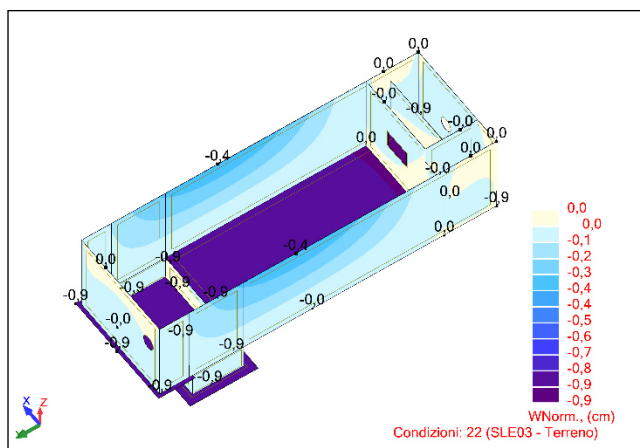
### Azione flettente – Mx [kNm]



### Azione flettente – My [kNm]



### Spostamenti



#### 8.3.3.4 SLD – Diagrammi di sollecitazione

Sollecitazioni e deformazioni allo Stato Limite di Danno risultano inferiori rispetto a quelle ottenute per lo Stato Limite di Esercizio, pertanto non vengono incluse nella presente relazione.



### 8.3.4 Armatura

Elemento	Posizione	Armatura di base	Infittimenti	M <sub>Rd</sub> (kNm/m)	V <sub>Rd</sub> (kN/m)
Platee di fondazione Sp. 50 cm	Intradosso/estradosso	Φ14/15x15	-	Dir. X/Y 177,58	Dir. X/Y 194,68
Setti perimetrali Sp. 40 cm	Armatura di base Paramento Interno/esterno	Φ12/15x15	-	Dir. X/Y 102,66	Dir. X/Y 164,35
Setti perimetrali Sp. 40 cm	Infittimento X Paramento Interno/esterno Intersezione setti	Φ12/15	Infittimenti orizzontali Φ14/30	Dir. X 169,37	Dir. X 168,69
Setti perimetrali Sp. 40 cm	Infittimento Y Paramento Interno/esterno Base elevazioni	Φ12/15	Riprese verticali alla base Φ18/15	Dir. Y 319,27	Dir. Y 210,56

### 8.3.5 Verifiche

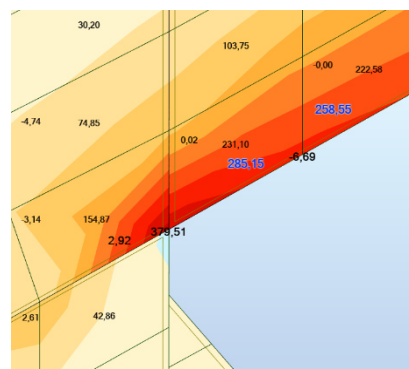
#### 8.3.5.1 SLU/SLV – Verifiche

Si riporta il valore delle azioni agenti ed i coefficienti di sicurezza, calcolati come rapporto tra il momento/taglio resistente di calcolo ed il momento/taglio sollecitante.

Essendo le azioni sismiche di entità modesta, le sollecitazioni dimensionanti si registrano per lo Stato Limite Ultimo: in particolare la combinazione dimensionante risulta quella corrispondente al caso di vasca vuota.

Elemento	Direzione	Comb.	$M_{Ed}$ (kNm)	C.s. $M_{Rd}/M_{Ed}$	$V_{Ed}$ (kN)	C.s. $V_{Rd}/V_{Ed}$
Setti perimetrali Sp. 40 cm Base X	X	SLU03	49,6	2,07	-	-
Setti perimetrali Sp. 40 cm Base Y	Y	SLU03	62,5	1,64	-	-
Setti perimetrali Sp. 40 cm Infittimento X Intersezione setti	X	SLU03	108,2	1,57	143,2	1,18
Setti perimetrali Sp. 40 cm Riprese Y Base elevazioni	Y	SLU03	259,1	1,23	182,0	1,16

N.B.: nel novero delle sollecitazioni dimensionanti, ottenute dal modello agli elementi finiti ed espresse con valori riferiti alla lunghezza unitaria di 1 m, si trascurano i valori di picco segnalati in corrispondenza delle intersezioni tra platee di fondazione e setti perimetrali, in quanto dovuti a concentrazioni puntuali di sforzo nella mesh; infatti, già a pochi centimetri di distanza il valore converge con i valori più corretti utilizzati invece per il dimensionamento.



### 8.3.5.2 Stato limite di esercizio

Per gli Stati Limite di Esercizio si riportano i valori di tensione nel calcestruzzo ( $\sigma_c$ ), nell'acciaio ( $\sigma_s$ ) ed il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ).

Elemento	Direzione	Comb.	$M_{Ed}$ (kNm)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$w_d$ (mm)
Setti perimetrali Sp. 40 cm Base X	X	SLE03	33,1	2,32	131,8	0,151
Setti perimetrali Sp. 40 cm Base Y	Y	SLE03	41,7	2,92	166,3	0,189
Setti perimetrali Sp. 40 cm Infittimento X Intersezione setti	X	SLE03	72,0	4,10	173,6	0,145
Setti perimetrali Sp. 40 cm Riprese Y Base elevazioni	Y	SLE03	172,7	7,77	221,15	0,175

### 8.3.5.3 Stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO)

In accordo con le NTC 2018, la verifica della capacità portante della fondazione è stata condotta seguendo l'Approccio 2 (che prevede coefficienti tipo A1+M1+R3), utilizzando i parametri geotecnici dello strato n°2.

Dimensioni platea di fondazione:

$B = 6,80 \text{ m}$

$L = 19,70 \text{ m}$ ;

$D = 4,70 \text{ m}$

#### Condizioni D

$E_d$ [kN/mq]	$Q_{lim}$ [kN/mq]	$R_d$ [kN/mq]	F.S.
124,0	2972,4	1292,2	10,42

### 8.3.5.4 Calcolo dei cedimenti della fondazione

Si riportano i valori ottenuti per i principali parametri coinvolti nel calcolo dei cedimenti:

$q_0$	98,56 kPa
$B'$	6,80 m
$I_s$	0,53
$I_F$	1
$H$	13,6 m
$\Delta H$	12,6 mm

Il §9.4 del testo *Geotecnica* di R. Lancellotta, per il tipo di struttura in esame, pone i seguenti limiti al di sotto dei quali non si riscontrano danni alle opere:

$\Delta_{max} = 65\text{-}100 \text{ mm}$ ;

I cedimenti stimati sono quindi compatibili con i limiti sopra esposti.

### 8.3.5.5 Verifica di Up-Lift (stato limite di sollevamento)

La verifica non risulta necessaria in quanto il piano di posa della fondazione risulta ad una quota non interessata dalla falda.

## 8.4 POZZETTO DI RACCOLTA ACQUE

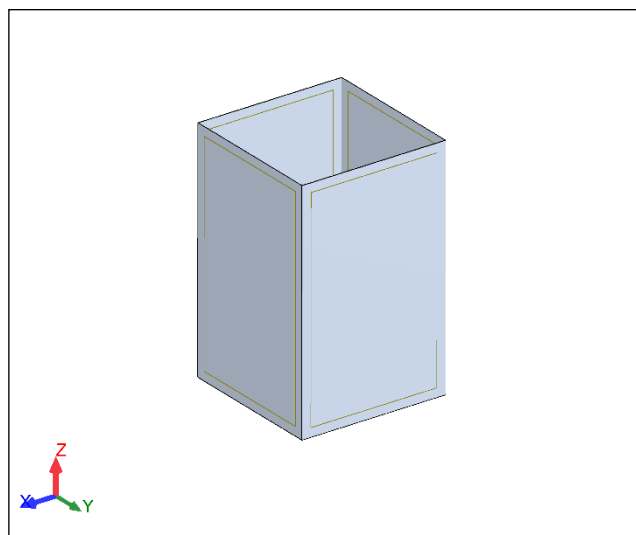
### 8.4.1 Descrizione modello

L'analisi delle strutture è stata eseguita mediante il programma di calcolo Autodesk Robot, impiegando il modello analitico tridimensionale ad elementi finiti piani tipo "shell" contestuale alle strutture modellate tramite il software Autodesk Revit.

I vincoli interni alle strutture (collegamenti tra elevazioni ed elevazioni-platea di fondazione) sono stati schematizzati come incastri lineari; l'interazione terreno-struttura è stata simulata nel modello attraverso un letto di molle alla Winkler di costante di sottofondo pari a  $8200 \text{ kN/m}^3$ , applicato all'intradosso della fondazione.

Il modello è caratterizzato dalle seguenti dimensioni:

Dissabbiatura		
	<b>B [m]</b>	2,70
<b>Platea di fondazione</b>	<b>L [m]</b>	2,70
	<b>Sp. [m]</b>	0,25
	<b>D [m]</b>	4,25
<b>Setti perimetrali</b>	<b>H [m]</b>	4,00
	<b>Sp. [m]</b>	0,25



### 8.4.2 Condizioni di carico

Sono state prese in considerazione le seguenti azioni:

- Azioni permanenti:
  - pesi propri strutturali delle opere, caratterizzati da una  $\rho_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$ ;
  - Azione statica del fluido contenuto nel manufatto –  $h_{w,tot} = 3,5 \text{ m}$  dall'estradosso della platea di fondazione.
  - Azione statica delle terre sui paramenti esterni del manufatto –  $h_{t,tot} = 4,0 \text{ m}$  dall'estradosso della platea di fondazione di ingresso.
- Azioni variabili:
  - azione variabile da traffico veicolare, quantificato pari a  $20 \text{ kN/mq}$ ;
- Azioni sismiche: l'aliquota sismica delle azioni permanenti e la sovra-spinta sismica delle terre e del fluido contenuto all'interno della sezione di trattamento è stata modellata come riportato in (5.5)

### 8.4.3 Risultati dell'analisi

Le azioni descritte, applicate ai modelli di calcolo e combinate secondo le combinazioni di cui al punto precedente, hanno permesso di ricavare le sollecitazioni agenti sulla struttura, in base alle quali è stato eseguito il dimensionamento.

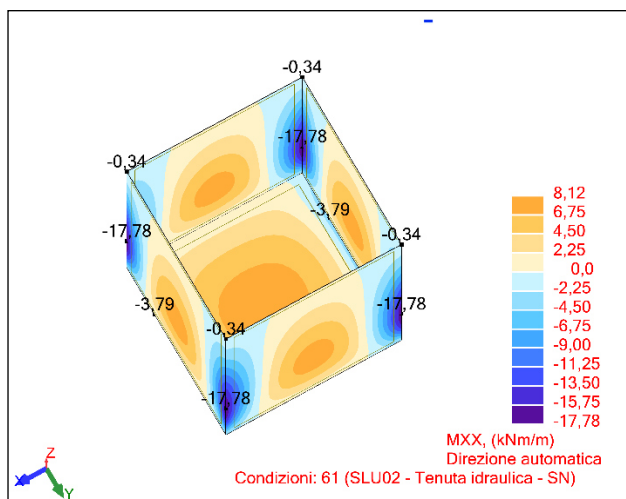
#### Convenzioni di segno:

- Azione assiale: positiva se di compressione;
- Momento flettente:
  - nelle pareti, positivo se tende le fibre sul lato esterno della vasca;
  - nelle platee, positivo se tende l'estradosso della fondazione.

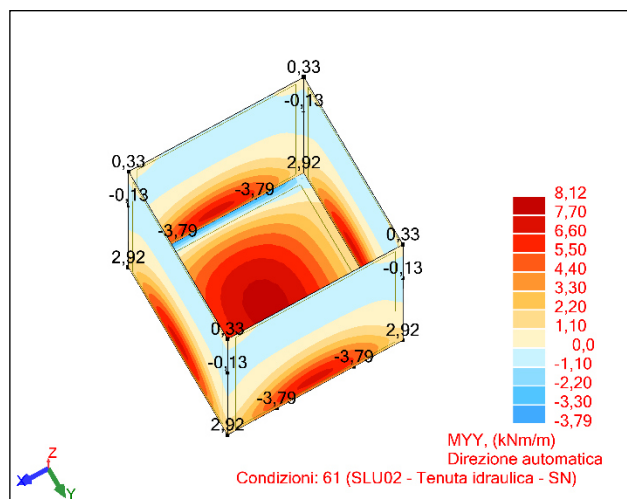
#### 8.4.3.1 SLU – Diagrammi di sollecitazione

##### SLU02

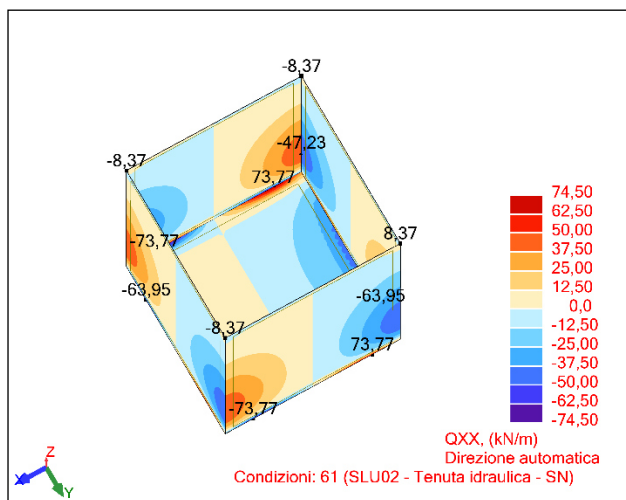
##### Azione flettente – Mx [kNm]



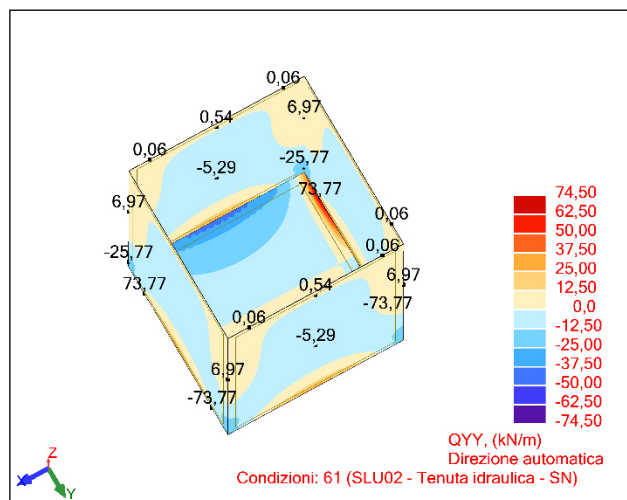
##### Azione flettente – My [kNm]



##### Azione tagliante Vx [kN]

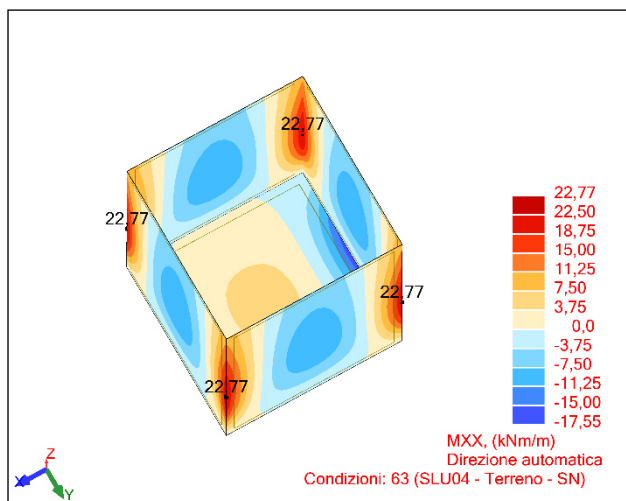


##### Azione tagliante Vy [kN]

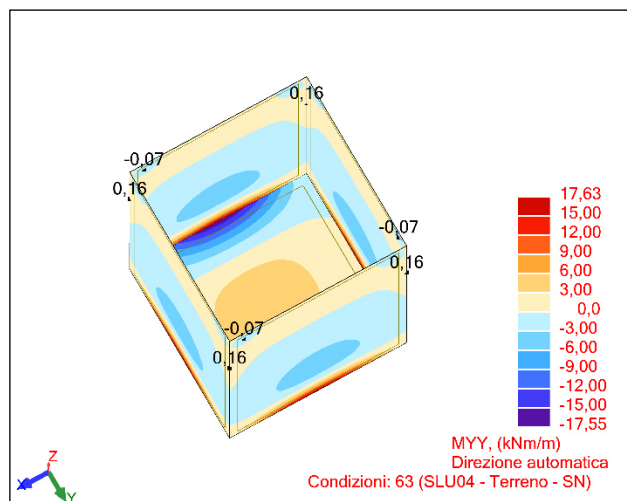


# SLU04

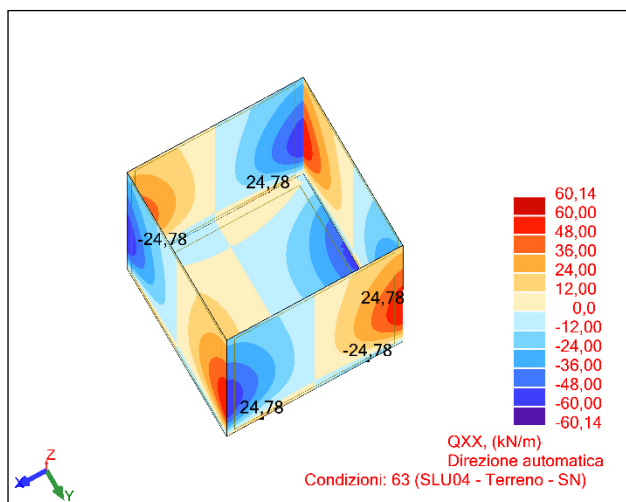
## Azione flettente – Mx [kNm]



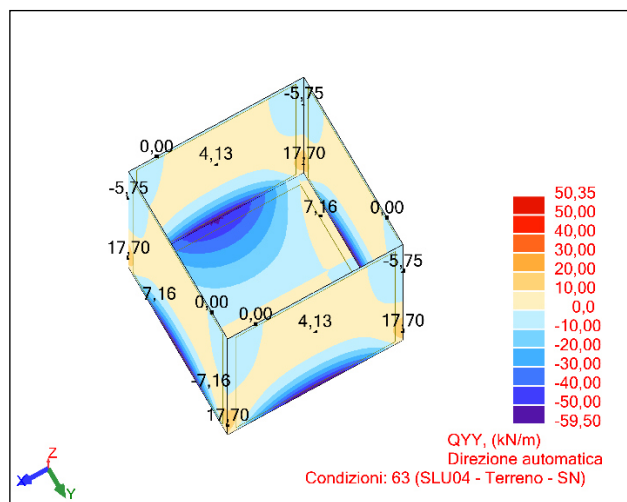
## Azione flettente – My [kNm]



## Azione tagliante Vx [kN]



## Azione tagliante Vy [kN]

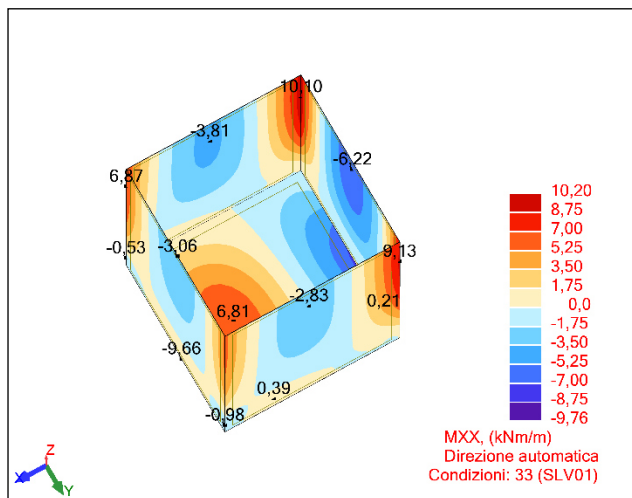




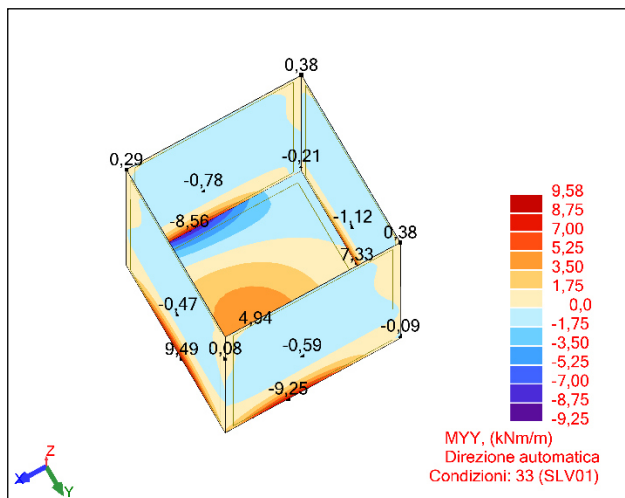
### 8.4.3.2 SLV – Diagrammi di sollecitazione

SLV07

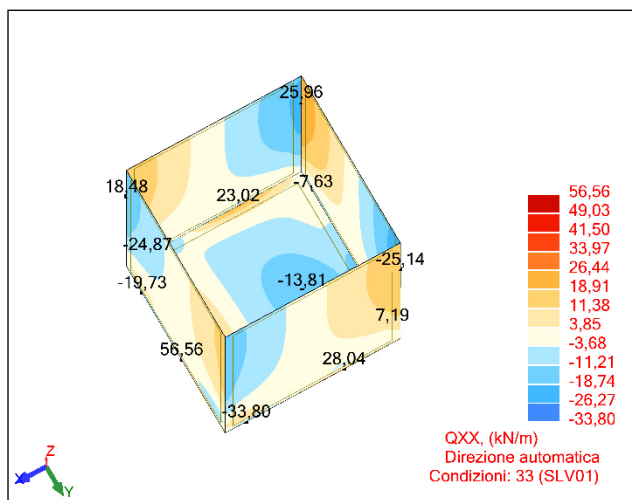
Azione flettente – Mx [kNm]



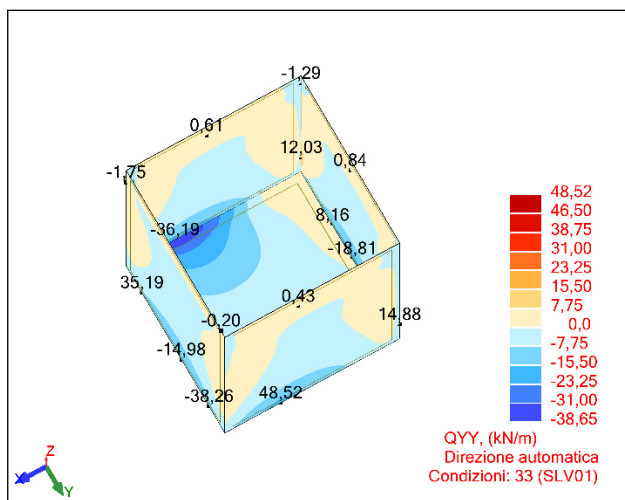
Azione flettente – My [kNm]



Azione tagliante Vx [kN]



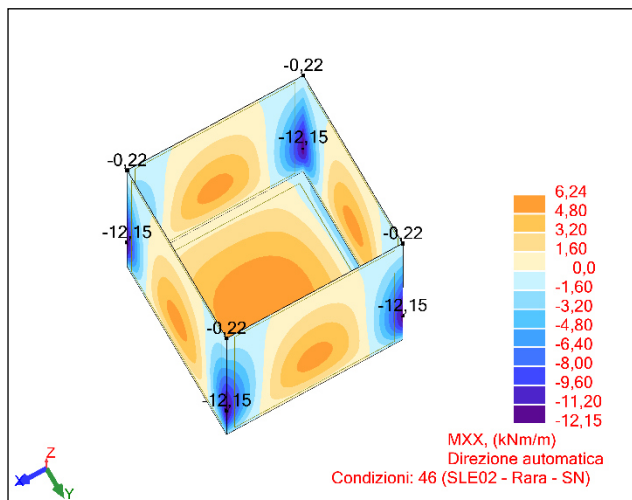
Azione tagliante Vy [kN]



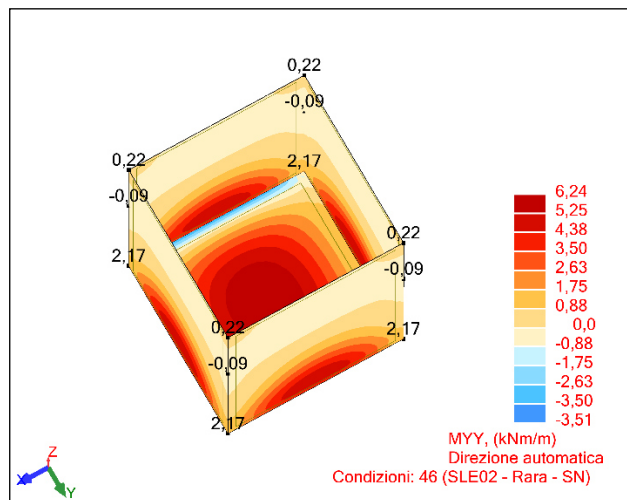
### 8.4.3.3 SLE – Diagrammi di sollecitazione

#### SLE02 - Rara

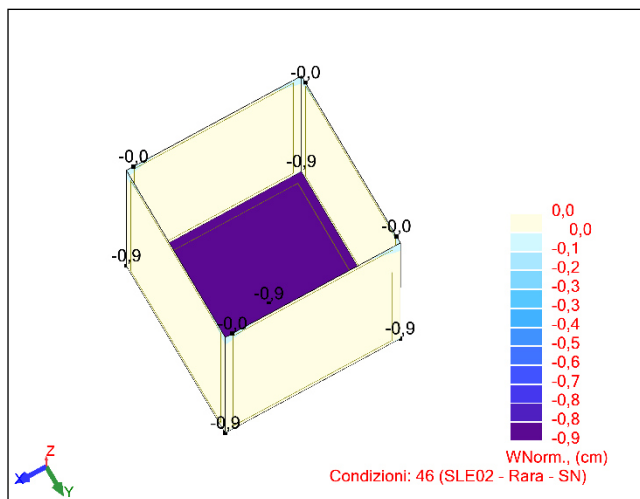
#### Azione flettente – Mx [kNm]



#### Azione flettente – My [kNm]

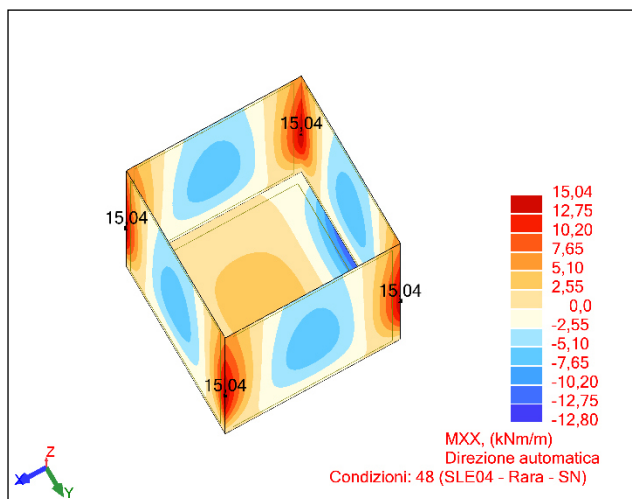


#### Spostamenti

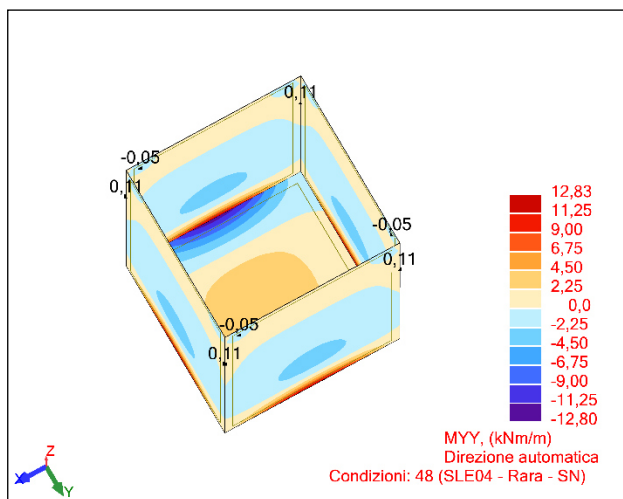


## SLE04 - Rara

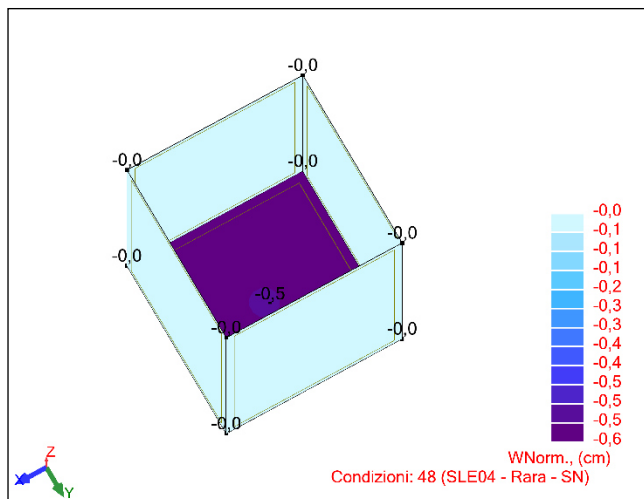
### Azione flettente – Mx [kNm]



### Azione flettente – My [kNm]



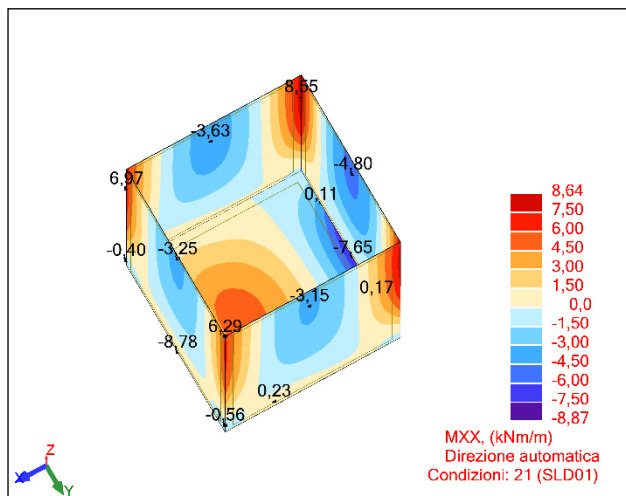
## Spostamenti



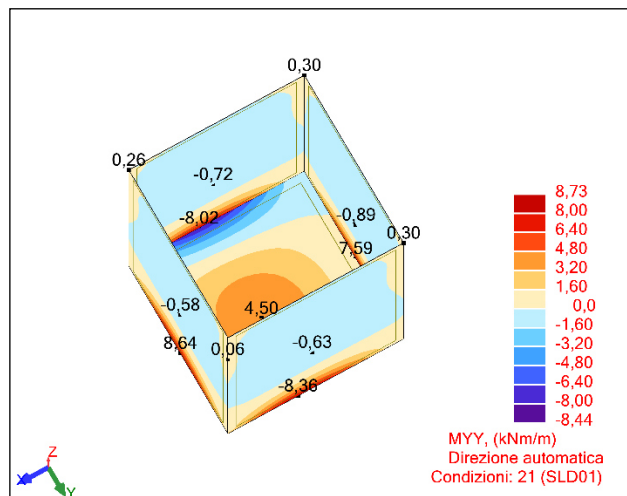
#### 8.4.3.4 SLD – Diagrammi di sollecitazione

SLD07

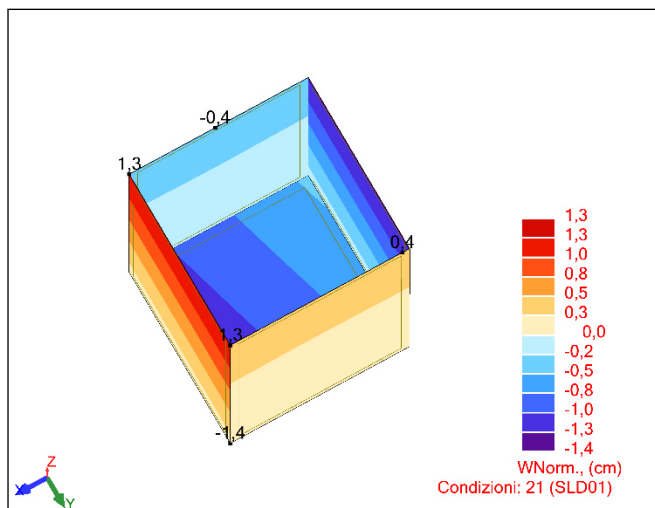
Azione flettente – Mx [kNm]



Azione flettente – My [kNm]



Spostamenti



#### 8.4.4 Armatura

Elemento	Posizione	Armatura di base	Infittimenti	$M_{Rd}$ (kNm/m)	$V_{Rd}$ (kN/m)
Platea Sp. 25 cm	Intradosso/estradosso	$\Phi 12/20 \times 20$	-	Dir. X/Y 46,39	Dir. X/Y 115,48
Setti Sp. 25 cm	Paramento Interno/esterno	$\Phi 12/20 \times 20$	-	Dir. X/Y 46,39	Dir. X/Y 115,48

## 8.4.5 Verifiche

### 8.4.5.1 SLU/SLV – Verifiche

Si riporta il valore delle azioni agenti ed i coefficienti di sicurezza, calcolati come rapporto tra il momento/taglio resistente di calcolo ed il momento/taglio sollecitante.

Essendo le azioni sismiche di entità modesta, le sollecitazioni dimensionanti si registrano per lo Stato Limite Ultimo.

Elemento	Direzione	Comb.	$M_{Ed}$ (kNm)	C.s. $M_{Rd}/M_{Ed}$	$V_{Ed}$ (kN)	C.s. $V_{Rd}/V_{Ed}$
Platea Sp. 25 cm	X	SLU04	27,77	1,67	63,95	1,80
	Y		17,46	2,66		
Setti Sp. 25 cm	X/Y	SLU04	17,46	2,66	73,77	1,56

### 8.4.5.2 Stato limite di esercizio

Per gli Stati Limite di Esercizio si riportano i valori di tensione nel calcestruzzo ( $\sigma_c$ ), nell'acciaio ( $\sigma_s$ ) ed il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ).

Elemento	Direzione	Comb.	$M_{Ed}$ (kNm)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$w_d$ (mm)
Platea Sp. 25 cm	X	SLE04	15,04	2,92	138,73	0,145
	Y		12,70	2,46	117,14	0,122
Setti Sp. 25 cm	X/Y	SLE04	12,7	2,46	117,14	0,122

#### 8.4.5.3 Stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO)

In accordo con le NTC 2018, la verifica della capacità portante della fondazione è stata condotta seguendo l'Approccio 2 (che prevede coefficienti tipo A1+M1+R3), utilizzando i parametri geotecnici dello strato n°2.

Dimensioni platea di fondazione:

$$B = L = 2,7 \text{ m}$$

$$D = 4,30 \text{ m}$$

#### Condizioni D

$E_d$ [kN/mq]	$Q_{lim}$ [kN/mq]	$R_d$ [kN/mq]	F.S.
108,3	2099,3	912,7	8,43

#### 8.4.5.4 Calcolo dei cedimenti della fondazione

Si riportano i valori ottenuti per i principali parametri coinvolti nel calcolo dei cedimenti:

$q_0$	92 kPa
$B'$	2,70 m
$I_s$	0,43
$I_F$	1
$H$	5,4 m
$\Delta H$	3,8 mm

Il §9.4 del testo *Geotecnica* di R. Lancellotta, per il tipo di struttura in esame, pone i seguenti limiti al di sotto dei quali non si riscontrano danni alle opere:

$$\Delta_{max} = 65-100 \text{ mm};$$

I cedimenti stimati sono quindi compatibili con i limiti sopra esposti.

#### 8.4.5.5 Verifica di Up-Lift (stato limite di sollevamento)

La verifica non risulta necessaria in quanto il piano di posa della fondazione risulta ad una quota non interessata dalla falda.

## 8.5 DISINFEZIONE

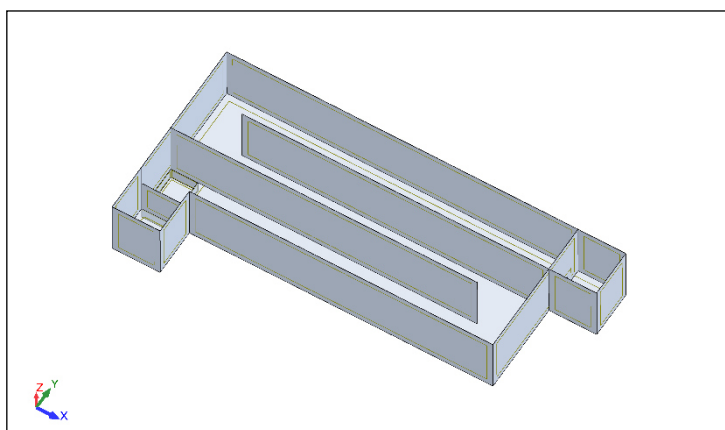
### 8.5.1 Descrizione modello

L'analisi delle strutture è stata eseguita mediante il programma di calcolo Autodesk Robot, impiegando il modello analitico tridimensionale ad elementi finiti piani tipo "shell" contestuale alle strutture modellate tramite il software Autodesk Revit.

I vincoli interni alle strutture (collegamenti tra elevazioni ed elevazioni-platea di fondazione) sono stati schematizzati come incastri lineari; l'interazione terreno-struttura è stata simulata nel modello attraverso un letto di molle alla Winkler di costante di sottofondo pari a 8200 kN/m<sup>3</sup>, applicato all'intradosso della fondazione.

Il modello è caratterizzato dalle seguenti dimensioni:

Disinfezione		
Platea di fondazione	B [m]	7,20
	L [m]	17,40
	Sp. [m]	0,40
	D [m]	3,20
Setti perimetrali	H [m]	3,00
	Sp. [m]	0,40
Setti interni	H [m]	3,00
	Sp. [m]	0,30



### 8.5.2 Condizioni di carico

Sono state prese in considerazione le seguenti azioni:

- Azioni permanenti:
  - pesi propri strutturali delle opere, caratterizzati da una  $\rho_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$ ;
  - Azione statica del fluido contenuto nel manufatto –  $h_{w,tot} = 1,85 \text{ m}$  dall'estradosso della platea di fondazione.
  - Azione statica delle terre sui paramenti esterni del manufatto –  $h_{t,tot} = 2,6 \text{ m}$  dall'estradosso della platea di fondazione.
- Azioni variabili:
  - azione variabile da traffico trasmessa al terreno da mezzi circolanti in prossimità dei manufatti, quantificato pari a 20 kN/mq;
- Azioni sismiche: l'aliquota sismica delle azioni permanenti e la sovra-spinta sismica delle terre e del fluido contenuto all'interno della sezione di trattamento è stata modellata come riportato in (5.5)



### 8.5.3 Risultati dell'analisi

Le azioni descritte, applicate ai modelli di calcolo e combinate secondo le combinazioni di cui al punto precedente, hanno permesso di ricavare le sollecitazioni agenti sulla struttura, in base alle quali è stato eseguito il dimensionamento.

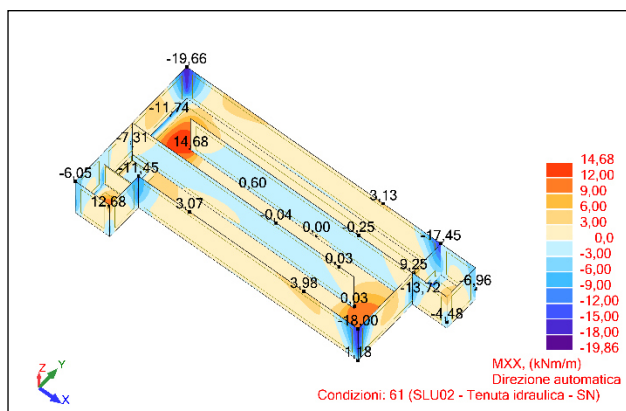
#### Convenzioni di segno:

- Azione assiale: positiva se di compressione;
- Momento flettente:
  - nelle pareti, positivo se tende le fibre sul lato esterno della vasca;
  - nelle platee, positivo se tende l'estradosso della fondazione.

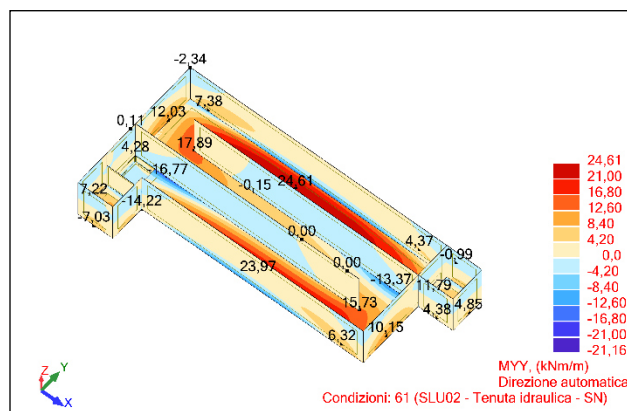
#### 8.5.3.1 SLU – Diagrammi di sollecitazione

##### SLU02

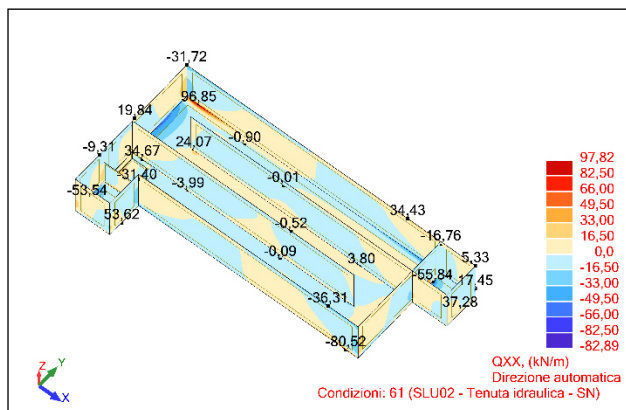
##### Azione flettente – Mx [kNm]



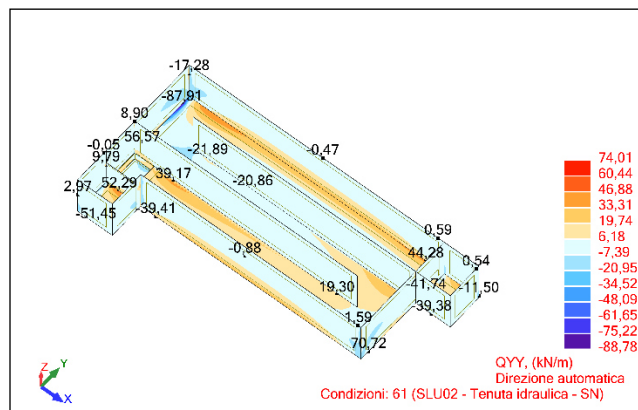
##### Azione flettente – My [kNm]



##### Azione tagliante Vx [kN]

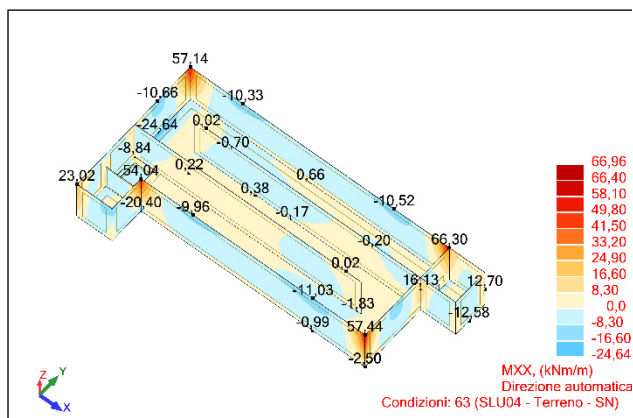


##### Azione tagliante Vy [kN]

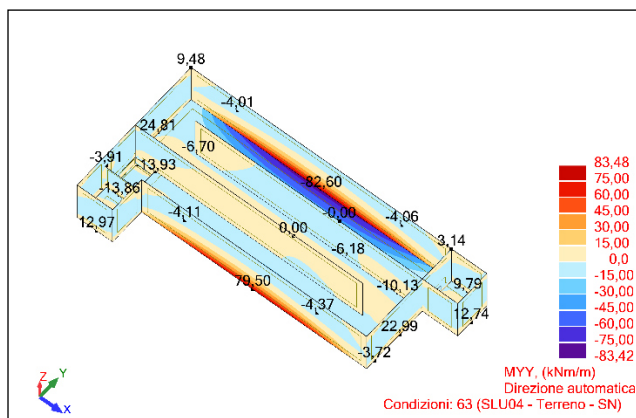


SLU04

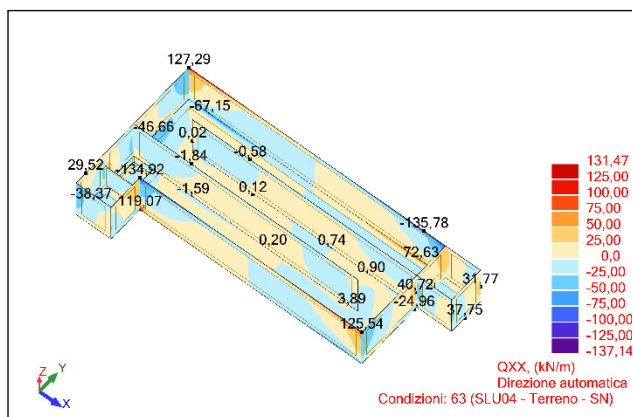
Azione flettente – Mx [kNm]



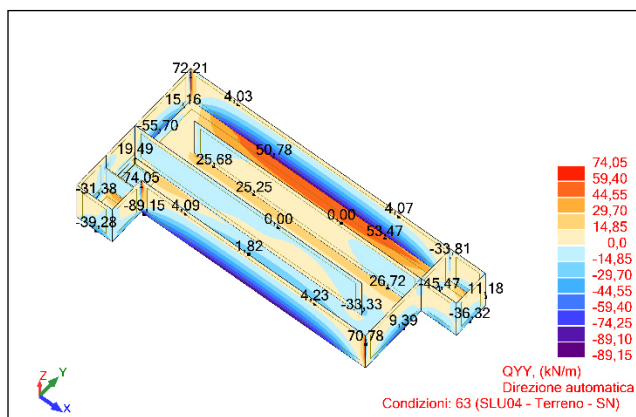
Azione flettente – My [kNm]



Azione tagliante Vx [kN]



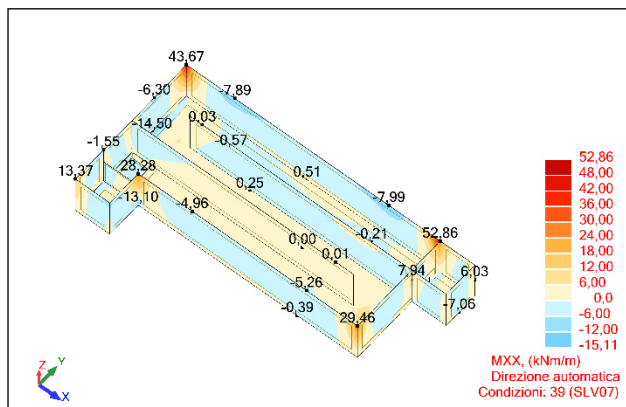
Azione tagliante Vy [kN]



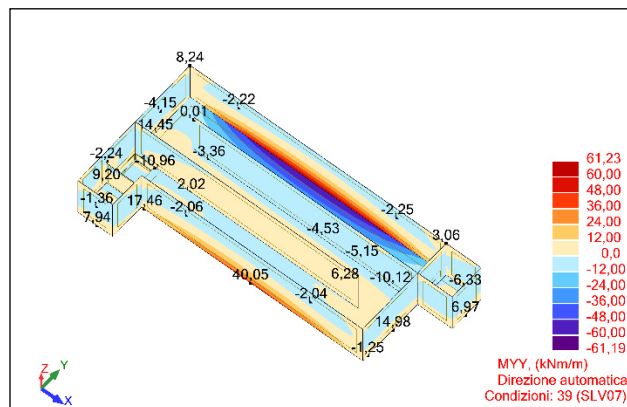
### 8.5.3.2 SLV – Diagrammi di sollecitazione

SLV07

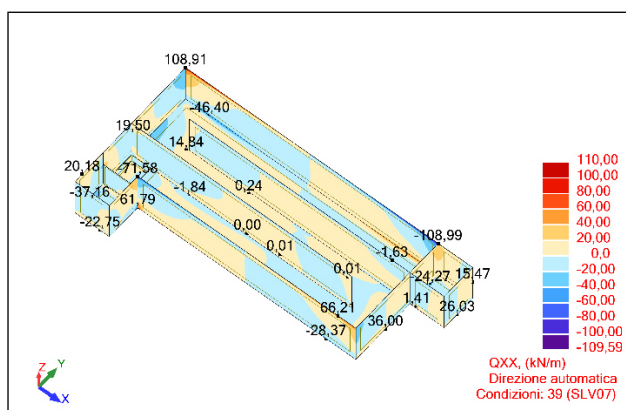
Azione flettente – Mx [kNm]



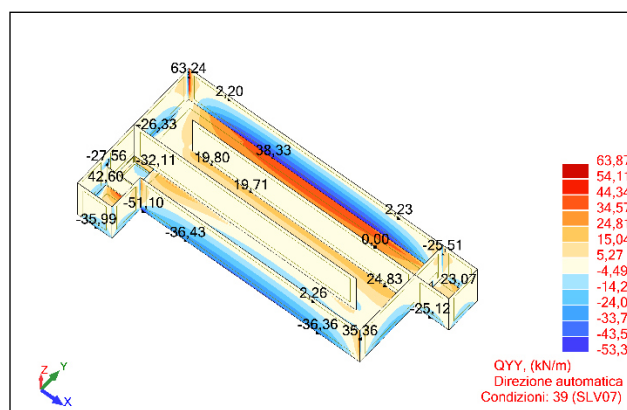
Azione flettente – My [kNm]



Azione tagliante Vx [kN]



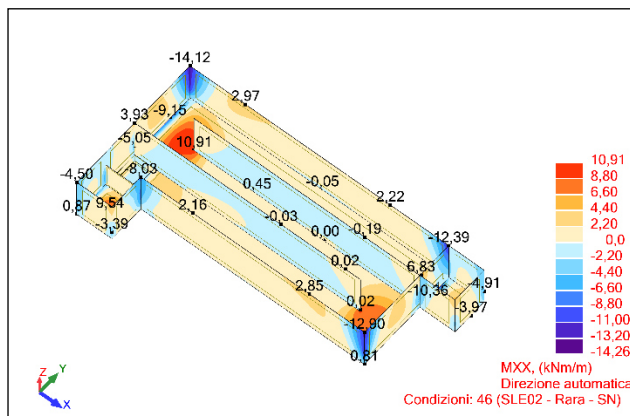
Azione tagliante Vy [kN]



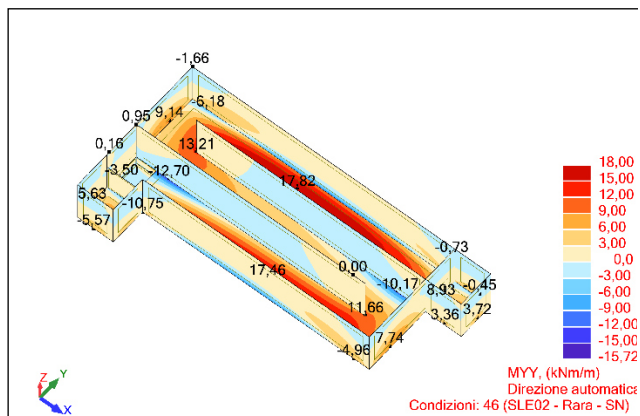
### 8.5.3.3 SLE – Diagrammi di sollecitazione

SLE02 - Rara

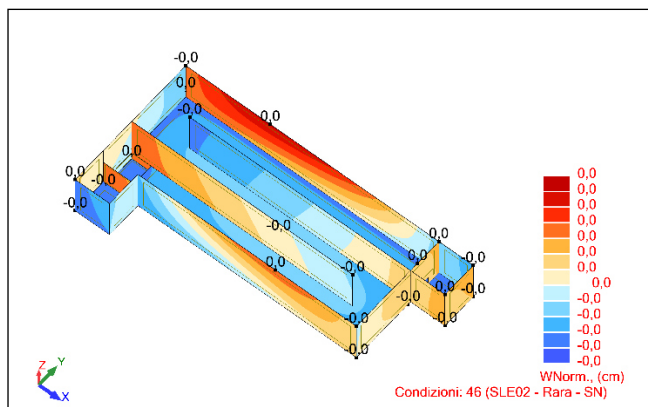
Azione flettente – Mx [kNm]



Azione flettente – My [kNm]

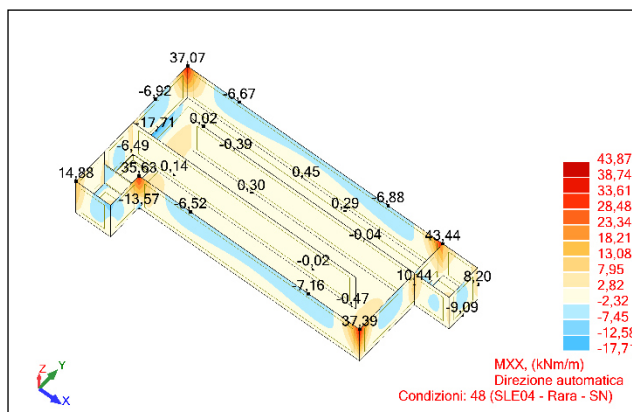


Spostamenti

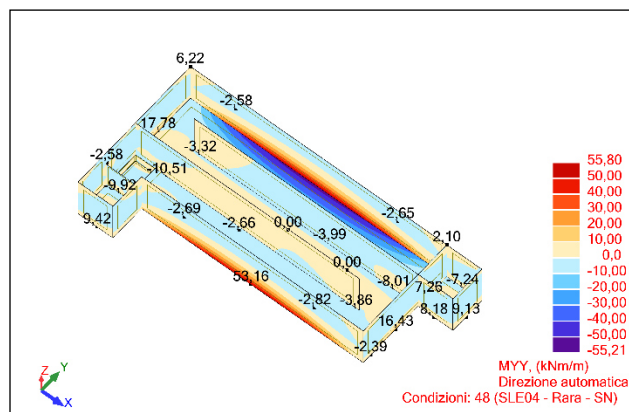


## SLE04 - Rara

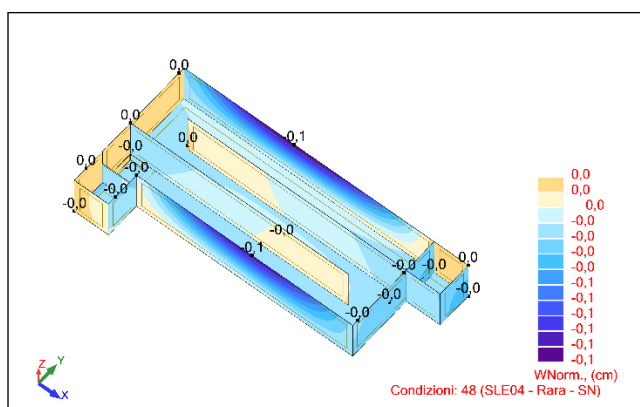
### Azione flettente – Mx [kNm]



### Azione flettente – My [kNm]



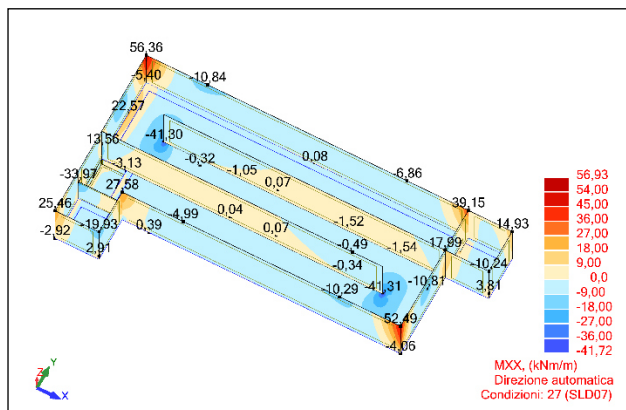
## Spostamenti



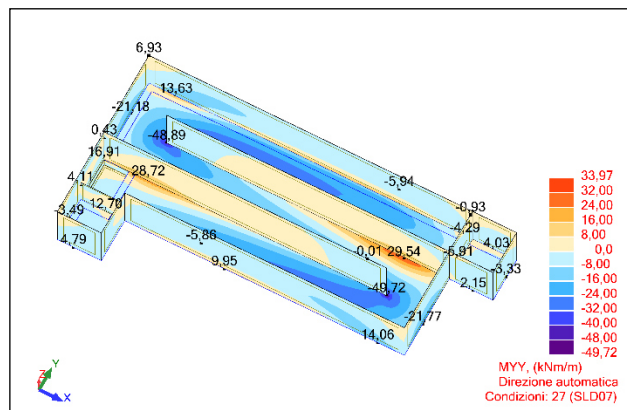
### 8.5.3.4 SLD – Diagrammi di sollecitazione

SLD07

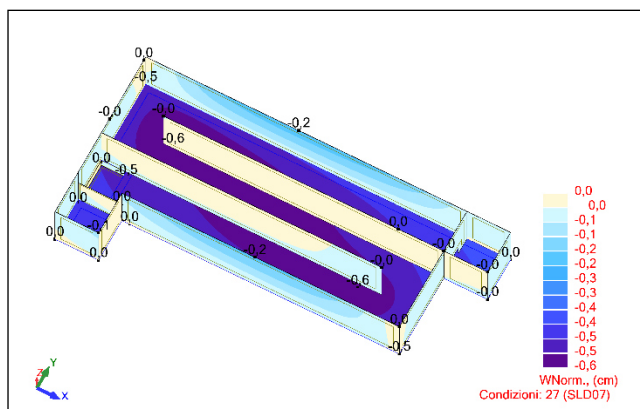
Azione flettente – Mx [kNm]



Azione flettente – My [kNm]



Spostamenti



## 8.5.4 Armatura

Elemento	Posizione	Armatura di base	Infittimenti	M <sub>Rd</sub> (kNm/m)	V <sub>Rd</sub> (kN/m)
Platea Sp. 40 cm	Intradosso/estradosso	Φ14/20x20	-	Dir. X/Y 104,77	Dir. X/Y 164,35
Platea Sp. 40 cm	Intradosso/estradosso	Φ14/20x20	Φ10/20 in corrispondenza dei setti longitudinali	Dir. Y 156,05	Dir. X/Y 164,35
Setti perimetrali Sp. 40 cm	Paramento Interno/esterno	Φ12/20x20	-	Dir. X/Y 77,85	Dir. X/Y 164,35
Setti perimetrali Sp. 40 cm	Paramento Interno/esterno	-	Riprese verticali e orizzontali Φ16/20 In corrispondenza degli incastri	Dir. X/Y 129,46	Dir. X/Y 164,35
Setti interni Sp. 30 cm	Paramento Interno/esterno	Φ12/20x20	-	Dir. X/Y 56,69	Dir. X/Y 132,38

## 8.5.5 Verifiche

### 8.5.5.1 SLU/SLV – Verifiche

Si riporta il valore delle azioni agenti ed i coefficienti di sicurezza, calcolati come rapporto tra il momento/taglio resistente di calcolo ed il momento/taglio sollecitante.

Essendo le azioni sismiche di entità modesta, le sollecitazioni dimensionanti si registrano per lo Stato Limite Ultimo.

Elemento	Direzione	Comb.	$M_{Ed}$ (kNm)	C.s. $M_{Rd}/M_{Ed}$	$V_{Ed}$ (kN)	C.s. $V_{Rd}/V_{Ed}$
Platea Sp. 40 cm	X	SLU04	24,6	4,26	81,19	2,02
	Y		82,6	1,89		
Setti perimetrali Sp. 40 cm	X	SLU04	66,96	1,93	127,29	1,29
	Y		79,50	1,63		



### 8.5.5.2 Stato limite di esercizio

Per gli Stati Limite di Esercizio si riportano i valori di tensione nel calcestruzzo ( $\sigma_c$ ), nell'acciaio ( $\sigma_s$ ) ed il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ).

Elemento	Direzione	Comb.	$M_{Ed}$ (kNm)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$w_d$ (mm)
Platea di ingresso Sp. 40 cm	X	SLE04	17,7	1,25	69,06	0,08
	Y		55,21	3,31	144,61	0,125
Setti perimetrali Sp. 40 cm	X	SLE04	43,44	2,76	130,89	0,149
	Y		53,16	3,37	160,18	0,182

### 8.5.5.3 Stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO)

In accordo con le NTC 2018, la verifica della capacità portante della fondazione è stata condotta seguendo l'Approccio 2 (che prevede coefficienti tipo A1+M1+R3), utilizzando i parametri geotecnici dello strato n°2.

Dimensioni platea di fondazione:

$B = 8,25 \text{ m}$

$L = 17,40 \text{ m};$

$D = 2,40 \text{ m}$

#### Condizioni D

$E_d$ [kN/mq]	$Q_{lim}$ [kN/mq]	$R_d$ [kN/mq]	F.S.
61,5	2512,2	1092,2	17,76

### 8.5.5.4 Calcolo dei cedimenti della fondazione

Si riportano i valori ottenuti per i principali parametri coinvolti nel calcolo dei cedimenti:

$q_0$	49,5 kPa
$B'$	7,2 m
$I_s$	0,52
$I_F$	1
$H$	14,4 m
$\Delta H$	6,6 mm

Il §9.4 del testo *Geotecnica* di R. Lancellotta, per il tipo di struttura in esame, pone i seguenti limiti al di sotto dei quali non si riscontrano danni alle opere:

$\Delta_{max} = 65\text{-}100 \text{ mm};$

I cedimenti stimati sono quindi compatibili con i limiti sopra esposti.

### 8.5.5.5 Verifica di Up-Lift (stato limite di sollevamento)

La verifica non risulta necessaria in quanto il piano di posa della fondazione risulta ad una quota non interessata dalla falda.

## 9 CONCLUSIONI

---

Il presente documento costituisce la *Relazione di pre-dimensionamento delle strutture* del progetto definitivo per *Adeguamento idraulico dell'impianto di depurazione di Bellinzago (NO)*, così come previsto dai D.Lgs. 50/16, D.Lgs. 163/06, D.P.R. 207/10 e D.Lgs. 56 del 19 aprile 2017.

Le analisi condotte hanno permesso di dimensionare gli elementi strutturali delle nuove opere previste in progetto; esse non si sono spinte nella verifica dei dettagli costruttivi, coerentemente con gli obbiettivi del progetto definitivo. Nella prossima fase di progettazione sarà necessario affinare i calcoli sulle strutture, affidandosi anche a codici di calcolo automatici agli elementi finiti.

Alcune considerazioni conclusive riguardano il comparto di disinfezione finale: data la vicinanza del comparto di progetto a opere esistenti (in particolare il sedimentatore secondario, in funzione, e l'ex percolatore, dismesso) si suggerisce una più precisa caratterizzazione delle dimensioni geometriche dei suddetti comparti, da perseguirsi mediante reperimento di documentazione progettuale originale o rilievo delle dimensioni geometriche in sito, al fine di valutare al meglio le lavorazioni di scavo e non incorrere nel rischio di interferire con i piani fondazionali delle fondazioni delle opere esistenti, non oggetto di demolizione.