

PROGETTAZIONE

STUDIO DI INGEGNERIA  
ISOLA BOASSO & ASSOCIATI S.r.l.  
Dott. Ing. Renzo ISOLA  
Dott. Ing. Riccardo ISOLA  
Dott. Ing. Paolo BOASSO  
Dott. Ing. Fabrizio RABAGLIO

Corso Prestinari 86  
13100 VERCELLI (VC)

Tel. 0039 0161 215214  
fax. 0039 0161 1895045  
isolaboasso@email.it  
isolaboassoassociati@legalmail.it  
www.isolaboasso.it



Acqua Novara VCO Spa  
Via L. Triggiani n. 9  
28100 NOVARA

PROGETTO DEFINITIVO

Oggetto

AMPLIAMENTO  
DEPURATORE DI  
GRAVELLONA TOCE

Via Trattati di Roma  
Gravellona Toce (VB)

Data: Dicembre 2019

Rif. archivio: 002.19

Scala

—

TAV. n° ST.01.002

Rev.

AGGIORNAMENTI

DATA

Contenuto degli Elaborati

RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI

Il Responsabile  
Dott. Ing. Riccardo ISOLA

Visto

Vs. Rif. arch.:

Riproduzione o consegna a terzi  
solo dietro specifica autorizzazione

Ente destinatario:

—

\* Riservato all'Amministrazione

## Sommario

1	Oggetto della relazione e criteri di progettazione.....	2
1.1	Opere strutturali .....	2
1.2	Inquadramento normativo .....	4
2	Inquadramento geologico e geotecnico .....	4
2.1	Soggiacenza della falda .....	5
2.2	Indagini geognostiche e caratterizzazione geotecnica .....	5
2.3	Categoria di sottosuolo .....	6
2.4	Condizioni topografiche .....	7
3	Classificazione sismica .....	7
4	Verifiche geotecniche delle fondazioni dirette .....	7
4.1	Verifiche di resistenza a SLU e SLV .....	8
4.1.1	Verifica al carico limite .....	8
4.1.2	Condizioni e combinazioni di carico .....	9
4.1.3	Verifiche manufatto di grigliatura fine e dissabbiatura .....	10
4.1.4	Verifiche edificio di ispessimento.....	14
4.2	Verifiche di cedimento a SLE.....	19
4.2.1	Calcolo delle tensioni indotte.....	19
4.2.2	Verifiche manufatto di grigliatura fine e dissabbiatura .....	19
4.2.3	Verifiche edificio di ispessimento.....	20
5	Calcolo delle opere provvisoriale.....	21
5.1	Berlinese per manufatto grigliatura grossolana e pompaggio.....	22
5.2	Berlinese per pompaggio fanghi .....	23
5.2.1	Modello con il carico del terreno .....	24
5.2.2	Modello con il carico del sedimentatore.....	25
6	Verifiche di galleggiamento.....	27

## 1 Oggetto della relazione e criteri di progettazione

### 1.1 Opere strutturali

Il presente elaborato costituisce la relazione geotecnica e sulle fondazioni del Progetto Definitivo relativo ai lavori di “Ampliamento del depuratore di Gravelлона Toce”, situato in via Trattati di Roma, svolto da codesto studio di ingegneria nell’ambito dell’ordine di lavoro n. 371 del 08.02.2019 ricevuto da Acqua Novara VCO S.p.A.

Il progetto di adeguamento risulta un primo lotto attuativo e funzionale di una serie di interventi relativi ad ulteriori sviluppi futuri del depuratore, a seguito degli interventi di riassetto fognario previsti a medio-lungo termine verso la Valle del Toce fino a Villadossola.

Nell’ambito del presente progetto si prevede:

- Il riutilizzo di una parte dei manufatti esistenti, con esecuzione di alcune modifiche per l’adattamento;
- La realizzazione di nuovi manufatti e edifici con strutture in calcestruzzo armato gettato in opera e carpenteria metallica.

Nel dettaglio le opere strutturali previste nel progetto di primo lotto sono le seguenti:

- Platea di fondazione per l’unità di trattamento dei bottini, in cls armato gettato in opera, di dimensioni in pianta pari a 6.80m x 10.00 m e spessore 30 cm.
- Manufatto di grigliatura grossolana e sollevamento iniziale, in cls armato gettato in opera, avente dimensioni massime in pianta pari a 7.20 m x 17.00 m; l’opera è completamente interrata con profondità di 5.20 m per la grigliatura e 7.50 m per il pompaggio. La platea ha spessore pari a 50 cm.
- Manufatto di grigliatura fine e dissabbiatura, in cls armato gettato in opera, avente dimensioni massime in pianta pari a 24.80 m x 11.70 m; l’opera presenta una parte fuori terra di altezza 6.00 m ed una parte interrata di altezza 2.10 m. La platea ha spessore pari a 50 cm.
- Manufatto dedicato allo sfioro della portata superiore a 3 Qm, in cls armato gettato in opera, avente dimensioni massime in pianta pari a 7.80 m x 13.10 m; l’opera presenta una parte fuori terra di altezza 3.80 m ed una parte interrata di altezza circa 3.15 m. La platea ha uno spessore di 40 cm
- Manufatto per comparto biologico a cicli alternati, in cls armato gettato in opera, avente dimensioni massime in pianta pari a 13.90 m x 47.20 m; l’opera è quasi completamente interrata, con un’altezza complessiva di circa 6.90 m di cui soltanto 1.35 m fuori terra. La platea ha uno spessore pari a 70 cm.
- Nuova porzione di edificio soffianti, in ampliamento di quello esistente, costituito da una platea in cls armato gettato in opera, di dimensioni 6.90 m x 6.45 m e spessore 30 cm, e da una parte in elevazione con struttura costituita da profilati in carpenteria metallica d’acciaio.
- Manufatto di ripartizione a monte dei sedimentatori, in cls armato gettato in opera, avente dimensioni massime in pianta pari a 5.90 m x 3.60 m; l’opera è quasi completamente interrata,

con un'altezza complessiva di circa 3.30 m di cui soltanto 0.60 m fuori terra. La platea e le pareti esterne hanno uno spessore pari a 30 cm mentre quelle interne sono spesse 20 cm.

- Manufatto di sollevamento fanghi, in cls armato gettato in opera, avente dimensioni massime in pianta pari a 10.00 m x 7.60 m; l'opera è completamente interrata e prevede una camera di accumulo e pompaggio dei fanghi con profondità di 5.90 m ed una camera valvole con profondità di 2.70 m. Le platee hanno uno spessore pari a 40 cm.
- Manufatto di filtrazione terziaria, in cls armato gettato in opera, avente dimensioni massime in pianta pari a 11.00 m x 7.20 m; l'opera è completamente interrata e prevede diverse parti con differenti profondità, da un minimo di 3.30 m ad un massimo di 4.65 m. Le platee hanno uno spessore pari a 40 cm.
- Nuova vasca di disinfezione, in cls armato gettato in opera, avente dimensioni massime in pianta pari a 13.30 m x 9.30 m. L'opera risulta completamente interrata, con profondità di circa 4.10 m; La platea ha uno spessore pari a 40 cm. A lato della vasca è prevista anche un'unità di stoccaggio del PAA che verrà alloggiata sotto una pensilina in carpenteria metallica, avente platea di fondazione in cls gettato in opera, di dimensioni 5.40 m x 6.30 m x 0.30 m.
- Nuovo locale elettrico, con dimensioni massime in pianta di 7.40 m x 4.80 m ed altezza pari a 3.50 m. Le fondazioni continue, in cls gettato in opera, presentano sezione a T rovescio di larghezza 70 cm ed altezza 80 cm, con spessore 40 cm.
- Nuovo edificio per ispessimento meccanico dei fanghi, costituito da una struttura in carpenteria metallica di acciaio a due piani, di dimensioni in pianta pari a 10.55 m x 6.55 m ed altezza di circa 6m. Il sistema fondale è costituito da un graticcio di travi di fondazione, in cls armato gettato in opera, di sezione a T rovescio di larghezze 80 e 100 cm ed altezza 80 cm e spessore 40 cm. Le colonne e le travi di impalcato sono in profilati di acciaio di sezione HeA 200, i controventi di sezione UPN120 mentre le solette sono in grigliati pesanti.
- Letti di essiccazione dei fanghi, in cls armato gettato in opera, avente dimensioni massime in pianta pari a 10.00 m x 8.00 m. La struttura è tutta fuori terra, con altezza 110 cm e presenta platea e pareti di spessore 25 cm.
- Manufatti interrati per installazione ed ispezione dei misuratori di portata, su tubazione singola o doppia, realizzati in calcestruzzo armato gettato in opera. I manufatti su tubazione singola hanno dimensioni esterne in pianta pari a 2.60 x 2.60 m, con spessori strutturali di 30 cm per platea e pareti, mentre quelli su tubazione doppia hanno dimensioni esterne in pianta pari a 3.40 x 2.70 m, con spessori strutturali di 35 cm per platea e pareti.

Nell'area del depuratore, al fine di realizzare le nuove opere, occorre effettuare degli scavi di sbancamento e a sezione obbligata di notevoli dimensioni, che talvolta si trovano nelle vicinanze di alcuni edifici esistenti del depuratore.

Al fine di evitare di indurre fenomeni di dissesto in tali edifici, per scarichi tensionali del terreno di fondazione dovuti alle operazioni di scavo, sono previste una serie di opere provvisorie, che nella fattispecie sono:

- Una berlinese di micropali in corrispondenza del lato del nuovo manufatto di grigliatura grossolana e sollevamento, sul lato lungo verso gli edifici esistenti. La berlinese sarà realizzata con perforazioni  $\phi 30$  cm profonde 10 m, a passo 50 cm, e un ordine di tiranti L=12m (30 ton) a interasse 1.50 m.

- Una berlinese di micropali in corrispondenza di tre lati del perimetro del manufatto di pompaggio fanghi, a protezione dei sedimentatori esistenti, realizzata con perforazioni  $\phi 30$  cm profonde 11 m, a passo 50 cm, e un ordine di tiranti  $L=13$ m (30 ton) a interasse 1.50 m collocato a 2.50 m di profondità. Le armature dei micropali sono tubolari di spessore 10 mm e diametro 193.7 mm ed in testa alla berlinese abbiamo una trave di coronamento in c.a. di sezione 60x50 cm.

La parte più profonda del manufatto di grigliatura grossolana e sollevamento fanghi, che prevede uno scavo fino a quota -7.50 dal piano campagna e quindi quasi 3 metri sotto al livello medio della falda, che si trova a -4.80 m, verrà realizzato con dei diaframmi in c.a. ed un tappo di fondo in jet grouting, al fine di poter operare in condizioni di asciutto nella realizzazione dell'opera.

Tutti i manufatti sono stati anche sottoposti a verifiche di galleggiamento, nell'ipotesi più che cautelativa di un innalzamento della falda fino a quota di -1.50 m dal piano campagna del depuratore; le verifiche sono riportate nel presente elaborato, unitamente alle verifiche delle opere provvisionali.

## 1.2 Inquadramento normativo

Il calcolo delle strutture viene eseguito con riferimento al metodo degli stati limite, nel rispetto delle norme vigenti, in particolare il D.Min. Infrastrutture del 17/1/2018 "Aggiornamento delle norme Tecniche per le Costruzioni". Come tipo di intervento si tratterà di "Nuove costruzioni", rientranti nelle tipologie del cap. 4 "Costruzioni civili ed industriali", cap. 4.1 "Costruzioni in calcestruzzo" e 4.2 "Costruzioni in acciaio".

Le opere citate sono tutte comprese nel Tipo di costruzione 2 "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari", con Vita Nominale  $V_n \geq 50$  anni; la Classe d'Uso è la III, comprendente "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. ...".

Viene quindi adottato, secondo la tabella 2.4.II della norma, un coefficiente d'uso  $C_u$  pari a 1.5, che porta ad una vita di riferimento  $VR = V_n * C_u = 75$  anni.

Le altre normative di riferimento a cui ci si attiene nella realizzazione delle opere sono le seguenti:

- Legge 1086 del 05 Novembre 1971;
- Circolare C.S.LL.PP. n°7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17/01/2018;
- UNI EN 1992-1-1:2015, UNI EN 1998-1:2013

## 2 Inquadramento geologico e geotecnico

L'inquadramento geologico e geotecnico fa parte della relazione geologica redatta dalla dott.ssa Anna Maria Ferrari, contenente anche i risultati delle prove geognostiche eseguite e della caratterizzazione sismica. Per i dettagli si rimanda a tale documento e nel presente paragrafo vengono riassunti i parametri, le stratigrafie e gli altri dati assunti per il dimensionamento strutturale.

L'area di intervento è caratterizzata da depositi alluvionali recenti legati alla dinamica evolutiva del Fiume Toce – Torrente Strona, costituiti da sabbie, sabbie ghiaiose, limi, limi sabbiosi. Tutta la piana alluvionale è costituita da alternanze di depositi sabbiosi e ghiaiosi e di depositi fini di tipo limoso-argilloso. La formazione dell'ampia piana alluvionale è stata condizionata dalla presenza del Montorfano e della soglia rocciosa su cui si trova Mergozzo. Questo ha impedito che il fiume Toce potesse sfociare direttamente nel Lago Maggiore, determinando l'avanzamento e l'accrescimento della piana alluvionale che ha portato alla separazione tra Lago Maggiore e Lago di Mergozzo. Tutta la zona alluvionale risulta caratterizzata da associazione di sedimenti di ambiente fluviale, di conoide e di piana alluvionale, con elevata variabilità granulometrica.

## 2.1 Soggiacienza della falda

La zona è caratterizzata da una falda superficiale a connotazione freatica, alimentata prevalentemente dal fiume Toce.

La quota della falda, in fase di indagine, è stata individuata a circa  $-4,80$  m (29 luglio 2019). Risulta pertanto direttamente interferente con la realizzazione delle strutture ed è comunque soggetta ad oscillazioni nel corso dell'anno.

Da dati bibliografici (caratterizzazione geologica di PRGC) la soggiacienza risulta limitata e mediamente pari a  $-1.50$  /  $-2.00$  m da piano campagna, risultando soggetta ad oscillazioni stagionali.

A livello locale occorre considerare il riporto messo in posto di spessore valutabile in  $1.50$  /  $2.00$  m che porta localmente ad un pari incremento delle quote di soggiacienza a circa  $-3.50$  /  $-4.00$  m.

Vista la variabilità del livello di falda e gli episodi di esondazione occorsi in passato, a scopo cautelativo il dimensionamento dei manufatti e le verifiche di galleggiamento sono stati effettuati assumendo la falda a livello del piano di campagna.

## 2.2 Indagini geognostiche e caratterizzazione geotecnica

La ricostruzione del modello geologico del terreno è stata realizzata mediante l'esecuzione di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo, protratto fino alla profondità di  $18$  m e successivamente allestito a piezometro e sulla base di 3 prove penetrometriche dinamiche (SCPT). Sono state inoltre eseguite 12 SPT in foro di sondaggio, a partire dalla quota di  $-3,70$  m, per la parametrizzazione geotecnica. Sono stati inoltre raccolti due campioni di sabbie sciolte: C1 ( $9.00$ -  $9.30$  m) e C2 ( $14.00$ - $14.30$  m) inviate a laboratorio specializzato per determinazione delle curve granulometriche.

Delle tre prove SCPT eseguite, due sono andate a rifiuto nei primi strati, a causa della presenza di ciottoli, quindi si è preferito fare riferimento ai risultati delle prove SPT eseguite nel foro di sondaggio.

La ricostruzione stratigrafica evidenzia la presenza di un deposito superficiale costituito da uno strato di riporto grossolano (blocchi in matrice sabbiosa), seguito da deposito sabbioso - ghiaioso fino a circa  $7.60$  m. Da tale quota sino a fondo foro i depositi sono prevalentemente sabbiosi e limoso-sabbiosi.

Nella seguente tabella viene riassunta la stratigrafia del terreno indagato:

Profondità	Tipologia di terreno
Da 0.00 a - 2.10 m	terreno di riporto vegetale seguito da riporto costituito da blocchi abbondanti in matrice sabbiosa
Da -2.10 m a -3.20 m	Sabbia con ghiaia
Da -3.20 m a -7.60 m	Ghiaia eterometrica con ciottoli in abbondante matrice sabbiosa, a tratti limosa
Da -7.60 m a -13.60 m	Alternanze di livelli sabbiosi, sabbioso-limosi e limi sabbiosi
Da -13.60 m a -18.00 m	Sabbia fine prevalente con passante di limo sabbioso fine

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove SPT in foro sono stati determinati i seguenti valori di picco dei parametri geotecnici:

Caratteristiche	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	Dr (%)	E (kg/cm <sup>2</sup> )
Strato di Riporto da 0.00 a - 2.10 m	NC	NC	NC	NC
Sabbia con ghiaia da -2.10 a -3.20 m	2.00	29	50	394
Ghiaia con ciottoli da -3.20 a -7.60 m	2.10	38	50-85	1400-1700
Sabbie sciolte da -7.60 a -13.60 m	1.80	23	25-35	56-106
Sabbie fini da -13.60 a -18 m	1.85	24	25-32	80-165

Per quanto riguarda i parametri caratteristici, necessari per l'esecuzione delle verifiche geotecniche, essi sono stati elaborati a partire dai parametri disaggregati ottenuti tramite correlazioni dai risultati delle prove SPT in foro di sondaggio.

È stato determinato il quinto percentile della distribuzione normale della media entro il volume significativo, distinguendo due casi:

1. Manufatto di sollevamento iniziale, con piano di imposta a circa -9,00 m dal piano campagna. A questo proposito sulla base delle indicazioni disponibili non sono stati considerati i primi 9 m di indagine, considerando tutta la lunghezza della verticale di indagine (18 m). I valori dei parametri caratteristici sono:  $\gamma_k = 1,8 \text{ kg/m}^3$   $\phi'_k = 22,8^\circ$   $Dr_k = 24,3\%$
2. Vasca biologica, con piano di imposta a circa -5,00 m dal piano campagna. A questo proposito sulla non sono stati considerati i primi 5 m di indagine, considerando tutta la lunghezza della verticale di indagine (18 m). I valori dei parametri caratteristici sono:  $\gamma_k = 1,7 \text{ kg/m}^3$   $\phi'_k = 23^\circ$   $Dr_k = 26\%$

## 2.3 Categoria di sottosuolo

Per la determinazione della categoria di sottosuolo è stata effettuata una prova MASW.

Il valore ottenuto,  $V_{s,eq} = 307 \text{ m/s}$ , si traduce in una categoria di sottosuolo C.

## 2.4 Condizioni topografiche

Le condizioni topografiche sono invece valutabili attraverso l'utilizzo della tabella 3.2.IV, valida per configurazioni superficiali semplici. L'area di intervento può essere interamente inclusa nella categoria topografica T1.

## 3 Classificazione sismica

Le azioni sismiche di progetto sono definite come pericolosità sismica di base dal paragrafo 3.2 delle NTC 2018, e sono funzione della coordinata geografica del sito e dai parametri relativi a Vita Nominale VN e Classe d'Uso; gli spettri di risposta sono inoltre dipendenti dalle caratteristiche del terreno di fondazione, in questo caso di "Tipo C", e dalle condizioni topografiche, in questo caso relative alla situazione in categoria T1 con coefficiente di amplificazione topografica ST pari a 1.0.

### Comune di Gravelloa Toce:

Longitudine (WGS84) : 8.432488 ° Est  
 Latitudine (WGS84) : 45.936688 ° Nord  
 Vita nominale :  $V_N \geq 50$  anni

Classe d'uso : III ( $C_u = 1,5$ )  
 Vita di riferimento :  $V_R \geq 75$  anni

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	45	0,021	2,537	0,178
SLD	75	0,02714	2,5427	0,2044
SLV	712	0,05509	2,6833	0,2953
SLC	1462	0,066	2,771	0,314

## 4 Verifiche geotecniche delle fondazioni dirette

Nei paragrafi seguenti vengono riportate le verifiche geotecniche per le fondazioni dei manufatti in progetto che presentano un incremento di carico sul terreno rispetto alle condizioni iniziali, vale a dire il manufatto in c.a. per grigliatura fine e dissabbiatura e l'edificio per l'ispessimento in acciaio.

Il manufatto per grigliatura fine e dissabbiatura presenta una fondazione a platea di dimensioni 24,90x12,30 m ad una profondità di circa 2,20 m dal piano campagna.

L'edificio di ispessimento presenta delle fondazioni a graticcio con sezione a T rovescia avente larghezza alla base pari a 90 cm ed un piano di appoggio a profondità pari a circa 80 cm.

## 4.1 Verifiche di resistenza a SLU e SLV

### 4.1.1 Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi sul terreno di fondazione deve essere superiore a  $\eta_q$ . Cioè, detto  $Q_u$ , il carico limite ed  $R$  la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R \geq \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione:

- $c$  coesione del terreno in fondazione;
- $\phi$  angolo di attrito del terreno in fondazione;
- $\gamma$  peso di volume del terreno in fondazione;
- $B$  larghezza della fondazione;
- $D$  profondità del piano di posa;
- $q$  pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_q = A \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

Indichiamo con  $K_p$  il coefficiente di spinta passiva espresso da:  $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$

I fattori  $d$  e  $i$  che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

#### Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 (D/B) \sqrt{K_p}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 (D/B) \sqrt{K_p} \quad \text{per } \phi > 0$$

#### Fattori di inclinazione

Indicando con  $\theta$  l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale ( espresso in gradi ) e con  $\phi$  l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90^\circ)^2$$

$$i_\gamma = [1 - (\theta^\circ/\phi^\circ)]^2 \quad \text{per } \phi > 0 \quad i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

#### 4.1.2 Condizioni e combinazioni di carico

##### Calcolo secondo: N.T.C. 2018

###### Simbologia adottata

$\gamma_{Gsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_{c'}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_{\gamma}$	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

##### Coefficienti parziali combinazioni statiche

###### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1.30	1.00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1.50	1.30

###### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00

##### Coefficienti parziali combinazioni sismiche

###### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1.00	1.00

###### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

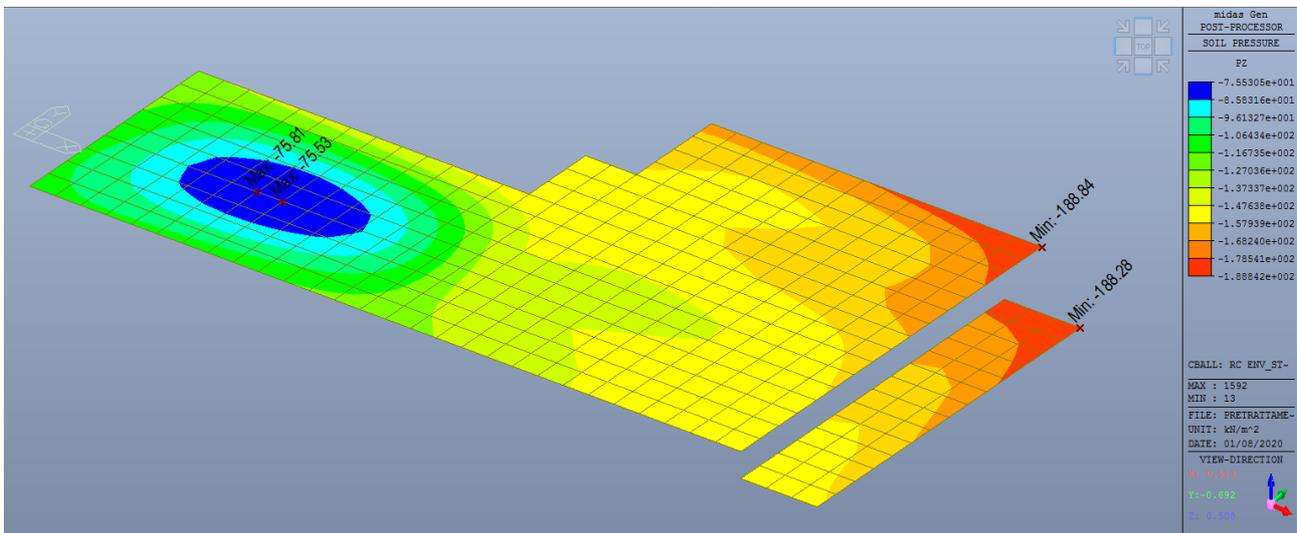
Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00

**Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche geotecniche.**

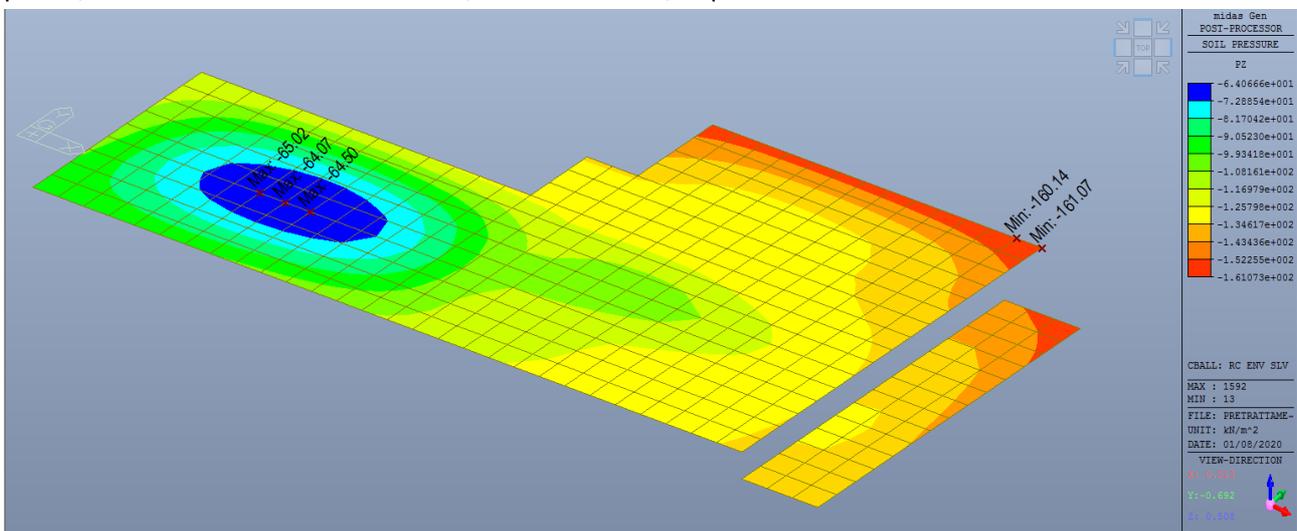
Capacità portante	$\gamma_r$	R1	R2	R3
Scorrimento	$\gamma_r$	1.00	1.80	2.30
		1.00	1.10	1.10
Coefficienti di combinazione	$\Psi_0 = 0.70$	$\Psi_1 = 0.50$	$\Psi_2 = 0.20$	

**4.1.3 Verifiche manufatto di grigliatura fine e dissabbiatura**

Nell'immagine seguente viene rappresentato l'andamento delle pressioni sul terreno di fondazione della platea, in combinazione di carico a SLU, con valori in kN/mq:



Nell'immagine seguente viene rappresentato l'andamento delle pressioni sul terreno di fondazione della platea, in combinazione di carico a SLV, con valori in kN/mq:



## Geometria della fondazione

*Simbologia adottata*

<i>Descrizione</i>	Descrizione della fondazione
<i>Forma</i>	Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]
<i>B</i>	Base/Diametro della fondazione espressa in [m]
<i>L</i>	Lunghezza della fondazione espressa in [m]
<i>D</i>	Profondità del piano di posa in [m]
<i><math>\alpha</math></i>	Inclinazione del piano di posa espressa in [°]
<i><math>\omega</math></i>	Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	$\alpha$	$\omega$
Fondazione	(R)	0.00	0.00	12.30	24.90	2.20	0.00	0.00

## Condizioni di carico

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

<i>Fondazione</i>	Nome identificativo della fondazione
<i>N</i>	Sforzo normale totale espressa in [kg]
<i>M<sub>x</sub></i>	Momento in direzione X espressa in [kgm]
<i>M<sub>y</sub></i>	Momento in direzione Y espresso in [kgm]
<i>e<sub>x</sub></i>	Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]
<i>e<sub>y</sub></i>	Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]
<i><math>\beta</math></i>	Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]
<i>T</i>	Forza di taglio espressa in [kg]

### Condizione n° 1 (Permanenti) [PERMANENTE]

Fondazione	N	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	$\beta$	T
Fondazione	3215800.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.0	0.0

### Condizione n° 2 (Variabili) [VARIABILE]

Fondazione	N	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	$\beta$	T
Fondazione	91900.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.0	0.0

## Descrizione combinazioni di carico

*Simbologia adottata*

<i><math>\gamma</math></i>	Coefficiente di partecipazione della condizione
<i><math>\Psi</math></i>	Coefficiente di combinazione della condizione
<i>C</i>	Coefficiente totale di partecipazione della condizione

### Combinazione n° 1 SLU - Caso A1-M1

	$\gamma$	$\Psi$	C
Permanenti	1.30	1.00	1.30

### Combinazione n° 2 SLU - Caso A2-M2

	$\gamma$	$\Psi$	C
Permanenti	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 3 SLU - Caso A1-M1

	$\gamma$	$\Psi$	C
Permanenti	1.30	1.00	1.30
Variabili	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 4 SLU - Caso A2-M2

	$\gamma$	$\Psi$	C
Permanenti	1.00	1.00	1.00
Variabili	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 SLE - Rara

	$\gamma$	$\Psi$	C
Permanenti	1.00	1.00	1.00
Variabili	1.00	1.00	1.00

**Analisi in condizioni drenate**

**Verifica della portanza per carichi verticali**

Combinazione n° 1

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 10.65	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1066.67$	[kg/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 30.00$	[°]
Coesione	c = 0.00	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Modulo di taglio	G = 0.00	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Base ridotta	B' = B - 2 ex = 12.30	[m]
Lunghezza ridotta	L' = L - 2 ey = 24.90	[m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 30.14$	$N_q = 18.40$	$N_\gamma = 22.40$
$s_c = 1.30$	$s_q = 1.15$	$s_\gamma = 1.15$
$i_c = 1.00$	$i_q = 1.00$	$i_\gamma = 1.00$
$d_c = 1.05$	$d_q = 1.05$	$d_\gamma = 1.00$
$b_c = 1.00$	$b_q = 1.00$	$b_\gamma = 1.00$
$g_c = 1.00$	$g_q = 1.00$	$g_\gamma = 1.00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0.00 + 4.91 + 16.87 = 21.78 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$q_d = 21.78 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 66718658.99 \text{ [kg]}$$

$$Q_d = 66718658.99 \text{ [kg]}$$

$$V = 4180540.00 \text{ [kg]}$$

$$\eta = Q_u / V = 66718658.99 / 4180540.00 = 15.96$$

Combinazione n° 2

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 9.63	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1066.67$	[kg/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 24.89$	[°]
Coesione	c = 0.00	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Modulo di taglio	G = 0.00	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Base ridotta	B' = B - 2 ex = 12.30	[m]
Lunghezza ridotta	L' = L - 2 ey = 24.90	[m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 20.56$	$N_q = 10.54$	$N_\gamma = 10.71$
$s_c = 1.24$	$s_q = 1.12$	$s_\gamma = 1.12$
$i_c = 1.00$	$i_q = 1.00$	$i_\gamma = 1.00$
$d_c = 1.06$	$d_q = 1.06$	$d_\gamma = 1.00$
$b_c = 1.00$	$b_q = 1.00$	$b_\gamma = 1.00$
$g_c = 1.00$	$g_q = 1.00$	$g_\gamma = 1.00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0.00 + 2.76 + 7.88 = 10.64 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$q_d = 5.91 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 32576208.12 \text{ [kg]}$$

$$Q_d = 18097893.40 \text{ [kg]}$$

$$V = 3215800.00 \text{ [kg]}$$

$$\eta = Q_u / V = 32576208.12 / 3215800.00 = 10.13$$

### Combinazione n° 3

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 10.65	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1066.67$	[kg/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 30.00$	[°]
Coesione	c = 0.00	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Modulo di taglio	G = 0.00	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Base ridotta	B' = B - 2 ex = 12.30	[m]
Lunghezza ridotta	L' = L - 2 ey = 24.90	[m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 30.14$	$N_q = 18.40$	$N_\gamma = 22.40$
$s_c = 1.30$	$s_q = 1.15$	$s_\gamma = 1.15$
$i_c = 1.00$	$i_q = 1.00$	$i_\gamma = 1.00$
$d_c = 1.05$	$d_q = 1.05$	$d_\gamma = 1.00$
$b_c = 1.00$	$b_q = 1.00$	$b_\gamma = 1.00$
$g_c = 1.00$	$g_q = 1.00$	$g_\gamma = 1.00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0.00 + 4.91 + 16.87 = 21.78 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$q_d = 21.78 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 66718658.99 \text{ [kg]}$$

$$Q_d = 66718658.99 \text{ [kg]}$$

$$V = 4318390.00 \text{ [kg]}$$

$$\eta = Q_u / V = 66718658.99 / 4318390.00 = 15.45$$

Combinazione n° 4

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 9.63	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1066.67$	[kg/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 24.89$	[°]
Coesione	c = 0.00	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Modulo di taglio	G = 0.00	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Base ridotta	B' = B - 2 ex = 12.30	[m]
Lunghezza ridotta	L' = L - 2 ey = 24.90	[m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 20.56$	$N_q = 10.54$	$N_\gamma = 10.71$
$s_c = 1.24$	$s_q = 1.12$	$s_\gamma = 1.12$
$i_c = 1.00$	$i_q = 1.00$	$i_\gamma = 1.00$
$d_c = 1.06$	$d_q = 1.06$	$d_\gamma = 1.00$
$b_c = 1.00$	$b_q = 1.00$	$b_\gamma = 1.00$
$g_c = 1.00$	$g_q = 1.00$	$g_\gamma = 1.00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0.00 + 2.76 + 7.88 = 10.64 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$q_d = 5.91 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 32576208.12 \text{ [kg]}$$

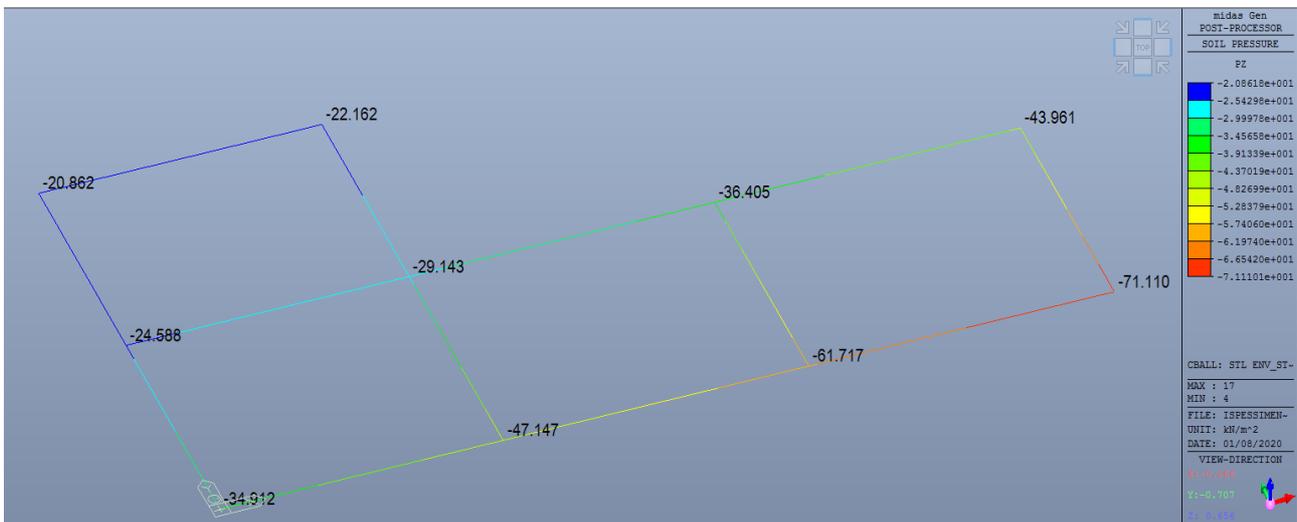
$$Q_d = 18097893.40 \text{ [kg]}$$

$$V = 3335270.00 \text{ [kg]}$$

$$\eta = Q_u / V = 32576208.12 / 3335270.00 = 9.77$$

**4.1.4 Verifiche edificio di ispessimento**

Nell'immagine seguente viene rappresentato l'andamento delle pressioni sul terreno di fondazione, come involucro delle combinazioni di carico a SLU, con valori in kN/mq:



Nell'immagine seguente viene rappresentato l'andamento delle pressioni sul terreno di fondazione, come involucro delle combinazioni di carico a SLV, con valori in kN/mq:



## Geometria della fondazione

### Simbologia adottata

Descrizione Destrizione della fondazione

Forma Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

X Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]

Y Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]

B Base/Diametro della fondazione espressa in [m]

L Lunghezza della fondazione espressa in [m]

D Profondità del piano di posa in [m]

$\alpha$  Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

$\omega$  Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	$\alpha$	$\omega$
Fondazione	(R)	0.00	0.00	1.00	10.00	1.00	0.00	0.00

## Condizioni di carico

### Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

Fondazione Nome identificativo della fondazione

N Sforzo normale totale espressa in [kg]

$M_x$  Momento in direzione X espressa in [kgm]

$M_y$  Momento in direzione Y espresso in [kgm]

$e_x$  Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]

$e_y$  Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]

$\beta$  Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]

$T$  Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 (Permanenti) [PERMANENTE]

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	$\beta$	T
Fondazione	43000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.0	0.0

Condizione n° 2 (Variabili) [VARIABILE]

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	$\beta$	T
Fondazione	3000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.0	0.0

**Descrizione combinazioni di carico**

*Simbologia adottata*

- $\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione
- $\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione
- C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU - Caso A1-M1

	$\gamma$	$\Psi$	C
Permanenti	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 SLU - Caso A2-M2

	$\gamma$	$\Psi$	C
Permanenti	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 3 SLU - Caso A1-M1

	$\gamma$	$\Psi$	C
Permanenti	1.30	1.00	1.30
Variabili	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 4 SLU - Caso A2-M2

	$\gamma$	$\Psi$	C
Permanenti	1.00	1.00	1.00
Variabili	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 SLE - Rara

	$\gamma$	$\Psi$	C
Permanenti	1.00	1.00	1.00
Variabili	1.00	1.00	1.00

## Analisi in condizioni drenate

### Verifica della portanza per carichi verticali

#### Combinazione n° 1

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato  $H = 0.92$  [m]

Peso specifico terreno  $\gamma = 1000.00$  [kg/mc]

Angolo di attrito  $\phi = 33.00$  [°]

Coesione  $c = 0.00$  [kg/cmq]

Modulo di taglio  $G = 0.00$  [kg/cmq]

Base ridotta  $B' = B - 2 e_x = 1.00$  [m]

Lunghezza ridotta  $L' = L - 2 e_y = 10.00$  [m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 38.64 N_q = 26.09 N_\gamma = 35.19$

$s_c = 1.07 s_q = 1.03 s_\gamma = 1.03$

$i_c = 1.00 i_q = 1.00 i_\gamma = 1.00$

$d_c = 1.28 d_q = 1.27 d_\gamma = 1.00$

$b_c = 1.00 b_q = 1.00 b_\gamma = 1.00$

$g_c = 1.00 g_q = 1.00 g_\gamma = 1.00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0.00 + 3.42 + 1.82 = 5.24 \text{ [kg/cmq]}$$

$$q_d = 5.24 \text{ [kg/cmq]}$$

$$Q_u = 524329.51 \text{ [kg]}$$

$$Q_d = 524329.51 \text{ [kg]}$$

$$V = 55900.00 \text{ [kg]}$$

$$\eta = Q_u / V = 524329.51 / 55900.00 = 9.38$$

#### Combinazione n° 2

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato  $H = 0.82$  [m]

Peso specifico terreno  $\gamma = 1000.00$  [kg/mc]

Angolo di attrito  $\phi = 27.45$  [°]

Coesione  $c = 0.00$  [kg/cmq]

Modulo di taglio  $G = 0.00$  [kg/cmq]

Base ridotta  $B' = B - 2 e_x = 1.00$  [m]

Lunghezza ridotta  $L' = L - 2 e_y = 10.00$  [m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 24.76 N_q = 13.86 N_\gamma = 15.45$

$s_c = 1.05 s_q = 1.03 s_\gamma = 1.03$

$i_c = 1.00 i_q = 1.00 i_\gamma = 1.00$

$d_c = 1.33 d_q = 1.30 d_\gamma = 1.00$

$b_c = 1.00 b_q = 1.00 b_\gamma = 1.00$

$g_c = 1.00 g_q = 1.00 g_\gamma = 1.00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0.00 + 1.85 + 0.79 = 2.65 \text{ [kg/cmq]}$$

$$q_d = 1.47 \text{ [kg/cmq]}$$

$$Q_u = 264711.02 \text{ [kg]}$$

$$Q_d = 147061.68 \text{ [kg]}$$

$$V = 43000.00 \text{ [kg]}$$

$$\eta = Q_u / V = 264711.02 / 43000.00 = 6.16$$

### Combinazione n° 3

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

$$\text{Spessore dello strato } H = 0.92 \text{ [m]}$$

$$\text{Peso specifico terreno } \gamma = 1000.00 \text{ [kg/mc]}$$

$$\text{Angolo di attrito } \phi = 33.00 \text{ [°]}$$

$$\text{Coesione } c = 0.00 \text{ [kg/cmq]}$$

$$\text{Modulo di taglio } G = 0.00 \text{ [kg/cmq]}$$

$$\text{Base ridotta } B' = B - 2 e_x = 1.00 \text{ [m]}$$

$$\text{Lunghezza ridotta } L' = L - 2 e_y = 10.00 \text{ [m]}$$

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$$N_c = 38.64 N_q = 26.09 N_\gamma = 35.19$$

$$s_c = 1.07 s_q = 1.03 s_\gamma = 1.03$$

$$i_c = 1.00 i_q = 1.00 i_\gamma = 1.00$$

$$d_c = 1.28 d_q = 1.27 d_\gamma = 1.00$$

$$b_c = 1.00 b_q = 1.00 b_\gamma = 1.00$$

$$g_c = 1.00 g_q = 1.00 g_\gamma = 1.00$$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0.00 + 3.42 + 1.82 = 5.24 \text{ [kg/cmq]}$$

$$q_d = 5.24 \text{ [kg/cmq]}$$

$$Q_u = 524329.51 \text{ [kg]}$$

$$Q_d = 524329.51 \text{ [kg]}$$

$$V = 60400.00 \text{ [kg]}$$

$$\eta = Q_u / V = 524329.51 / 60400.00 = 8.68$$

### Combinazione n° 4

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

$$\text{Spessore dello strato } H = 0.82 \text{ [m]}$$

$$\text{Peso specifico terreno } \gamma = 1000.00 \text{ [kg/mc]}$$

$$\text{Angolo di attrito } \phi = 27.45 \text{ [°]}$$

$$\text{Coesione } c = 0.00 \text{ [kg/cmq]}$$

$$\text{Modulo di taglio } G = 0.00 \text{ [kg/cmq]}$$

$$\text{Base ridotta } B' = B - 2 e_x = 1.00 \text{ [m]}$$

$$\text{Lunghezza ridotta } L' = L - 2 e_y = 10.00 \text{ [m]}$$

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$$N_c = 24.76 N_q = 13.86 N_\gamma = 15.45$$

$$s_c = 1.05 s_q = 1.03 s_\gamma = 1.03$$

$$\begin{aligned}i_c &= 1.00i_q = 1.00i_\gamma = 1.00 \\d_c &= 1.33d_q = 1.30d_\gamma = 1.00 \\b_c &= 1.00b_q = 1.00b_\gamma = 1.00 \\g_c &= 1.00g_q = 1.00g_\gamma = 1.00\end{aligned}$$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$\begin{aligned}q_u &= 0.00 + 1.85 + 0.79 = 2.65 \text{ [kg/cmq]} \\q_d &= 1.47 \text{ [kg/cmq]}\end{aligned}$$

$$Q_u = 264711.02 \text{ [kg]}$$

$$Q_d = 147061.68 \text{ [kg]}$$

$$V = 46900.00 \text{ [kg]}$$

$$\eta = Q_u / V = 264711.02 / 46900.00 = 5.64$$

## 4.2 Verifiche di cedimento a SLE

### 4.2.1 Calcolo delle tensioni indotte

#### Metodo di Boussinesq

Il metodo di Boussinesq considera il terreno come un mezzo omogeneo elastico ed isotropo. Dato un carico concentrato  $Q$ , applicato in superficie, la relazione di Boussinesq fornisce la seguente espressione della tensione verticale indotta in un punto  $P(x,y,z)$  posto alla profondità  $z$ :

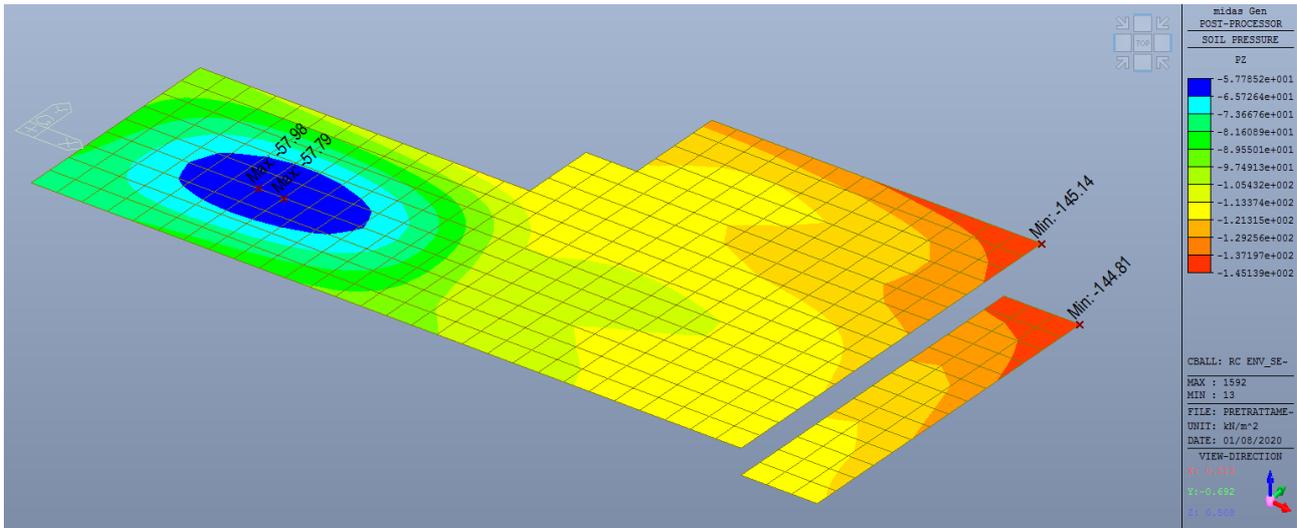
$$q_v = \frac{3Qz^3}{2\pi R^5}$$

dove:  $R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$ ;

Per ottenere la pressione indotta da un carico distribuito occorre integrare tale espressione su tutta l'area di carico, considerando il carico  $Q$  come un carico infinitesimo agente su una areola  $dA$ . L'integrazione analitica di questa espressione si presenta estremamente complessa specialmente nel caso di carichi distribuiti in modo non uniforme. Pertanto si ricorre a metodi di soluzione numerica. Dato il carico agente sulla fondazione, si calcola il diagramma delle pressioni indotte sul piano di posa della fondazione. Si divide l'area di carico in un elevato numero di areole rettangolari a ciascuna delle quali compete un carico  $dQ$ : la tensione indotta in un punto  $P(x,y,z)$ , posto alla profondità  $z$ , si otterrà sommando i contributi di tutte le areole di carico calcolati come nella formula di Boussinesq.

### 4.2.2 Verifiche manufatto di grigliatura fine e dissabbiatura

Nell'immagine seguente viene rappresentato l'andamento delle pressioni sul terreno di fondazione della platea, in combinazione di carico caratteristica, con valori in kN/mq:



### Calcolo del cedimento

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito con il metodo Elastico. Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale. In particolare la percentuale impostata è: 0.05 (%). E' stato richiesto di tenere in conto della fondazione compensata.

#### Simbologia adottata

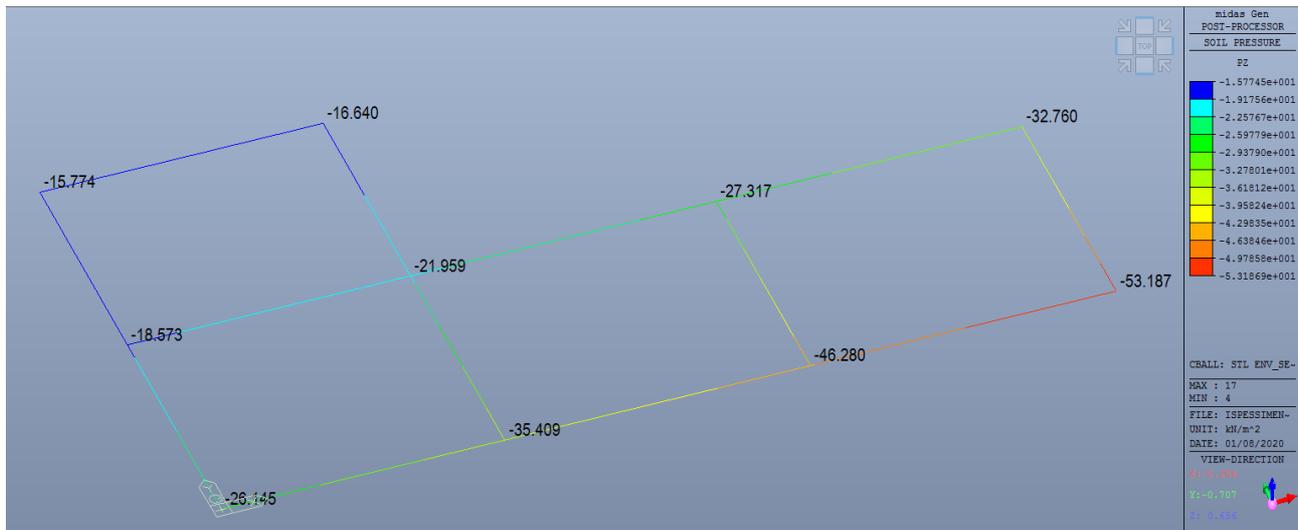
- Comb** Identificativo della combinazione
- $w_i$  Cedimento elastico espresso in [cm]
- $w_{imp}$  Cedimento elastico ad espansione laterale impedita espresso in [cm]
- $H$  Spessore strato compressibile espresso in [m]
- $X$  coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]
- $Y$  coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Comb	$w_i$	$w_{imp}$	$H$	$X$	$Y$
5	4.18	3.19	25.30	0.00	0.00

Cedimento stimato : 37 mm, totale, di cui il 90% per pesi propri, al 50% assorbiti in fase di costruzione : il cedimento netto per dimensionamento impianti risulta pari a :  $37 \cdot (1 - 0.90 \cdot 0.50) = 20$  mm

### 4.2.3 Verifiche edificio di ispessimento

Nell'immagine seguente viene rappresentato l'andamento delle pressioni sul terreno in combinazione di carico caratteristica, con valori in kN/mq:



### Calcolo del cedimento

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito con il metodo Elastico. Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale. In particolare la percentuale impostata è: 0.05 (%). E' stato richiesto di tenere in conto della fondazione compensata.

#### Simbologia adottata

<i>Comb</i>	Identificativo della combinazione
$w_i$	Cedimento elastico espresso in [cm]
$w_{imp}$	Cedimento elastico ad espansione laterale impedita espresso in [cm]
$H$	Spessore strato compressibile espresso in [m]
$X$	coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]
$Y$	coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

<b>Comb</b>	<b><math>w_i</math></b>	<b><math>w_{imp}</math></b>	<b>H</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
5	0.05	0.07	4.90	0.00	0.00

Cedimento stimato : inferiore al mm, il carico di progetto è di poco superiore al carico litostatico sul piano fondazione

## 5 Calcolo delle opere provvisionali

Nel presente paragrafo vengono esplicitati i calcoli delle opere provvisionali che sarà necessario realizzare al fine di assicurare la stabilità dei fronti di scavo in corrispondenza di alcuni manufatti esistenti.

In particolare, tali opere verranno realizzate in corrispondenza di:

- Parete posteriore e laterale del manufatto di grigliatura grossolana e pompaggio;
- Tre lati del perimetro del manufatto di pompaggio fanghi.

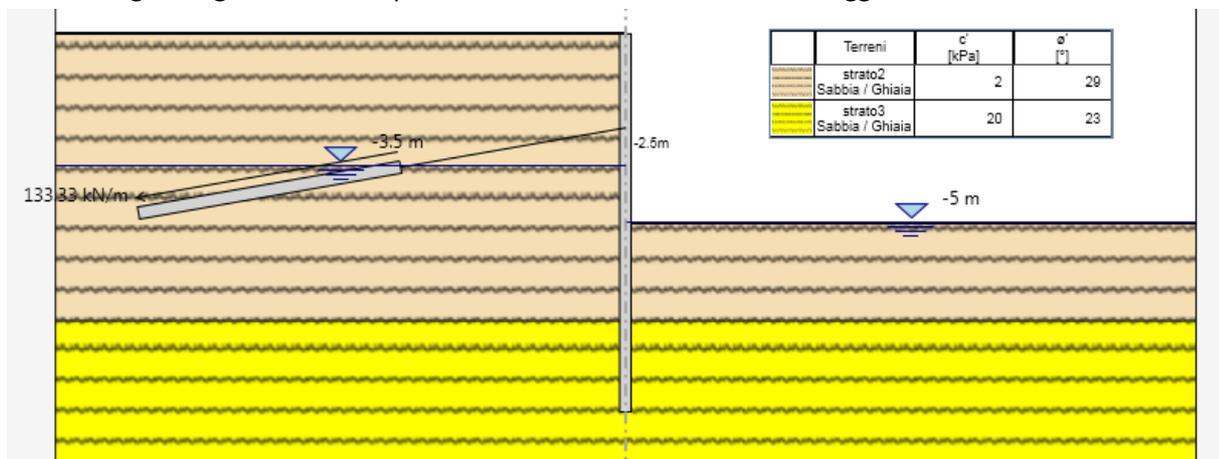
## 5.1 Berlinese per manufatto grigliatura grossolana e pompaggio

Le opere provvisorie prevedono l'esecuzione di una berlinese in micropali per la prima parte dello scavo (grigliatura grossolana) fino a -5.30 m da p.c. e di un successivo diaframma in c.a. con tappo di fondo in jet grouting per l'esecuzione in condizioni di asciutto della seconda parte dello scavo fino a -7.50 m (vasca di pompaggio).

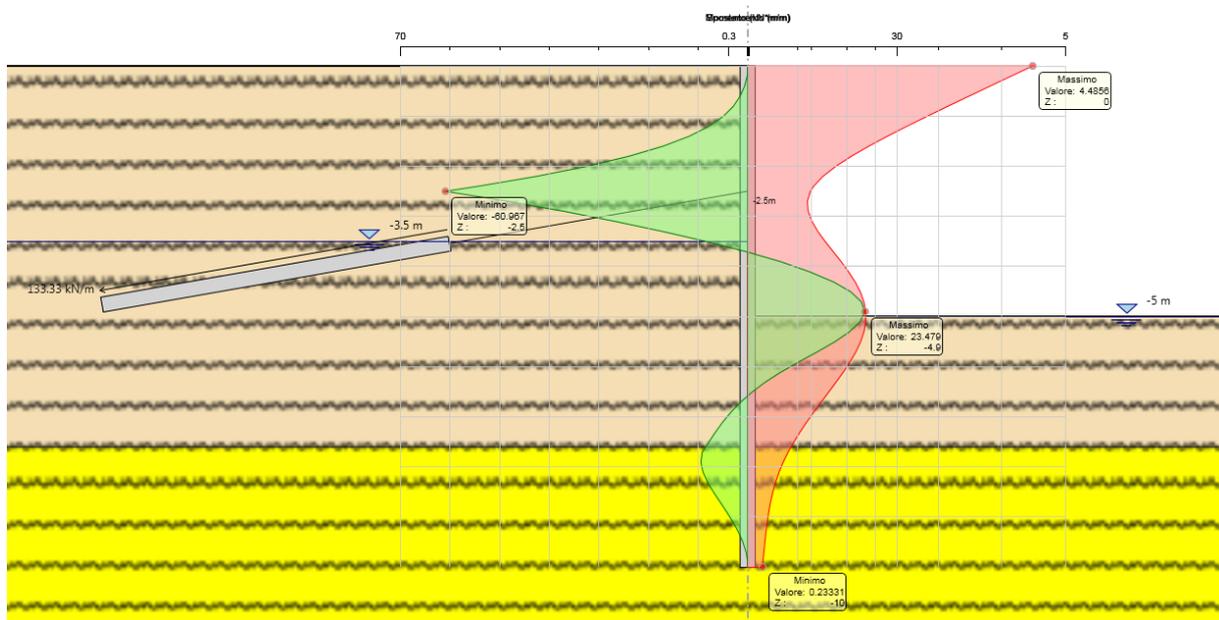
La berlinese verrà realizzata mediante perforazioni  $\phi 30$  cm profonde 10 m, a passo 50 cm, e un ordine di tiranti L=12m (30 ton) a interasse 1.50 m.

Le armature dei micropali sono tubolari di spessore 8 mm e diametro 193.7 mm ed in testa alla berlinese abbiamo una trave di coronamento in c.a. di sezione 60x50 cm.

Nell'immagine seguente viene riportato lo schema della berlinese in oggetto:



Spostamenti massimi e momenti flettenti vengono mostrati per via grafica nella seguente immagine:



Di seguito vengono riportate le verifiche:

DESIGN SECTION <Base Design Section>

Summary will be issued for the following Design assumptions

<Nominal> TYPE: <n.a>

<NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)> TYPE: <SERVICE>

<NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> TYPE: <ULTIMATE>

<NTC2018: A2+M2+R1> TYPE: <ULTIMATE>

## Riepilogo per tutte le Design Assumption (DA) attive

### Parete <Left Wall>

Min. spostamento laterale [mm]	0	Z = -10 m	D.A. NTC2018:
A2+M2+R1 (Stage 1)			
Max. spostamento laterale [mm]	9.73	Z = 0 m	D.A. NTC2018:
A2+M2+R1 (Stage 3)			
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.2		D.A. NTC2018:
A2+M2+R1 (Stage 3)			
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.65		D.A. NTC2018:
A2+M2+R1 (Stage 4)			

### Risultati Elementi parete (Beam)

WallElement Max. momento (assoluto) [kNm/m]	79.26	Z = -2.5 m	D.A. NTC2018:
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)			
Max. taglio [kN/m]	85.63	Z = -2.5 m	D.A. NTC2018:
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 3)			
SteelWord: massimo struttamento in flessione	0.641	Z = -2.5 m	D.A. NTC2018:
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)			
SteelWord: massimo struttamento a taglio	0.112	Z = -2.4 m	D.A. NTC2018:
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 3)			

### Risultati tiranti

Tieback ( 1 / 1.5 m)	Max. forza (ass.) [kN]	266.51	D.A. NTC2018:
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)			
	Max. sfruttamento (GEO)	0.8	D.A. NTC2018:
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)			
	Max. sfruttamento (STR)	0.33	D.A. NTC2018:
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)			

## 5.2 Berlinese per pompaggio fanghi

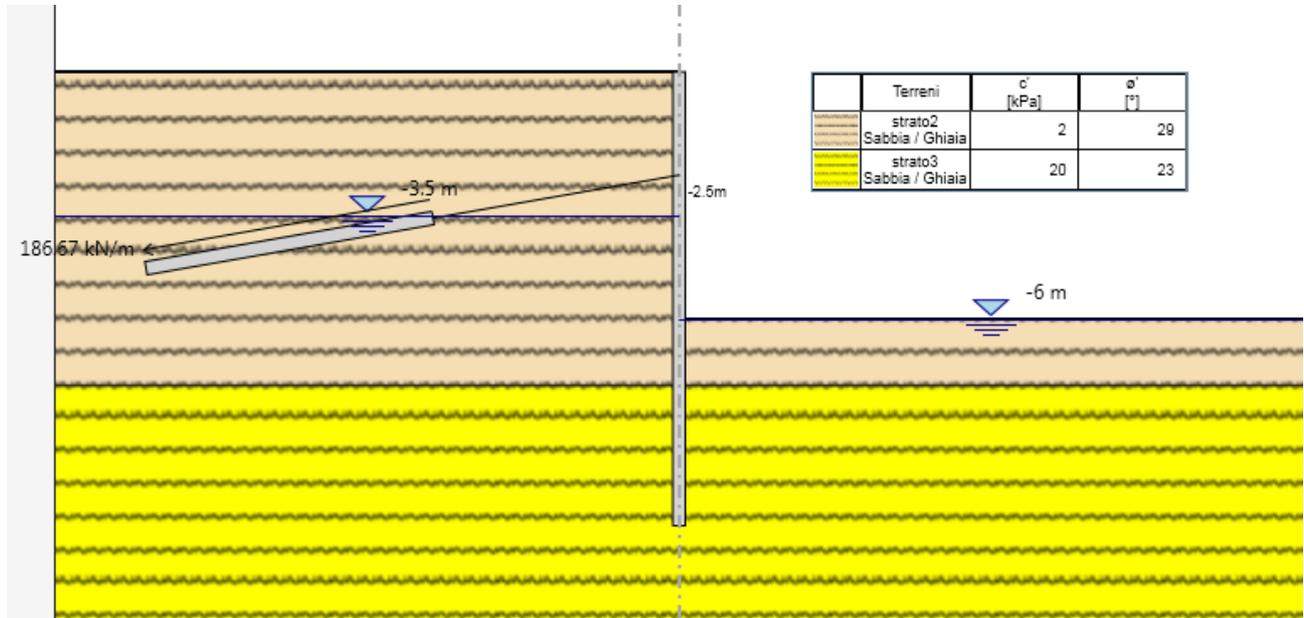
La berlinese da prevedere per poter realizzare lo scavo del manufatto di pompaggio fanghi, presenta una forma a C a livello planimetrico. Due lati avranno soltanto la spinta del terreno mentre un lato risulta interessato dal carico del sedimentatore esistente, pari a circa 50 kPa, che si trova ad una distanza variabile con valore minimo di circa 1.50 m.

Per il calcolo dell'opera sono stati simulati entrambi gli scenari, senza considerare a favore di sicurezza il mutuo vincolo in testa dovuto alla forma planimetrica.

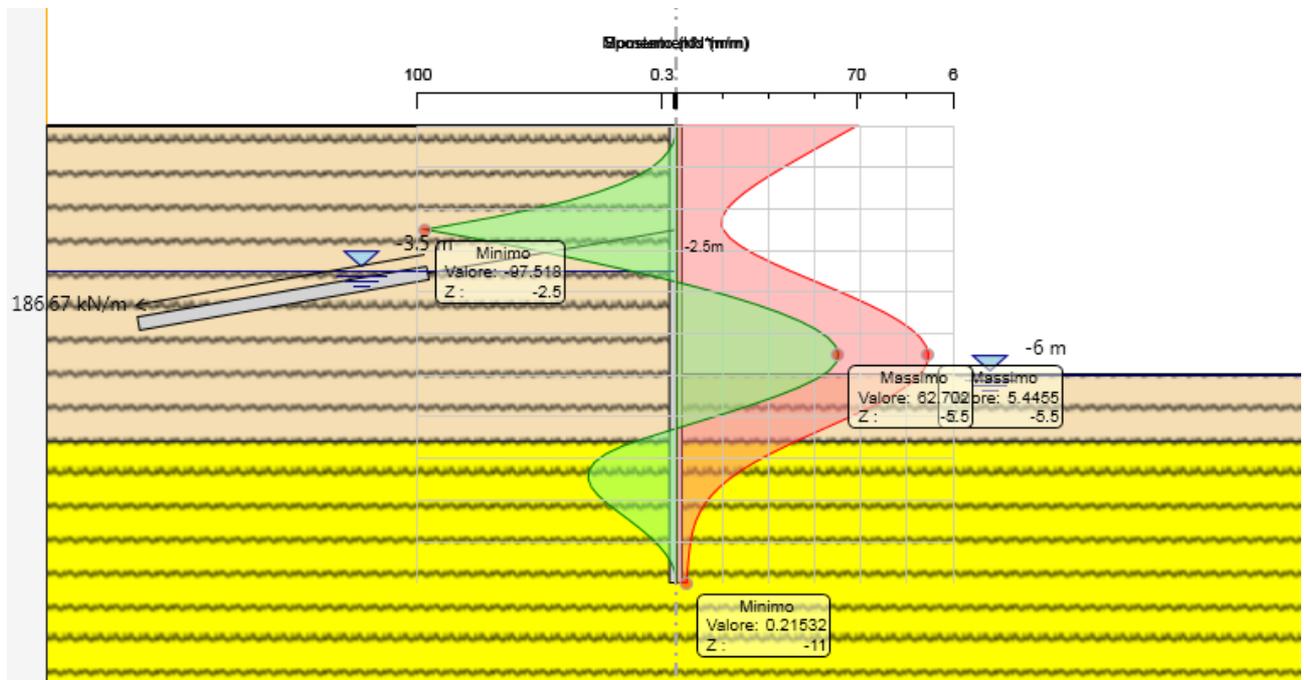
Nell'immagine seguente viene riportato lo schema della berlinese in oggetto:

### 5.2.1 Modello con il carico del terreno

Nell'immagine seguente viene riportato lo schema della berlinese in oggetto:



Spostamenti massimi e momenti flettenti vengono mostrati per via grafica nella seguente immagine:



Di seguito vengono riportate le verifiche:

#### Riepilogo per tutte le Design Assumption (DA) attive

##### Parete <Left Wall>

Min. spostamento laterale [mm] -0.93 Z = -11 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)  
 Max. spostamento laterale [mm] 14.39 Z = -5.7 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)  
 Max. Rapporto Spinte (Effi/Pass) (Lato SX) 0.22 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 3)  
 Max. Rapporto Spinte (Eff/Pass) (Lato DX) 0.81 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)

### Risultati Elementi parete (Beam)

WallElement:

Max. momento (assoluto) [kNm/m]

126.77 Z = -2.5 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)

Max. taglio [kN/m]

123.58 Z = -2.5 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)

SteelWord:

massimo struttamento in flessione:

0.838 Z = -2.5 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)

massimo struttamento a taglio:

0.13 Z = -2.4 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)

### Risultati tiranti

Tieback ( 1 / 1.5 m)

Max. forza (ass.) [kN]

376.9 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)

Max. sfruttamento (GEO)

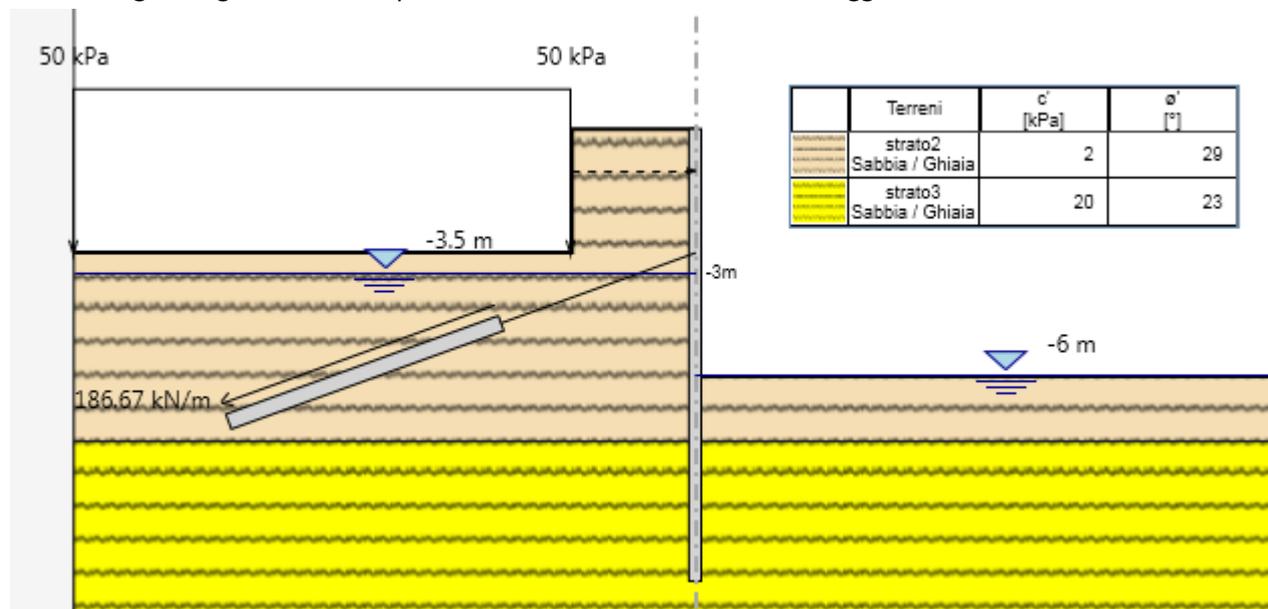
0.94 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)

Max. sfruttamento (STR)

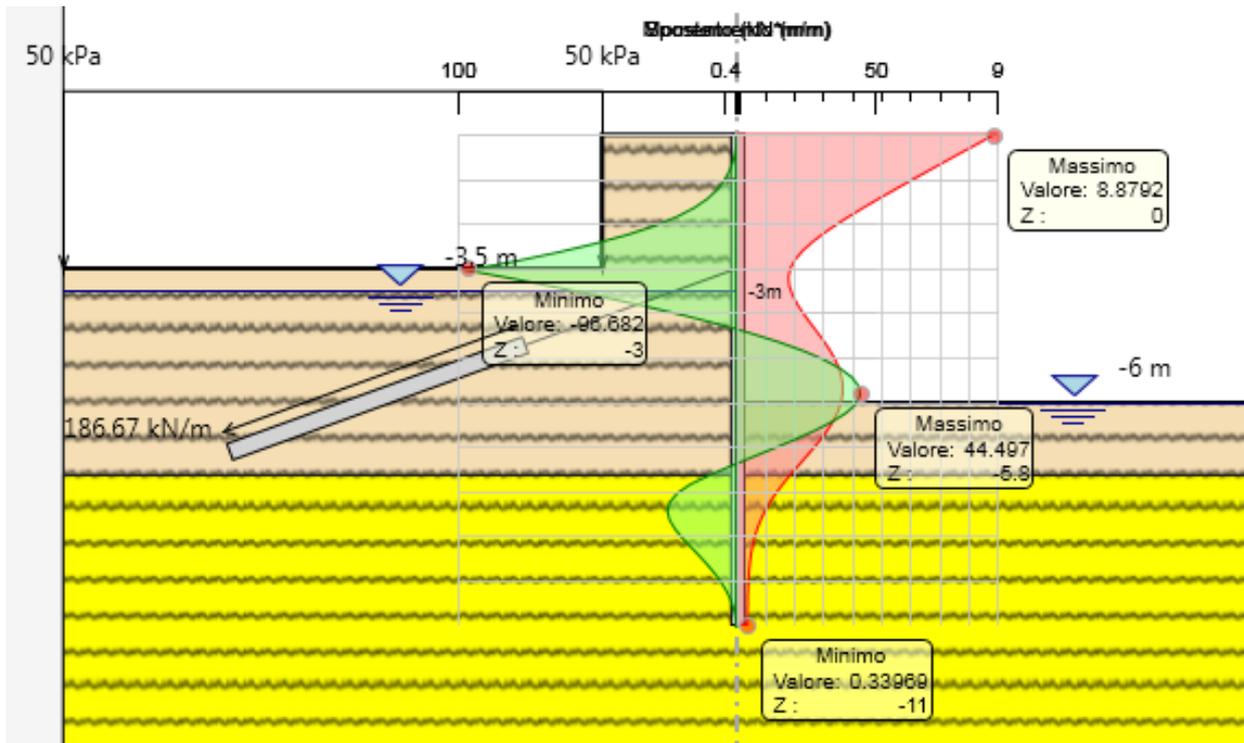
0.47 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)

## 5.2.2 Modello con il carico del sedimentatore

Nell'immagine seguente viene riportato lo schema della berlinese in oggetto:



Spostamenti massimi e momenti flettenti vengono mostrati per via grafica nella seguente immagine:



Di seguito vengono riportate le verifiche:

### Riepilogo per tutte le Design Assumption (DA) attive

#### Parete <Left Wall>

Min. spostamento laterale [mm] -0.26 Z = -11 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 5)  
 Max. spostamento laterale [mm] 19.84 Z = 0 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)  
 Max. Rapporto Spinte (Eff/Pass) (Lato SX) 0.55 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage G)  
 Max. Rapporto Spinte (Eff/Pass) (Lato DX) 0.79 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 5)

#### Risultati Elementi parete (Beam)

WallElement:

Max. momento (assoluto) [kNm/m]:

125.69 Z = -3 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 5)

Max. taglio [kN/m]:

113.43 Z = -3.2 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 5)

SteelWord:

massimo struttamento in flessione:

0.831 Z = -3 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 5)

massimo struttamento a taglio:

0.119 Z = -3 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 5)

#### Risultati tiranti

Tieback ( 1 / 1.5 m)

Max. forza (ass.) [kN]:

376.01 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 5)

Max. sfruttamento (GEO):

0.94 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 5)

Max. sfruttamento (STR):

0.47 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 5)

## 6 Verifiche di galleggiamento

Nel presente paragrafo vengono esplicitate le verifiche di galleggiamento per i principali manufatti, ad esclusione di quelli che non hanno degli interramenti tali da richiedere considerazioni in merito.

La profondità della falda è stata considerata pari a -1.50 m dal piano di campagna e si è tenuto conto del peso del terreno agente da zavorra sugli sbalzi esterni delle platee di fondazione.

Le verifiche sono state eseguite per lo stato limite di equilibrio come corpo rigido EQU, adottando i coefficienti  $\gamma_{G,stab}$  pari a 0,9 per i carichi stabilizzanti (Peso terreno e terreno di zavorra) e  $\gamma_{G,instab}$  pari a 1,1 per i carichi instabilizzanti (Spinta del volume di liquido spostato).

Dalle tabelle seguenti si può vedere come le verifiche siano in tutti i casi superati in quanto i fattori di sicurezza sono superiori a 1.

Unità	Area gallegg. liv.1 [mq]	Area gallegg. liv.2 [mq]	Area zavorra ext. Liv.1[mq]	Area zavorra ext. Liv.2 [mq]	Altezza zavorra Liv.1 [m]	Altezza zavorra Liv.2 [m]	Vol. cls principale [mc]	Vol. cls zavorra [mc]	Profondità imposta liv.1 [m]	Profondità imposta liv.2 [m]
Reattore biologico	628.28	27.80	73.00	16.00	4.90	2.35	888.00	53.40	-5.50	-2.95
Clorazione	123.70	0.00	23.00	0.00	3.08	0.00	130.70	9.20	-4.10	0.00
Filtrazione	35.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96.00	0.00	-4.50	-3.30
Sollev. Fanghi	23.40	24.70	6.00	0.00	5.60	0.00	68.46	1.80	-5.90	-2.70
Scolmatore iniziale	14.40	15.40	0.00	0.00	0.00	0.00	46.00	0.00	-5.00	-3.20
Grigliatura pretratt.	32.40	120.00	7.50	20.00	7.00	4.70	223.30	13.75	-7.50	-5.20

Unità	$G_{stab,cls}$ [daN]	$G_{stab,zavorra}$ [daN]	$\gamma_{G,stab}$	$G_{stab,d}$ [daN]	$G_{instab}$ [daN]	$\gamma_{G,instab}$	$G_{instab,d}$ [daN]	Ed [daN]	Rd [daN]	Fs = Rd/Ed
Reattore biologico	2 353 500	790 600	0.90	2 829 690	2 553 430	1.10	2 808 773	2 808 773	2 829 690	1.01
Clorazione	349 750	141 680	0.90	442 287	321 620	1.10	353 782	353 782	442 287	1.25
Filtrazione	240 000	0.00	0.90	216 000	177 000	1.10	194 700	194 700	216 000	1.11
Sollev. Fanghi	175 650	67200.00	0.90	218 565	132 600	1.10	145 860	145 860	218 565	1.50
Scolmatore iniziale	115 000	0.00	0.90	103 500	76 580	1.10	84 238	84 238	103 500	1.23
Grigliatura pretratt.	592 625	293000.00	0.90	797 063	638 400	1.10	702 240	702 240	797 063	1.14