



AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA

Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma

**LAVORI DI ADEGUAMENTO SOTTOPASSO DEL
NAVIGLIO PAVESE DA PARTE DEL FIUME LAMBRO
MERIDIONALE IN LOCALITA' CONCA FALLATA
MILANO**

PROGETTO ESECUTIVO

ALLEGATO

Relazione geotecnica

C.U.P. B48H22000570002		C.I.G.	SCALA: -
Commessa progettista 45503722	Codice elaborato 45503722-PE-R-GEO-002	File 45503722-PE-R-GEO-002_00.PDF	

PROGETTAZIONE



PROGETTISTA:





APPROVATO

IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO



RUP

REDATTO F.CHILLE'		VERIFICATO E.DE MATTIA	
SETTEMBRE 2025	00	PRIMA EMISSIONE	
DATA	REVISIONE	NOTA	



 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione di calcolo strutturale

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI	2
2.1	Localizzazione degli interventi	2
2.1.1	Carroponte per benna	3
2.1.2	Carroponte per ragno	4
2.1.3	Rampe di accesso al fondo alveo	4
2.2	Principali caratteristiche geotecniche del terreno fondazionale	5
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
3.1	Normative e documenti di riferimento	6
3.2	Documenti di progetto	6
3.3	Documentazione disponibile	6
3.4	Indagini disponibili	8
3.4.1	Carotaggio continuo con prove in foro	8
3.4.2	Indagini geofisiche	9
3.4.3	Stendimenti sismici con metodologia Masw	9
3.5	Categoria di sottosuolo e categoria topografica	10
4.	RISPOSTA SISMICA LOCALE	12
4.1	Identificazione degli stati limite per le opere in progetto e metodi di analisi	12
4.2	Valutazione del potenziale di liquefazione	12
5.	MODELLI GEOTECNICI DI SOTTOSUOLO	15
6.	BERLINESE DI MICROPALI PROVVISORIALE	16
6.1	Quote di riferimento per le analisi. Rampa di discesa in corrispondenza del sifone sotto al Naviglio Pavese	16
6.2	Quote di riferimento per le analisi. Rampa di discesa in corrispondenza del manufatto di grigliatura sul Deviatore Olona	16
6.3	Descrizione delle opere	17
6.3.1	Sezione Rampa presso il sifone di sottopasso del Naviglio Pavese	17
6.3.2	Sezione Rampa presso il manufatto di grigliatura	18
6.3.3	Controlli e documentazione	19
6.3.4	Tolleranze esecutive	19
6.4	Materiali	19
6.4.1	Resistenze di calcolo dell'acciaio strutturale	19
6.5	Risultati delle elaborazioni	19

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano
	Progetto definitivo per autorizzazione

6.5.1	Fasi di calcolo.....	19
6.5.2	Spostamenti	21
6.5.3	Diagrammi della sollecitazione	21
6.5.4	Verifica elementi strutturali.....	25
6.6	Determinazione della capacità portante dei puntoni.....	28
6.6.1	Determinazione della portata	28
6.7	Monitoraggio in corso d'opera.....	31
7.	OPERA DI SOSTEGNO DEFINITIVA.....	32
7.1	Verifica di capacità portante.....	36
7.2	Cedimenti	40

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica



1. PREMESSA

La presente relazione costituisce la relazione geologico-geotecnica degli interventi necessari ad affrontare il problema dell'accumulo di materiali galleggianti che si determina nel Fiume Lambro Meridionale in corrispondenza del sottopasso del Naviglio Pavese poco a valle della Conca Fallata, in Comune di Milano.

I manufatti oggetto della presente progettazione si inseriscono nel contesto del complessivo sistema di difesa idraulica della Città di Milano, basato sul Canale Scolmatore delle Piene di Nord-Ovest (C.S.N.O.) e su una serie di altre opere idrauliche volte ad alleggerire tale struttura e a ridurre l'impatto ambientale con il ricettore finale (Fiume Ticino).

Il progetto prevede la realizzazione di dispositivi di rimozione dei rifiuti solidi tramite sistemi di sollevamento meccanici e la realizzazione di due rampe di accesso all'alveo, necessarie alle attività manutentive delle sezioni poste a monte del sifone.

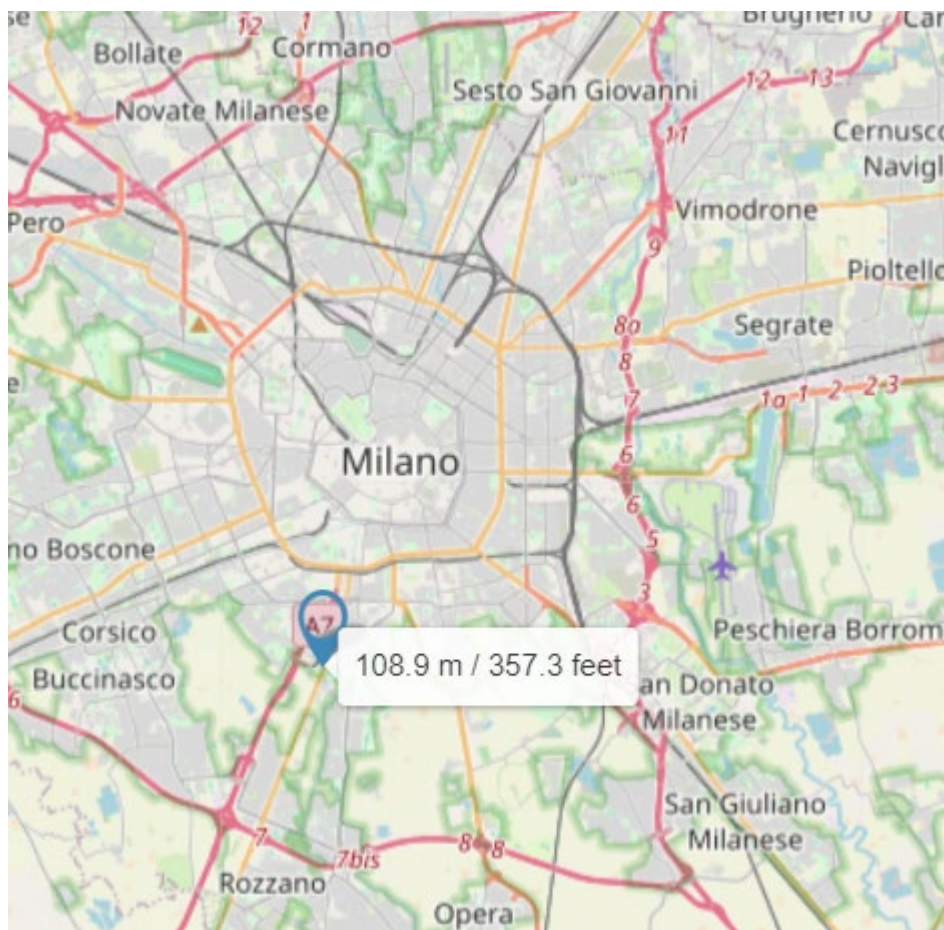
Il presente studio è finalizzato alla definizione delle caratteristiche geologico-geomorfologiche generali e di sismicità dell'area, nonché dell'assetto litostratigrafico e geotecnico dei terreni di imposta della struttura in progetto.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

2.1 Localizzazione degli interventi

Il sito di progetto è collocato in prossimità della località Conca Fallata in Milano.



Il sito di progetto è collocato alle seguenti coordinate



Latitudine 45.424550°

Longitudine 9.168063°

L'altitudine del sito è pari a circa 109 m s.l.m..

Per l'intervento si distinguono due aree distinte, poste a distanza limitata:

1. In prossimità del sifone che interseca il Naviglio Pavese;

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

2. In prossimità del manufatto grigliatura di recente realizzazione.



I manufatti oggetto di progettazione sono:



- Un carroponte in acciaio per benna, da realizzarsi in prossimità del sottopasso tra il Fiume Lambro Meridionale e il Naviglio Pavese,
- Un carroponte in acciaio per ragno da realizzarsi sullo sgrigliatore posto poco più a monte sul Deviatore Fiume Olona.
- Le opere provvisorie necessarie a realizzare le rampe di accesso all'alveo fluviale.
- Le opere definitive, che costituiscono opera di sostegno dell'argine e le rampe di discesa.

2.1.1 Carroponte per benna

È previsto di realizzare una struttura in acciaio che funga da via di corsa monodirezionale per una benna necessaria alla rimozione di rifiuti galleggianti.

La struttura è da realizzarsi mediante un telaio in acciaio, vincolato a terra da una parte da un telaio in acciaio e dall'altro da un montante verticale.

I profili da impiegarsi per la realizzazione del carroponte sono HEA200, ad eccezione del profilo utilizzato per la trave che funge da via di corsa per il carrello che consente il movimento

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

della benna lungo la stessa, da realizzarsi con profilo HEB300.

La luce complessiva da coprire è di circa 15m pari alla porzione di alveo che prima dell'ingresso del fiume nel sifone sotto al Naviglio Pavese si trova in prossimità della sponda destra; dal lato del telaio la via di corsa corre a sbalzo per una lunghezza di circa 3m.

L'altezza libera che si viene a creare al di sotto della via di corsa è di 4m, necessaria allo spazio occupato dal carrello e dalla benna ad esso collegata e all'alloggiamento di un cassone scarrabile che servirà all'allontanamento dei rifiuti rimossi tramite la benna.

2.1.2 Carroponte per ragno

È previsto di realizzare una struttura in acciaio che funga da via di corsa monodirezionale per una benna necessaria alla rimozione di rifiuti di grossa pezzatura in corrispondenza della avangriglia dello sgrigliatore esistente sul Deviatore del Fiume Olona

La struttura è da realizzarsi mediante un telaio in acciaio, vincolato a terra da una parte da un telaio in acciaio e dall'altro da un montante verticale.



I profili da impiegarsi per la realizzazione del carroponte sono HEA200, ad eccezione del profilo utilizzato per la trave che funge da via di corsa per il carrello che consente il movimento della benna lungo la stessa, da realizzarsi con profilo HEB300.

La luce complessiva da coprire è di circa 10 m pari alla larghezza dell'alveo artificiale nel quale è inserita la avangriglia da proteggere; dal lato del telaio la via di corsa corre a sbalzo per una lunghezza di circa 3m.

L'altezza libera che si viene a creare al di sotto della via di corsa è di circa 4m, necessaria allo spazio occupato dal carrello e dalla benna ad esso collegata e all'alloggiamento di un cassone scarrabile che servirà all'allontanamento dei rifiuti rimossi tramite la benna.

2.1.3 Rampe di accesso al fondo alveo

A monte dei manufatti sopra citati è previsto di introdurre rampe di accesso, entrambe in sponda destra, al fine di poter permettere l'ingresso in alveo dei mezzi di manutenzione. Le rampe sono costituite da due manufatti scatolari in calcestruzzo realizzati nello scavo sostenuto oltre la linea d'argine da un'opera provvisoria realizzata con berlinesi di micropali.



 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

Le opere definitive sono realizzate con muri e platee in calcestruzzo armato gettato in opera.

2.2 Principali caratteristiche geotecniche del terreno fondazionale

Il terreno di fondazione è riscontrato come essere costituito da depositi di sabbie e limi sabbiosi, vista la presenza del corso d'acqua in adiacenza e da riporti di materiale sulle superfici maggiormente antropizzate.

Le caratteristiche dei terreni di fondazione sono tali da poter garantire un angolo di attrito interno Φ_k pari a 30 ° fino a profondità di circa 5 m dal piano campagna e a 32 ° oltre tale profondità e fino a circa 20 m dal piano campagna.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Normative e documenti di riferimento

Di seguito sono elencati i principali riferimenti Normativi a cui si farà riferimento nella presente relazione.



- D.M. 17/01/2018. Norme Tecniche per le costruzioni. (G.U. n. 42 del 4 febbraio 2018).
- Circolare C.S.LL.PP. n°7 del 21 gennaio 2019 - "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018";
- UNI EN 1997-1:2013. Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2:2007. Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- AGI (Associazione Geotecnica Italiana) "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche." Giugno 1977.



3.2 Documenti di progetto

45503722-PE-D-GEN-002 00 Planimetria di inquadramento interventi

3.3 Documentazione disponibile

- [1] Relazione Geologica (2010) del Progetto Esecutivo del Grigliatore sul Deviatore Olona
- [2] Relazione Geotecnica (2010) del Progetto Esecutivo del Grigliatore sul Deviatore Olona
- [3] Relazione Geotecnica (2013) dei lavori di manutenzione straordinaria del Sottopasso di Conca Fallata
- [4] Indagini geotecniche eseguite in prossimità del Sottopasso di Concafallata (2013)

 <p><small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small></p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geotecnica</p>

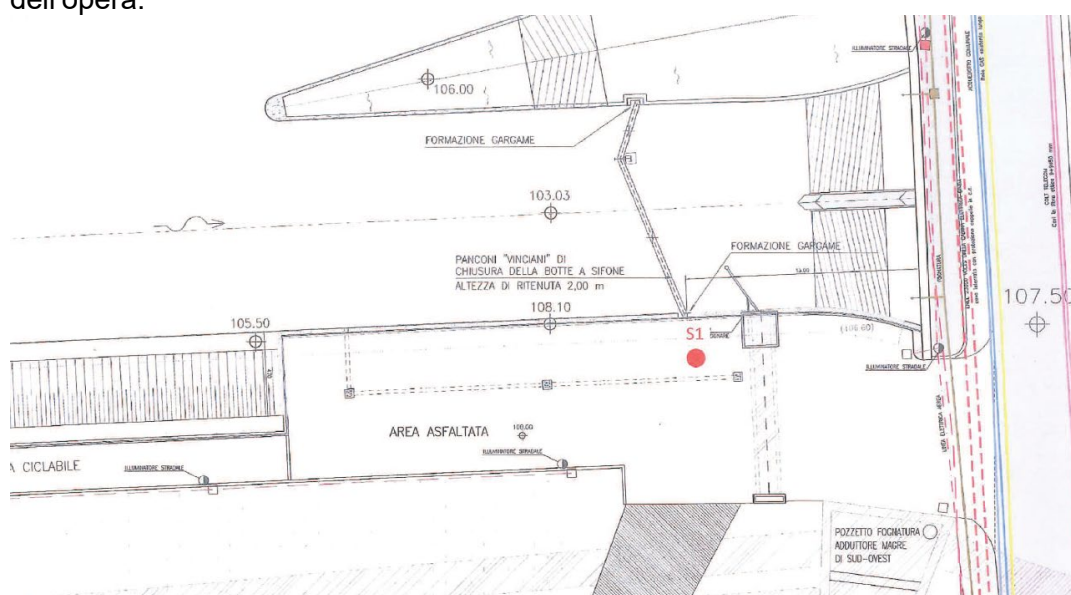
 AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

3.4 Indagini disponibili



Per la definizione del modello geotecnico si farà riferimento ai parametri di resistenza determinati negli studi principalmente eseguiti.

3.4.1 Carotaggio continuo con prove in foro

Il carotaggio continuo è stato realizzato in prossimità dell'ingresso del sifone del carroponte e ha profondità di 30m da p.c., sufficiente al riconoscimento del volume significativo dell'opera.



Con intervalli di circa 3m sono state eseguite inoltre 10 prove in foro di tipo SPT.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

3.4.2 Indagini geofisiche

3.4.3 Stendimenti sismici con metodologia Masw

In adiacenza all'area di progetto è stata, inoltre, eseguito uno stendimento per la determinazione della velocità di attraversamento dei terreni con onde di taglio tramite MASW.

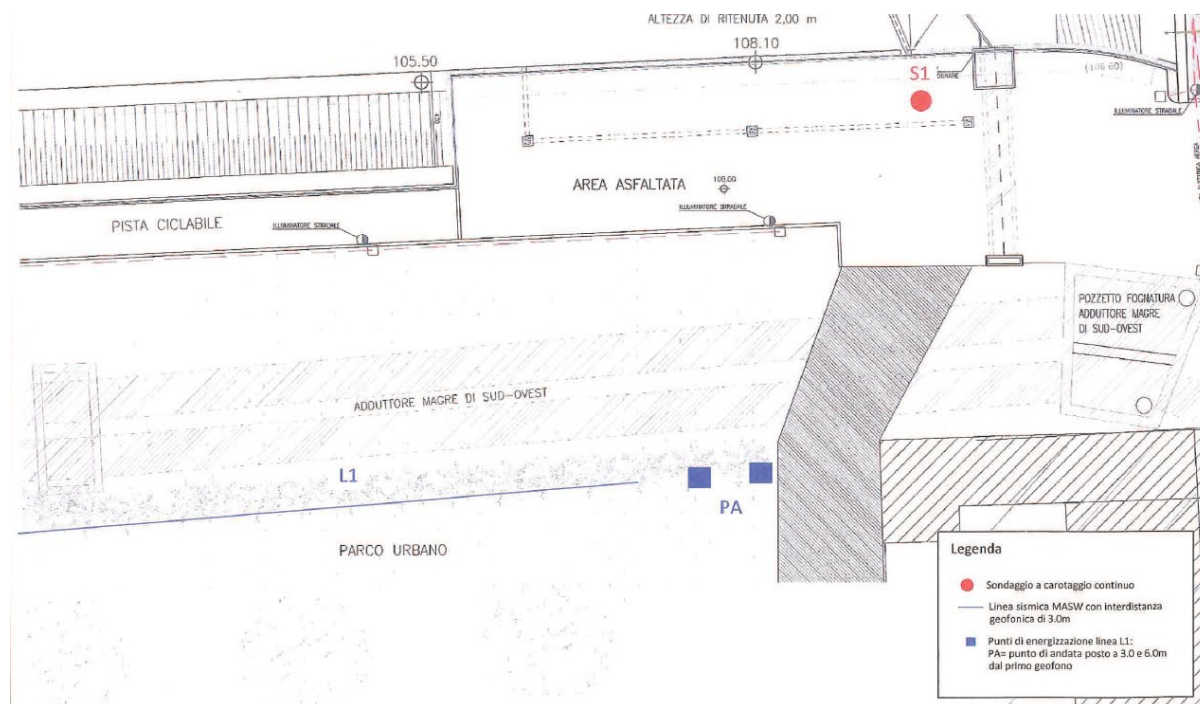


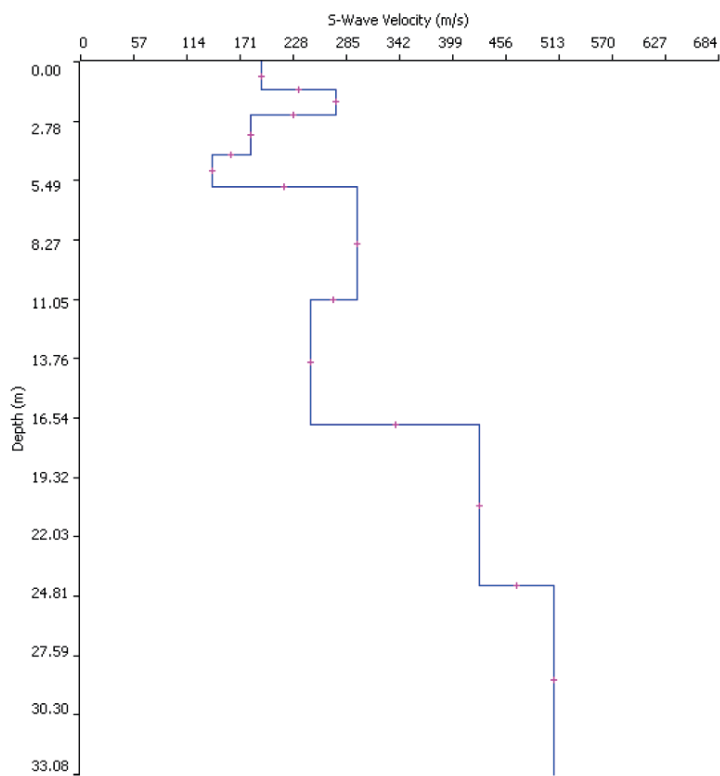


Figura 3-1 - Stendimento L1 e punti di energizzazione della prova (PA)

L'attrezzatura utilizzata in campagna è costituita da un sismografo a 24 canali, 24 geofoni con frequenza pari a 4.5 Hz, cavi con take-out distanziati di 5.0 metri, mazza e piastra di battuta.

Il sismografo ha possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno verticale del segnale (in ampiezza) con sensibilità tra 1 e 100 decibel. La registrazione dei dati in digitale, con formato in uscita pari a 24 bit, viene effettuata su PC sul quale vengono successivamente elaborati i dati

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica





3.5 Categoria di sottosuolo e categoria topografica

Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h(strato)$ e dalla velocità delle onde S $V_s(strato)$. Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.



Considerata la distribuzione delle velocità alle varie quote, si ottiene una velocità $V_{s,eq}$ di 295 m/s.

h_{TOP}	h_{BOT}	z_{TOP}	z_{BOT}	H_s	V_{s30}
m	m	m	m		m/s
0	1.3	108	106.7	1.3	194
1.3	2.4	106.7	105.6	1.1	273
2.4	4.3	105.6	103.7	1.9	182
4.3	5.8	103.7	102.2	1.5	141
5.8	11.1	102.2	96.9	5.3	296
11.1	16.9	96.9	91.1	5.8	247
16.9	24.3	91.1	83.7	7.4	428
24.3	30	83.7	78	5.7	508
				$V_{s,eq}$	295.0

In tale configurazione è definibile per il sottosuolo la Categoria C.

Considerando anche le profondità del piano di posa delle opere, la velocità confermano l'esito dell'indagine.

h_{TOP}	h_{BOT}	z_{TOP}	z_{BOT}	H_s	V_{s30}
m	m	m	m		m/s
5	5.8	103	102.2	0.8	141
5.8	11.1	102.2	96.9	5.3	296
11.1	16.9	96.9	91.1	5.8	247
16.9	24.3	91.1	83.7	7.4	428
24.3	30	83.7	78	5.7	508
				$V_{s,eq}$	330.8

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

4. RISPOSTA SISMICA LOCALE

4.1 Identificazione degli stati limite per le opere in progetto e metodi di analisi

4.2 Valutazione del potenziale di liquefazione



Per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione possono essere impiegate le procedure che nell'Ingegneria Geotecnica Sismica sono denominate 'metodi semplificati'. Tali metodi, applicabili solo nelle condizioni di piano di campagna orizzontale o con deboli pendenze e depositi olocenici, richiedono la valutazione, fino alla profondità critica da p.c., del coefficiente di sicurezza:

$$F_L(z) = (CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1\text{atm}} \cdot MSF \cdot K_\sigma) / CSR$$

$CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1\text{atm}} = \tau_{ult} / \sigma'_{v0}$ è il rapporto di resistenza ciclica, ovvero la resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0} , per terremoto di magnitudo $M = 7.5$ e pressione efficace di riferimento $\sigma'_v = 1\text{atm}$. MSF è il fattore di scala della Magnitudo che è funzione, oltre che del valore della magnitudo dell'azione sismica di riferimento, anche del metodo di stima di CRR. K_σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata.

$CSR = \tau_{media} / \sigma'_{v0} = 0.65 \cdot (a_{max,s}/g) \cdot (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) \cdot r_d$ è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio ciclica media indotta dall'azione sismica di riferimento, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0} , ove $a_{max,s}$ è il picco di accelerazione al piano campagna, g è l'accelerazione di gravità, σ_{v0} e σ'_{v0} sono le tensioni verticali rispettivamente totale e efficace alla profondità considerata, ed r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica per effetto della deformabilità del terreno che può essere stimato con relazioni empiriche associate ai diversi metodi di stima di CRR (e di MSF). Il valore della tensione tangenziale media $\tau_{media} = 0.65 \tau_{max}$ al variare della profondità può essere più precisamente determinato con analisi di risposta sismica locale.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO - PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione $(1.0) FS = CRR / CSR$ dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma. I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione.

La verifica viene eseguita con riferimento alle SPT eseguite in foro, alle quote maggiormente significative per l'opera, considerata la presenza della falda si assume $N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5(N_{spt} - 15)$



Considerando gli stati di deposito interessati dal piano delle fondazioni delle opere si ha:

$Z_{SPT} = -12.40 \text{ m}$ $N_{spt} = 30+32 = 62$ $N_{spt\ corretto} = 38.5$

$Z_{SPT} = -18.00 \text{ m}$ $N_{spt} = 13+15 = 28$ $N_{spt\ corretto} = 21.5$

DATI	
Descrizione	Sito di Progetto Conca Fallata
Coordinate del sito: Latitudine, Longitudine	45.4245° 9.16806°
Profondità di calcolo	Z 12.5 m
Profondità della falda dal p. c.	Zw 5 m
Peso di volume del terreno	G 1.8 kN/m ³
Numero di colpi NSPT	NSPT 38.5
Frazione argillosa	FC 0
Magnitudo	M 6.2
Accelerazione sismica massima	a _(max) 0.05 (g)
Tipo di deposito	<input type="radio"/> Sabbie pulite <input checked="" type="radio"/> Sabbie limose <input checked="" type="radio"/> Sabbie sciolte <input type="radio"/> Sabbie medio-dense
Consistenza del deposito	



Boulanger & Idriss 2014	
Pressione totale del terreno (kPa)	22.50
Pressione efficace del terreno (kPa)	15.00
Fattore correttivo per la frazione fine (%)	--
Numero di colpi standard corretto	46.00
Resistenza alla liquefazione (R)	91.7917
Sforzo di taglio normalizzato (T)	0.0368
Coefficiente di sicurezza (Fs = R / T)	2496.9214
Il deposito non è liquefacibile	

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geotecnica</p>

DATI

Descrizione	Sito di Progetto Conca Fallata
Coordinate del sito: Latitudine, Longitudine	45.4245° 9.16806°
Profondità di calcolo	Z 18 m
Profondità della falda dal p. c.	Zw 5 m
Peso di volume del terreno	G 1.8 kN/m ³
Numero di colpi NSPT	NSPT 21.5
Frazione argillosa	FC 0
Magnitudo	M 6.2
Accelerazione sismica massima	a _(max) 0.05 (g)
Tipo di deposito	<input type="radio"/> Sabbie pulite <input checked="" type="radio"/> Sabbie limose <input checked="" type="radio"/> Sabbie sciolte <input type="radio"/> Sabbie medio-dense
Consistenza del deposito	

Boulanger & Idriss 2014	
Pressione totale del terreno (kPa)	32.40
Pressione efficace del terreno (kPa)	19.40
Fattore correttivo per la frazione fine (%)	--
Numero di colpi standard corretto	36.4898
Resistenza alla liquefazione (R)	2.7366
Sforzo di taglio normalizzato (T)	0.0337
Coefficiente di sicurezza (Fs = R / T)	81.2809
Il deposito non è liquefacibile	

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica



5. MODELLI GEOTECNICI DI SOTTOSUOLO

In relazione alle risultanze ottenute, elaborando i dati di prova a disposizione si sono ottenute i seguenti parametri di resistenza.

Descrizione strato	γ kN/m ³	z m	σ_{vo} kN/m ²	σ_{vo} kg/cm ²	σ'_{v0} kN/m ²	σ'_{v0} kg/cm ²	ϕ °	Dr %
Limo sabbioso	18	3	54	0.54	54	0.54	25	37
Sabbia media e grossolana	18	6	108	1.08	100	1.00	35	62
Sabbia media e grossolana	18	9	162	1.62	130	1.30	40	72
Sabbia media e grossolana	18	12	216	2.16	160	1.60	40	90
Sabbia media e grossolana	18	15	270	2.70	190	1.90	43	90
Sabbie limose	18	18	324	3.24	220	2.20	32	60
Sabbia media e grossolana	18	21.5	387	3.87	255	2.55	40	75
Sabbie limose	18	24	432	4.32	280	2.80	35	65
Sabbia media e grossolana	18	27	486	4.86	310	3.10	39	66
Sabbia media e grossolana	18	30	540	5.40	340	3.40	39	67.5

In ragione delle stratigrafie individuate è possibile ricondurre la stratigrafia a una successione di litotipi omogenei definiti della seguente successione.

MODELLO GEOTECNICO	Z _{TOP} m	Z _{BOT} m	H _S m	fi °
Limo sabbioso	108	102.7	5.3	25
Sabbia media e grossolana con ghiaia	102.7	92.4	10.3	39.5
Sabbie limose	92.4	89.4	3	35
Sabbia media e grossolana con ghiaia	89.4	78	11.4	39

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO - PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

6. BERLINESE DI MICROPALI PROVVISORIALE

La berlinese di micropali viene verificata con l'impiego del software Paratpile Plus ver. 25. ParatiePlus è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Le verifiche vengono eseguite ai sensi delle NTC18, considerando che l'opera è provvisoria.

Le verifiche vengono effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

Per la determinazione degli spostamenti viene impiegata una combinazione di esercizio, le cui spinte vengono assunte con valore caratteristico.



6.1 Quote di riferimento per le analisi. Rampa di discesa in corrispondenza del sifone sotto al Naviglio Pavese.

Le quote altimetriche delle opere oggetto del presente progetto sono assolute e riferite al livello del mare, secondo gli elaborati grafici di contesto messi a disposizione dal Committente. La quota 108.00 m s.l.m. è considerata quale piano medio stradale della viabilità esterna all'area di intervento.

A carattere generale, si riportano le quote di progetto maggiormente significative:

- Quota piano di lavoro esecuzione opere di sostegno e piano di lavoro: 106.40 m s.l.m.
- Quota testa pali: 106.40 m s.l.m.
- Quota sommità terreno in testa alla scarpata: 108 m s.l.m.
- Quota di estradosso trave di ripartizione: 106.70 m s.l.m.
- Quota di fondo scavo generale: 102.50 m s.l.m.
- Quota di falda di progetto: 104.00 m s.l.m.

6.2 Quote di riferimento per le analisi. Rampa di discesa in corrispondenza del manufatto di grigliatura sul Deviatore Olona

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

Le quote altimetriche delle opere oggetto del presente progetto sono assolute e riferite al livello del mare, secondo gli elaborati grafici di contesto messi a disposizione dal Committente. La quota 109.20 m s.l.m. è considerata quale piano medio della piattaforma cementata esistente nel manufatto

A carattere generale, si riportano le quote di progetto maggiormente significative:

- Quota piano di lavoro esecuzione opere di sostegno e piano di lavoro: 107.70 m s.l.m.
- Quota testa pali: 107.70 m s.l.m.
- Quota sommità terreno in testa alla scarpata: 109,20 m s.l.m.
- Quota di estradosso trave di ripartizione: 107.20 m s.l.m.
- Quota di fondo scavo generale: 103.00 m s.l.m.
- Quota di falda di progetto: 104.00 m s.l.m.

6.3 Descrizione delle opere



Nel presente paragrafo si espongono in forma sintetica le principali caratteristiche degli elementi strutturali che costituiscono le opere di sostegno delle rampe di accesso all'alveo. In base alle condizioni al contorno nel sito di intervento, sono state previste due sezioni tipologiche di opere di sostegno.

6.3.1 Sezione Rampa presso il sifone di sottopasso del Naviglio Pavese

Tale sezione è prevista lungo un tracciato di sviluppo pari a circa 82.00 m. Essa è costituita da una paratia di micropali con perforazione di diametro 300mm e armatura in tubolari di acciaio S355 diametro 193.7mm e 10 mm.

È disposta una trave di ripartizione costituita in c.a. ammorsata alla testa dei micropali. Alla trave sono collegati puntoni inclinati di 35° rispetto all'orizzontale, da realizzarsi con innesto sulla sezione di valle della berlinese. Il puntone è da realizzarsi con un micropalo di diametro 300mm, le cui caratteristiche sono riportate nei paragrafi successivi.

- Quota piano di lavoro: 106.00 m s.l.m.
- Quota testa pali: 106.00 s.l.m.
- Quota di fondo scavo: 102.50 m s.l.m.
- Lunghezza pali: 12.00 m
- Diametro perforazione: 30cm
- Interasse pali: 60 cm
- Armatura corrente: Ø193.7x10.0mm
- Trave di ripartizione: in c.a. con armatura longitudinale 5+5φ20 e staffe φ12/20

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

- Inclinazione puntoni: 35°
- Interasse puntoni: 5m

I micropali saranno da eseguire mediante trivellazione; vengono formati eseguendo una perforazione con asportazione del terreno e procedendo quindi ad un getto di betoncino a matrice cementizia in foro. L'armatura inserita nella perforazione costituisce l'elemento strutturale resistente, si getta il calcestruzzo quindi solo allo scopo di elemento protettivo e contenitivo.



6.3.2 Sezione Rampa presso il manufatto di grigliatura

Tale sezione è prevista lungo un tracciato di sviluppo pari a circa 82.00 m. Essa è costituita da una paratia di micropali con perforazione di diametro 300mm e armatura in tubolari di acciaio S355 diametro 193.7mm e 10 mm.

È disposta una trave di ripartizione costituita da una trave HEA240. Alla trave sono collegati puntoni inclinati di 35° rispetto all'orizzontale, da realizzarsi con innesto sulla sezione di valle della berlinese. Il puntone è da realizzarsi con un micropalo di diametro 300mm, le cui caratteristiche sono riportate nei paragrafi successivi.

- Quota piano di lavoro: 107.70 m s.l.m.
- Quota testa pali: 107.70 m s.l.m.
- Quota di fondo scavo: 103.00 m s.l.m.
- Lunghezza pali: 12.00 m
- Diametro perforazione: 30cm
- Interasse pali: 60 cm
- Armatura corrente: Ø193.7x10 mm
- Trave di ripartizione: in calcestruzzo armato
- Inclinazione puntoni: 35°
- Interasse puntoni: 5m

I micropali saranno da eseguire mediante trivellazione; vengono formati eseguendo una perforazione con asportazione del terreno e procedendo quindi ad un getto di betoncino a matrice cementizia in foro. L'armatura inserita nella perforazione costituisce l'elemento strutturale resistente, si getta il calcestruzzo quindi solo allo scopo di elemento protettivo e contenitivo.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

6.3.3 Controlli e documentazione

Per ciascun palo l'Impresa Esecutrice, oltre ai controlli di Legge, dovrà redigere una scheda indicante:

- - numero progressivo del palo (riferito ad una planimetria);
- - dati tecnici dell'attrezzatura;
- - profondità di perforazione
- - informazioni relative alla stratigrafia locale riscontrata dal materiale cavato dal foro
- - volumi e grafico di getto.

6.3.4 Tolleranze esecutive

I micropali dovranno essere realizzati nelle posizioni e con le dimensioni di progetto, con le seguenti tolleranze ammissibili, salvo più rigorose limitazioni indicate in progetto:

- coordinate planimetriche del centro del palo ± 2 cm
- scostamento dell'inclinazione dall'asse teorico $\pm 2\%$
- lunghezza ± 15 cm
- diametro finito $\pm 5\%$
- quota di testa palo ± 5 cm.

6.4 Materiali

6.4.1 Resistenze di calcolo dell'acciaio strutturale

La resistenza di progetto dell'acciaio f_y è riferita alla tensione caratteristica di snervamento ed il suo valore è dato da: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0}$

Dove:

γ_{M0} è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio laminato da assumere pari a 1.05 per acciaio dal grado S235 al grado S460 e sezioni di classe 1-2-3-4.



f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio

6.5 Risultati delle elaborazioni

6.5.1 Fasi di calcolo

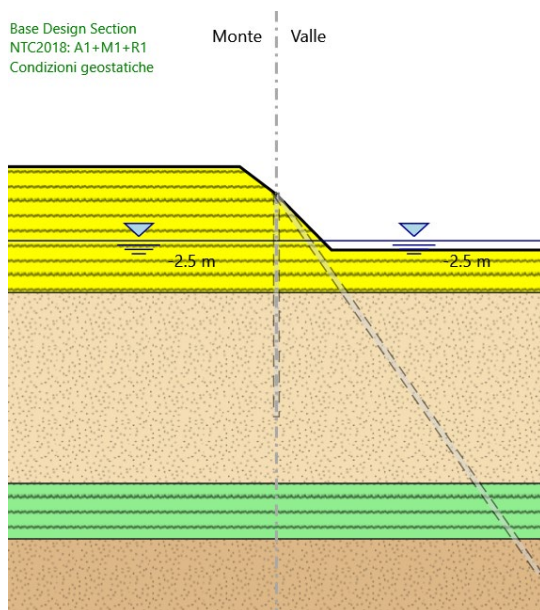
Sono definite 6 fasi di calcolo per la berlinese:

1. Condizioni geostatiche

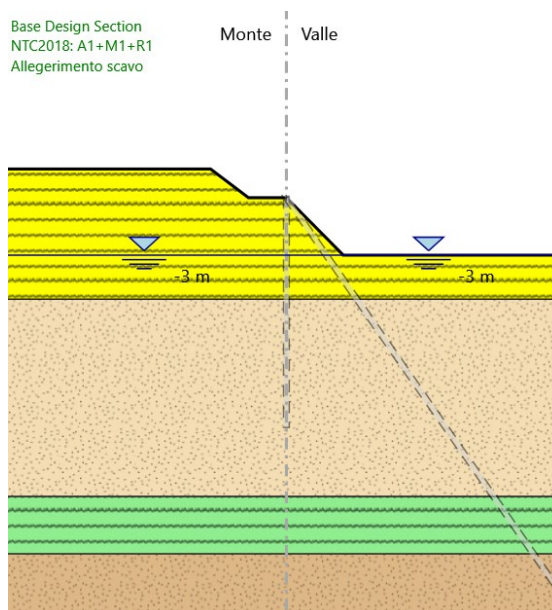
 <p>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geotecnica</p>

2. Allevamento di monte per realizzazione piano di testa dei pali
3. Realizzazione berlinese e puntoni
4. Scavo fino a piano fondazione.

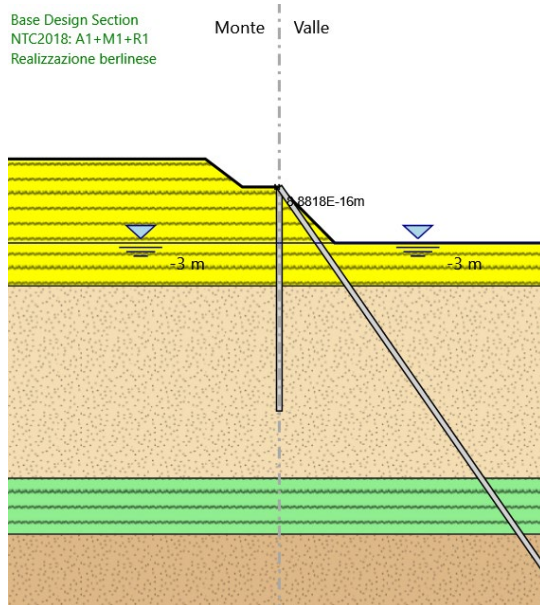
Base Design Section
NTC2018: A1+M1+R1
Condizioni geostatiche



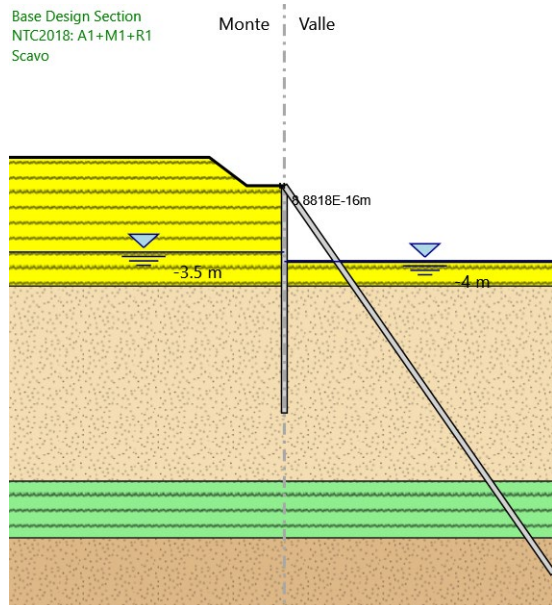
Base Design Section
NTC2018: A1+M1+R1
Allevamento scavo









Base Design Section
NTC2018: A1+M1+R1
Realizzazione berlinese



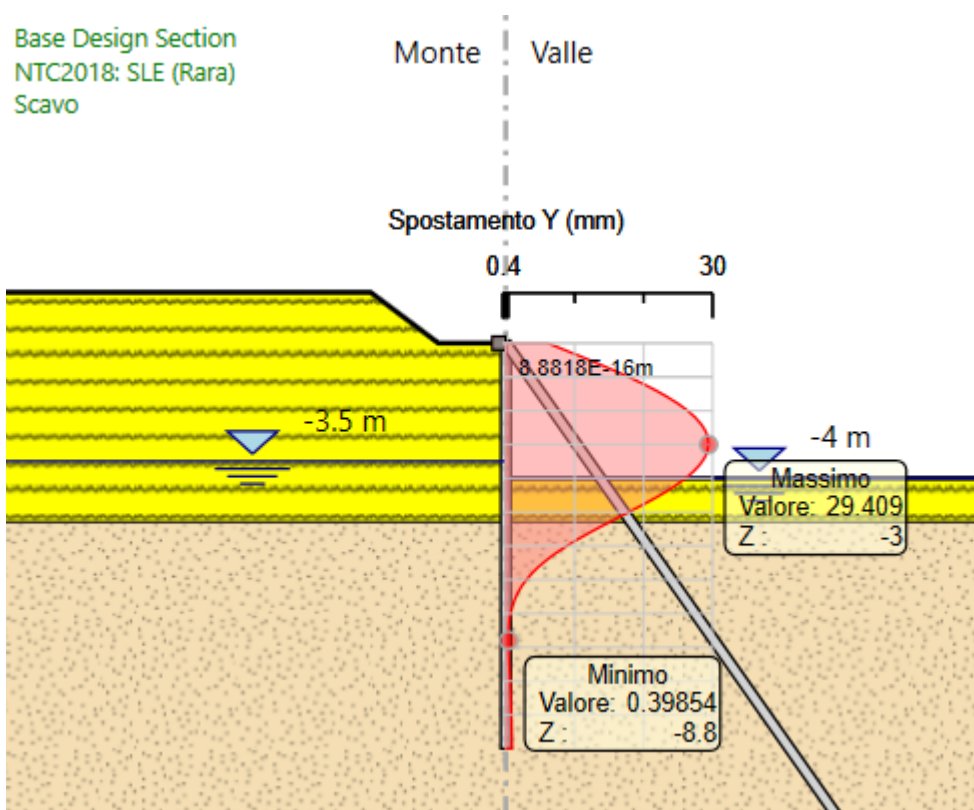
Base Design Section
NTC2018: A1+M1+R1
Scavo



 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

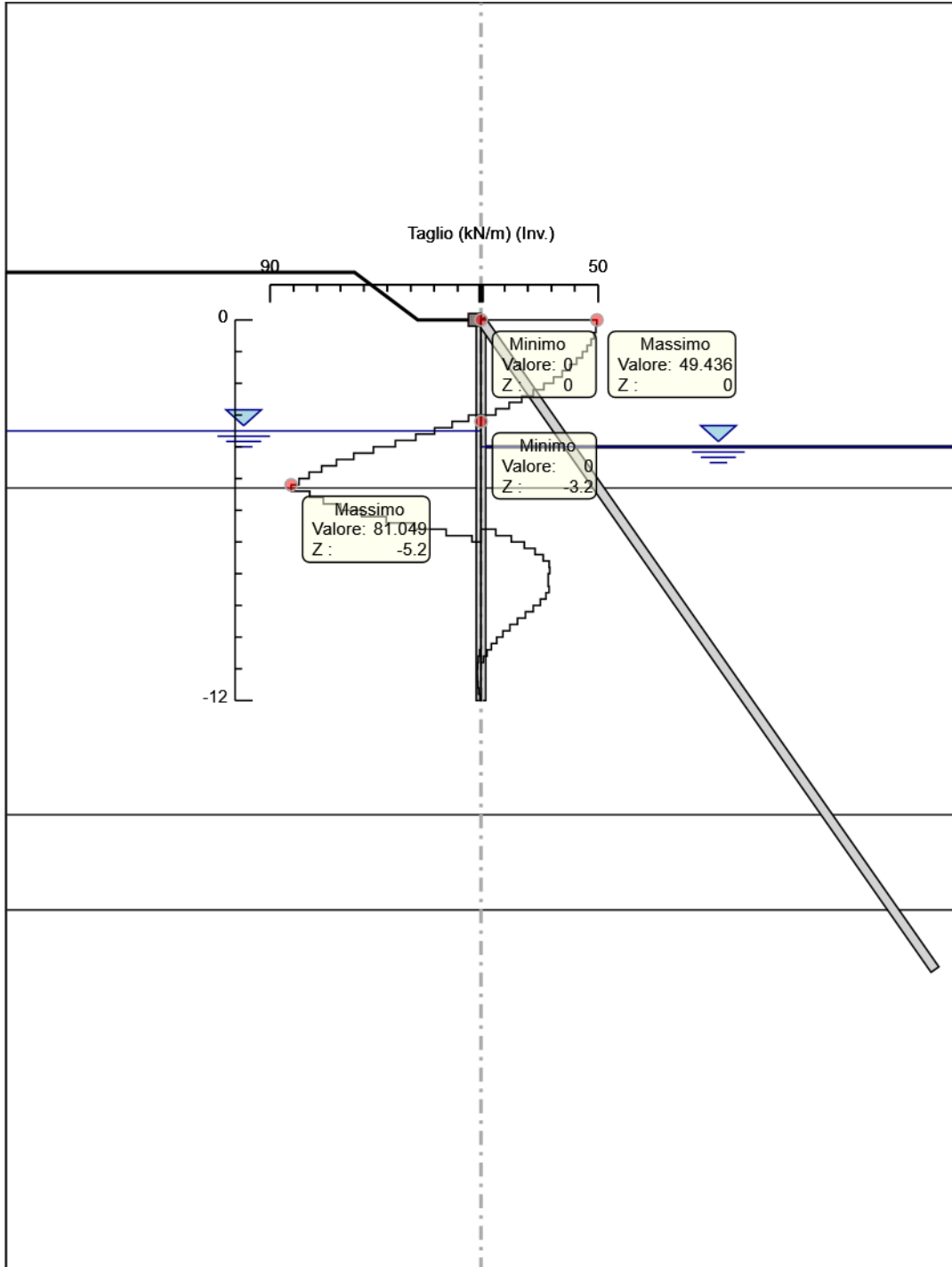
	Terreni	c' [kPa]	ϕ' [°]
	Strato A - Limo sabbioso Sabbia/Ghiaia	0	25
	Strato B - Sabbia media e grossolana Sabbia/Ghiaia	0	39.5
	Strato C - Sabbia limosa Sabbia/Ghiaia	0	35
	Strato D - Sabbia grossolana Sabbia/Ghiaia	0	39

6.5.2 Spostamenti

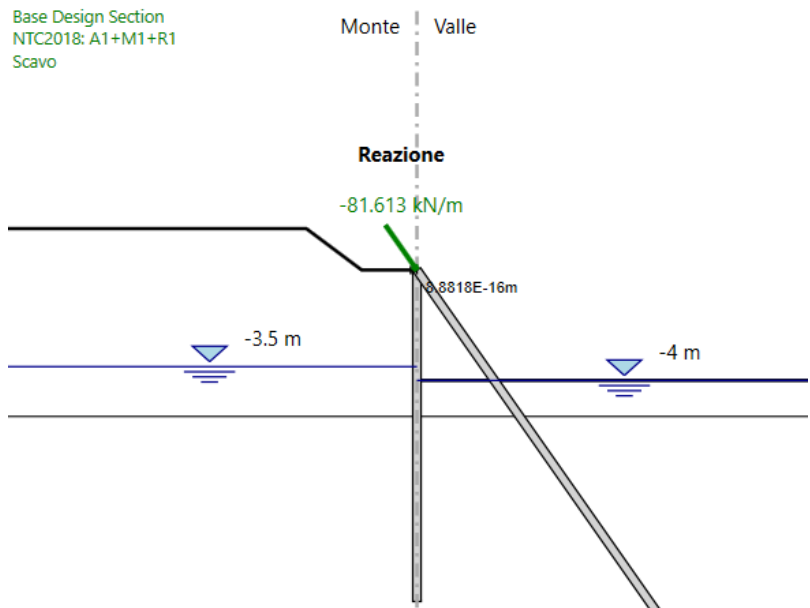


6.5.3 Diagrammi della sollecitazione

 <p>AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO - PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geotecnica</p>

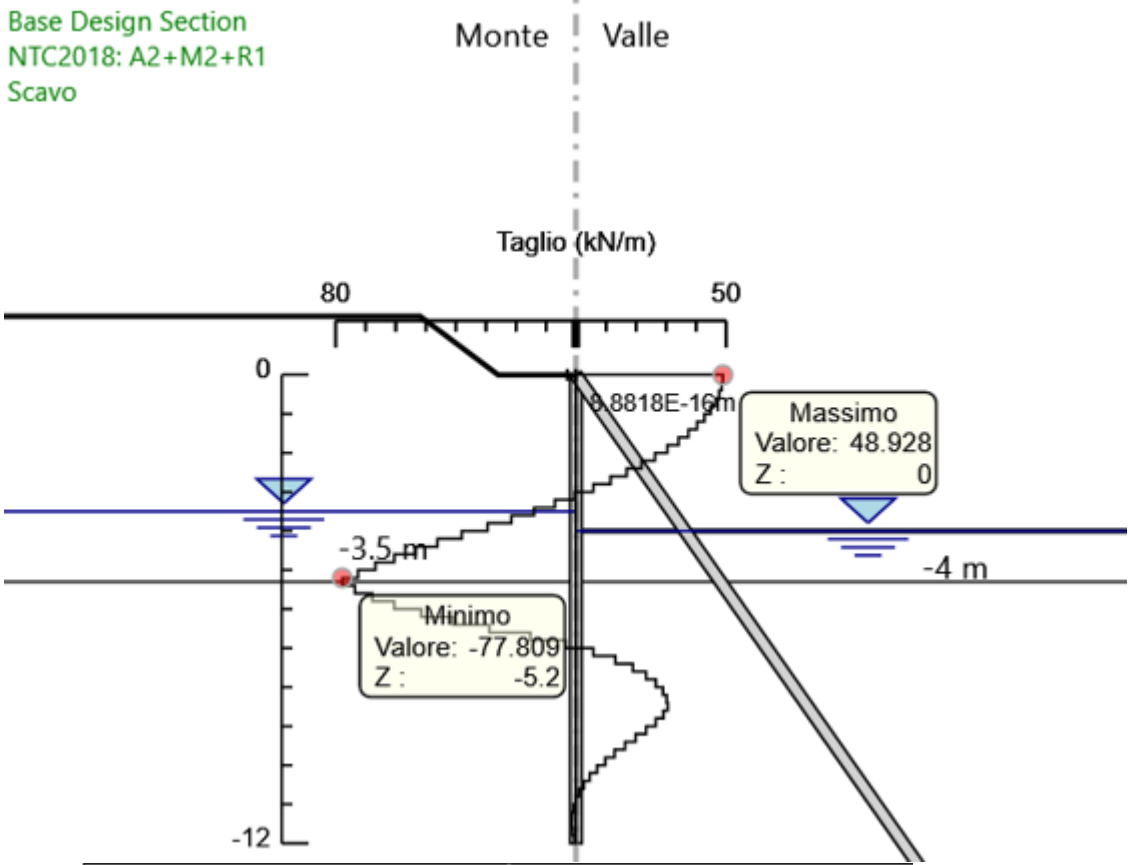


 <p>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geotecnica</p>

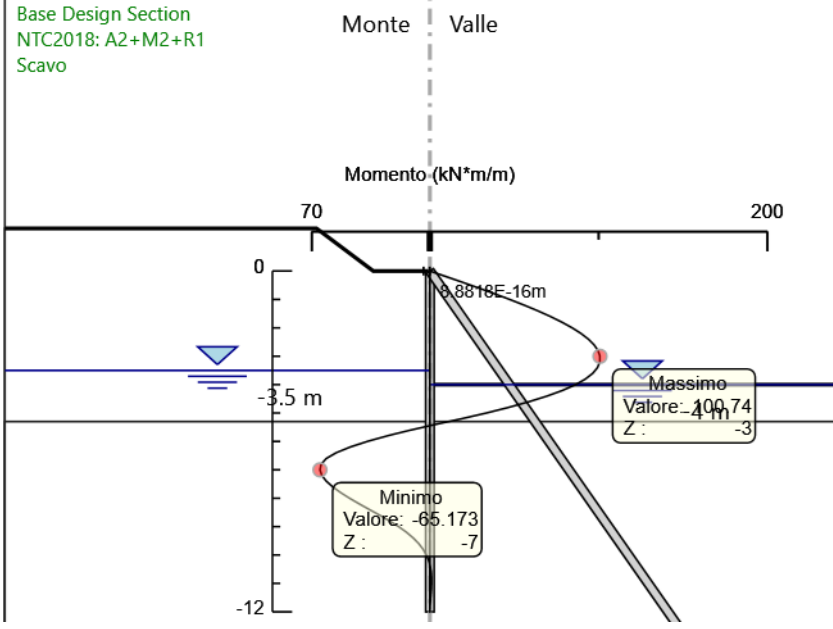




 <p> AIPO <small>Agenzia Interregionale per il fiume Po</small> AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small> </p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geotecnica</p>

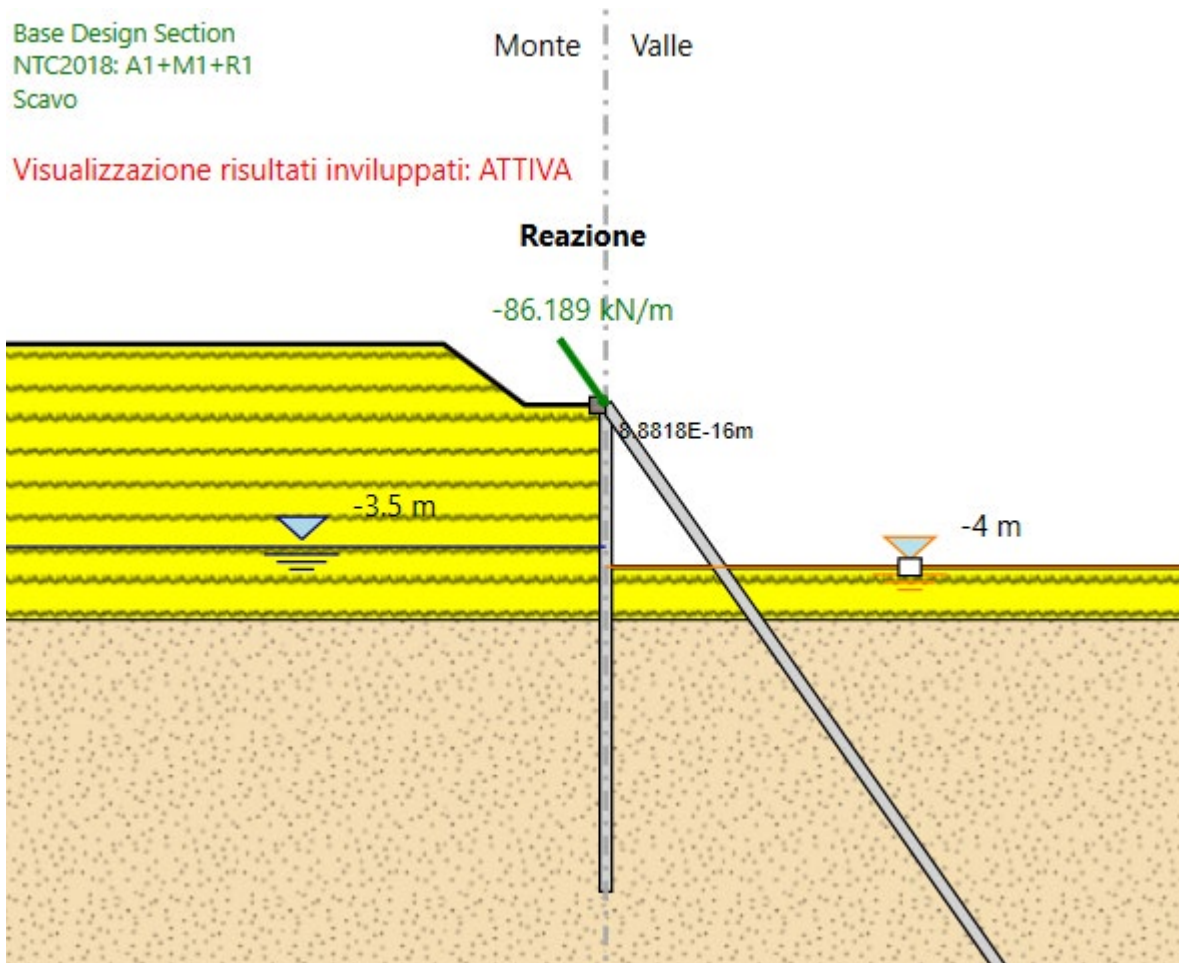
Base Design Section
NTC2018: A2+M2+R1
Scavo



Base Design Section
NTC2018: A2+M2+R1
Scavo



 <p>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geotecnica</p>

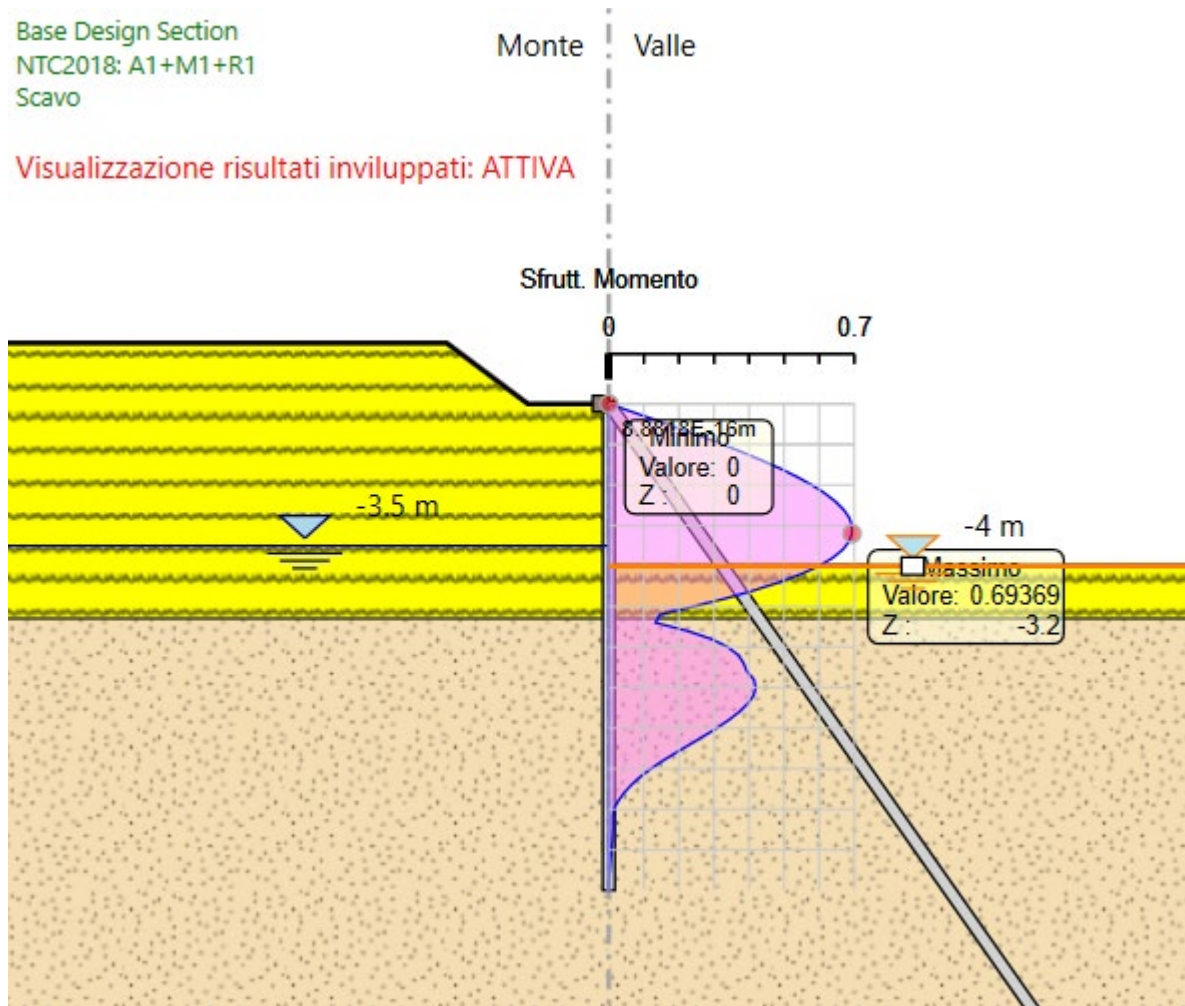


6.5.4 Verifica elementi strutturali

 <p> AIPO <small>Agenzia Interregionale per il Fiume Po</small> AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small> </p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geotecnica</p>

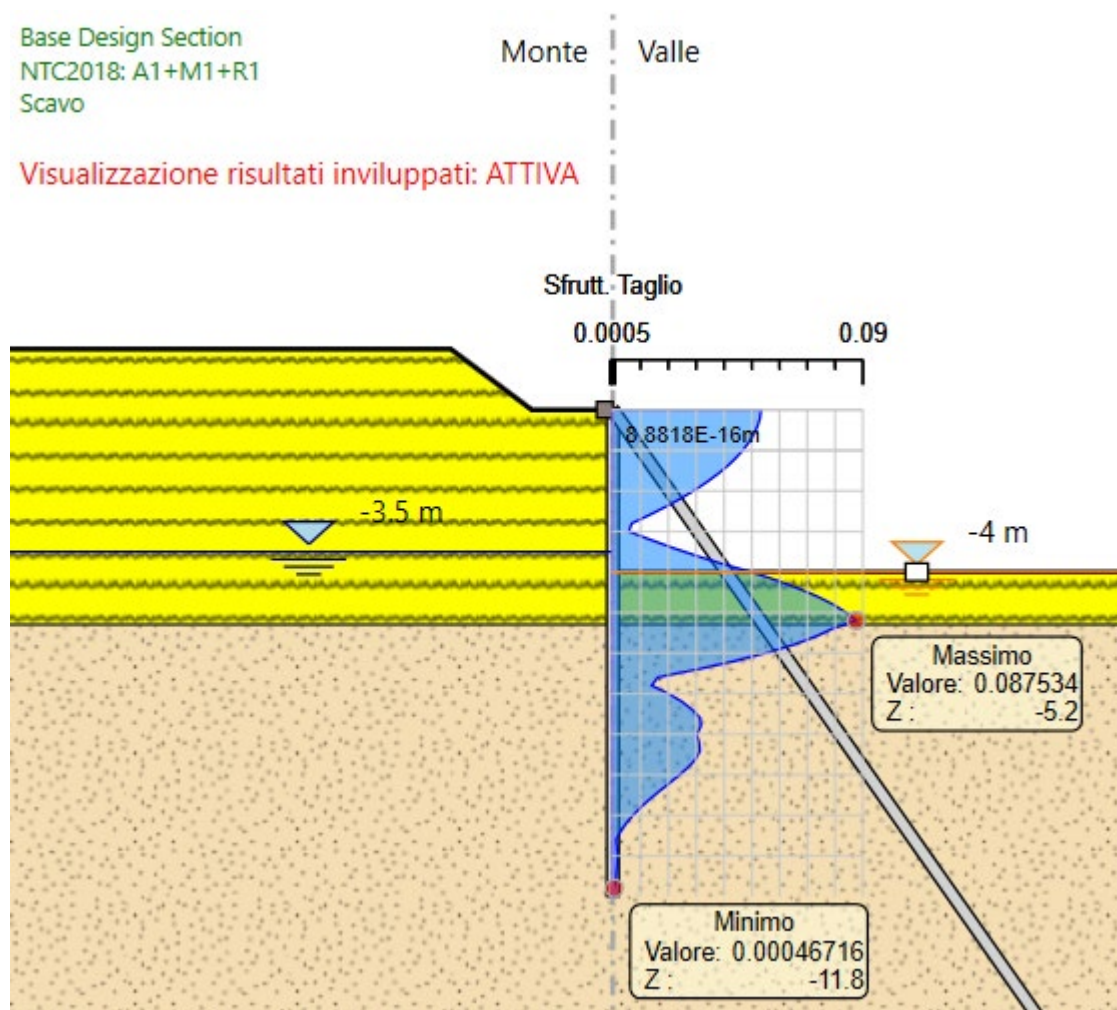
Base Design Section
NTC2018: A1+M1+R1
Scavo

Visualizzazione risultati involuppati: ATTIVA





Base Design Section
NTC2018: A1+M1+R1
Scavo

Visualizzazione risultati involuppati: ATTIVA



Design	Tipo Risultato: NTC2018 (ITA)									
Assumption:	Verifiche Travi di Ripartizione									
A1+M1+R3										
Trave di Ripartizione	Elemento strutturale	Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Fattore di sicurezza	Ratio taglio	Area Staffe Richiesta (cm ² /m)	
Trave coronamento	Puntone	TRAVE Coronamento	B450C	Realizzazione berlinese	0	0	0.01	0	6	
Trave coronamento	Puntone	TRAVE Coronamento	B450C	Scavo	-82.784	0	0.787	0.329	6	

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

Design Assumption: NTC2018: A2+M2+R1	Tipo Risultato:	NTC2018 (ITA)							
	Verifiche Travi di Ripartizione								
Trave di Ripartizione	Elemento strutturale	Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Fattore di sicurezza	Ratio taglio	Area Staffe Richiesta (cm^2/m)
Trave coronamento	Puntone	TRAVE Coronamento	B450C	Realizzazione berlinese	0	0	0.01	0	6
Trave coronamento	Puntone	TRAVE Coronamento	B450C	Scavo	-86.189	0	0.82	0.342	6

6.6 Determinazione della capacità portante dei puntoni

6.6.1 Determinazione della portata

Ai fini del calcolo, il carico limite Q_D viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta Q_p e la resistenza laterale Q_l .

La capacità portante dei puntoni viene determinata come:

$$Q_D = (Q_p + Q_s) / \xi - W_{\text{palo}}$$



In cui

- Q_p è il valore di calcolo alla punta
- Q_l è il valore di calcolo per resistenza laterale
- W_{palo} è il peso del palo
- ξ è un coefficiente di correlazione determinato secondo la Tab. 6.4.IV delle NTC2018

Alle rispettive componenti di resistenza determinati vengono applicati i relativi coefficienti di sicurezza R_3 di Tab. Tab. 6.4.II delle NTC18.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

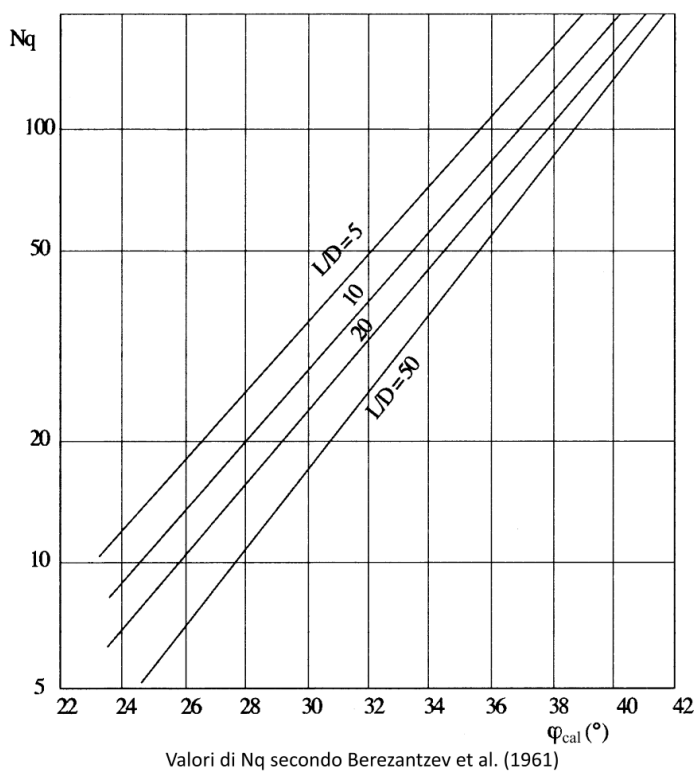
Il carico limite verticale per resistenza alla punta viene calcolato attraverso la formula di

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

Berezantzev in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia palo-terreno.

$$Q_p = \pi \cdot D^2 / 4 \cdot (\gamma_t \cdot L \cdot N_q + N_c \cdot C) / \gamma_R$$

Il contributo di coesione viene trascurato in fattore di sicurezza. Il fattore di capacità portante N_q viene determinato dall'abaco in funzione del rapporto L/D .



Il metodo utilizzato per il calcolo della capacità portante laterale è il metodo α , proposto da Tomlinson (1971); la resistenza laterale viene calcolata nel seguente modo:



$$Q_l = (\alpha \cdot C + \gamma_t \cdot L \cdot K \cdot \tan \delta) \cdot \pi \cdot D \cdot L / \gamma_R$$

Il peso del palo viene determinato mediante la seguente formula

$$W_{\text{palo}} = (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot L \cdot \gamma_p$$

Poiché la realizzazione del palo le caratteristiche del terreno nell'intorno dello stesso, si propone di assumere un angolo di resistenza a taglio pari a:

$$\varphi_{\text{corr}} = \varphi - 3$$

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

$$C = C \cdot 0.9$$

$$\tan \delta = 2/3 \tan(\varphi_{\text{corr}})$$

dove φ è l'angolo di resistenza a taglio prima dell'esecuzione del palo.

La portata di progetto viene calcolata

$$Q_d = (Q_p + Q_s - W_{\text{palo}}) / 1.7$$

Nelle precedenti si sono riportati i seguenti parametri:

γ_t peso unità di volume del terreno

L lunghezza del palo

c valore medio della coesione (o della resistenza a taglio in condizioni non drenate)



σ' pressione verticale efficace del terreno

K coefficiente di spinta orizzontale, dipendente dalla tecnologia di esecuzione del palo e dal precedente stato di addensamento

γ_p peso unità di volume del materiale con cui è realizzato il palo

Considerando un carico sul puntone (posto ad interasse 5m) pari a

$$Q_E = 5 \cdot 86.2 = 431 \text{ kN}$$

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO - PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

DATI DI INPUT

Diametro del palo		D =	0.3 m
Peso efficace del terreno		γ' =	8 kN/m ³
Lunghezza di infissione		L =	23 m
Angolo di attrito efficace		φ_k =	39 °
Inclinazione micropalo rispetto alla verticale		β =	35 °
Peso specifico del palo		γ_p =	25 kN/m ³

DATI CALCOLATI



Angolo di attrito corretto	$\varphi = \varphi_k - 3$	φ =	36 °
Fattore di capacità portante		Nq =	50
Profondità di infissione		L β =	18.84 m
Coefficiente di spinta orizzontale	K = 1 - sen φ	K =	0.412
Coefficiente di attrito palo-terreno	$\delta = 2/3 \tan \varphi$	tan δ =	0.484

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA

Portata di punta di calcolo	$Q_{p,cal} = \pi \cdot D^2/4 \cdot (\gamma' \cdot L \cdot N_q + N_c \cdot C)$	$Q_{p,cal}$ =	371.4 kN
Portata laterale di calcolo	$Q_{l,cal} = (\alpha \cdot C + \gamma_t \cdot L \cdot \beta \cdot K \cdot \tan \delta) \cdot \pi \cdot D \cdot L$	$Q_{l,cal}$ =	652.3 kN
Peso del palo	$W_{palo} = (\pi \cdot D^2/4) \cdot L \cdot \gamma_p \cdot 1,3$	W_{palo} =	52.8 kN
Coefficiente parziale per resistenza alla punta		γ_p =	1.30
Coefficiente parziale per resistenza laterale		γ_l =	1.15
Portata di punta caratteristica		Q_p =	285.705 kN
Portata laterale caratteristica		Q_l =	567.253 kN
Coefficiente correlazione		ξ =	1.70
Portata di progetto	$Q_d = (Q_p + Q_l) / \xi - W_{palo}$	Q =	448.90 kN

Si ha che $Q_D > Q_E$, la verifica è dunque soddisfatta.

6.7 Monitoraggio in corso d'opera

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

7. OPERA DI SOSTEGNO DEFINITIVA

La verifica dell'elemento definitivo viene eseguita considerando una sezione di profondità unitaria. L'equilibrio a rotazione dell'elemento come corpo rigido viene valutato rispetto a un punto di rotazione posto sul vertice inferiore della platea di valle.

Per le verifiche di seguito riportate si considereranno:

- I riempimenti di monte che eccedono la quota di testa muro come carichi permanenti generanti spinta sul paramento verticale;
- Sovraccarichi distribuiti di 2 kN/m²;
- È trascurato l'effetto di resistenza passiva al piede per la porzione interrata di fondazione.

La verifica è inoltre eseguita sulla porzione del manufatto di minima sezione, con effetto zavorrante della rampa e del riempimento nullo.

Le spinte del terreno a monte vengono calcolate come segue.



Determinazione della spinta statica									
strato	z	hsi	γ	σ	u	γ'	σ'	Si	zSi
n°	m	m	kN/m ³	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ³	kN/m ²	kN/m	m
1	0	2.35	18.00	0.000	0	18.00	0.00	17.93	2.28
	2.35		18.00	15.262	0	18.00	15.26		
2	2.35	1.5	18.00	15.262	0	8.00	15.26	26.14	0.72
	3.85		18.00	25.004	15	8.00	19.59		

Per la determinazione delle massime azioni agenti vengono eseguite le verifiche secondo le seguenti combinazioni:

- Verifica SLU secondo Approccio 2 (A1+M1+R3)
- Verifica sismica con coefficienti unitari sulle resistenze.

Considerata la presenza della paratia a monte e il grado di vincolo, le verifiche di scorrimento risultano essere soddisfatte.

Per la determinazione degli effetti sismici si determinano i seguenti parametri.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO - PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

DETERMINAZIONE DEI COEFFICIENTI SISMICI

Tipologia muro		muri che possono spostare o ruotare
β_m		0.38
a_g		0.050 accelerazione orizzontale massima su suolo rigido
S_S		1.00 coefficiente di amplificazione stratigrafica
S_T		1.20 coefficiente di amplificazione topografica
S	$S_S \cdot S_T$	1.20 coefficiente di amplificazione del suolo
a_{max}	$S \cdot a_g$	0.060 accelerazione orizzontale massima attesa al sito
k_h	$\beta_m \cdot (a_{max}/g)$	0.023 coefficiente sismico orizzontale
k_v	$0,5 \cdot k_h$	0.011 coefficiente sismico verticale

L'incremento di spinta generato sul muro per effetto del sisma è valutato secondo la formulazione di Monobe-Okabe e calcolato come segue, in favore di sicurezza si considerano le spinte in termini di tensioni totali.

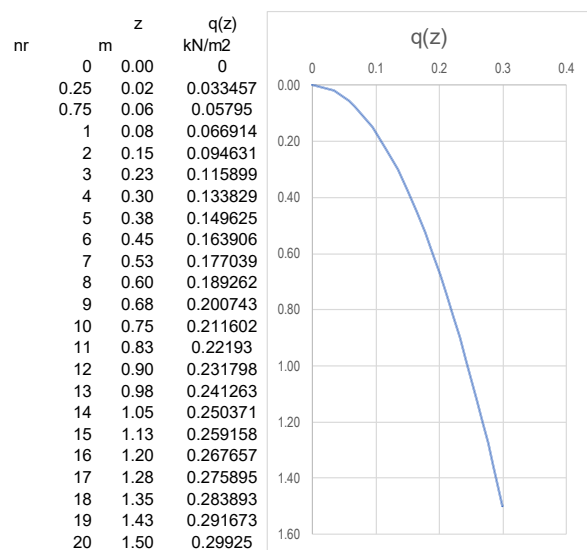
DATI			
h	m	3.85	altezza del terreno a monte del muro
γ_d	kN/m^3	18.00	peso specifico del terreno secco
γ_{sat}	kN/m^3	22.00	peso nell'unità di volume del terreno saturo
γ_w	kN/m^3	10.00	peso nell'unità di volume dell'acqua
γ'		18.00	
ϕ_d	°	25.00	angolo di resistenza al taglio di progetto
δ	°	16.67	angolo di attrito sul piano di valutazione della spinta
β	°	0	angolo di inclinazione sulla verticale del piano di valutazione della spinta (=0 se verticale)
ι	°	0	angolo di inclinazione sull'orizzontale del terrapieno a monte (=0 se orizzontale)
k_H		0.034	bm maggiorato di 1.5 coefficiente sismico orizzontale
k_V		0.017	bm maggiorato di 1.5 coefficiente sismico verticale
Parametri calcolati			
θ_+	gradi	1.93	$\gamma_d / (\gamma - \gamma_w) \cdot k_h / (1 + k_v)$ coefficiente di spinta sismica
θ_-	gradi	0.98	$\gamma_d / (\gamma - \gamma_w) \cdot k_h / (1 - k_v)$ coefficiente di spinta sismica
K_A		0.361	coefficiente di spinta attiva Muller Breslau
R_{p+}		0.266	
R_{p-}		0.265	
K_{AE+}		0.397	coefficiente di spinta sismica Mononobe Okabe
K_{AE-}		0.413	coefficiente di spinta sismica Mononobe Okabe
Determinazione delle spinte			
E_A	kN/m	48.13	$0,5 \gamma' h^2 K_A$ spinta attiva in condizioni statiche
H_A	m	1.283	$h / 3$ quota di applicazione della spinta attiva statica
E_{AE+}	kN/m	53.89	$0,5 \gamma' (1 + k_v) h^2 K_{AE+}$ spinta attiva in condizioni sismiche
E_{AE-}	kN/m	54.12	$0,5 \gamma' (1 - k_v) h^2 K_{AE-}$ spinta attiva in condizioni sismiche
ΔE_E	kN/m	5.99	$E_{AE} - E_A$ incremento sismico della spinta
H_E	m	1.28	$h / 3$ quota di applicazione di ΔE_E
H_{AE}	m	1.29	$(E_A H_A + \Delta E_E H_E) / E_{AE}$ quota di applicazione di E_{AE}

L'azione idrodinamica dell'acqua per effetto della presenza della falda e del tirante idrico a monte viene considerata secondo l'approccio di Westegaard, il modulo delle forze è determinato come segue.

grandezza	u.m.	misura	descrizione	formula
-----------	------	--------	-------------	---------

DATI

k_h		0.023	coefficiente sismico orizzontale	
g_w	kN/m^3	10	peso nell'unità di volume dell'acqua	
h_w	m	1.5	altezza del mare rispetto al p.c.	
F_w	kN/m	0.29925	risultate delle spinte idrodinamiche	$7/12 \cdot k_h \cdot g_w \cdot H_w^2$
h_{Fw}	m	0.6	quota di applicazione della forza idrodinamica	$0.4 \cdot H_w$





COMBINAZIONE SLU (Approccio 2 - A1+M1+R3)

grandezza	u.m.	misura	descrizione	formula	grandezza	u.m.	misura	descrizione	formula
DATI GEOMETRICI E DIMENSIONALI					VALORI CARATTERISTICI DELLE FORZE AGENTI				
B	m	1	larghezza di verifica		W	kN	81.875	peso del blocco	$L \cdot H \cdot B \cdot \gamma_{CLS}$
L	m	3.85	larghezza della fondazione		S _W	kN	19.25	sottospinta idraulica	$L \cdot h \cdot B \cdot \gamma_{W}$
H	m	4	altezza totale del blocco		S _{1x}	kN	17.18	componente orizz. spinta su strato terreno asciutto	
h	m	3.85	altezza totale del terreno		S _{1z}	kN	5.14	componente vert. spinta su strato terreno asciutto	
h _w	m	1.5	altezza w.r. rispetto al p.c.		S _{2x}	kN	25.04	componente orizz. spinta su strato terreno immerso	
i	gradi	0	pendenza del terreno a monte		S _{2z}	kN	7.50	componente vert. spinta su strato terreno immerso	
β	gradi	0	pendenza del paramento del muro		G _{2x}	kN	35.93	comp. orizz. spinta dovuta a carichi permanenti	$g_2 \cdot Ka \cdot h \cdot \cos \delta$
β _m	gradi	0.38	muri che possono spostare o ruotare		G _{2y}	kN	10.76	comp. vert. spinta dovuta a carichi permanenti	$g_2 \cdot Ka \cdot h \cdot \sin \delta$
β _{m,r}	gradi	0.57	coefficiente per verifiche a ribaltamento	$\beta_m \cdot 1.5$	Q _{qx}	kN	2.66	comp. orizz. spinta del terreno dovuta ai sovraccarichi	$q \cdot Ka \cdot h \cdot \cos \delta$
A	m ²	3.275	area della sezione trasversale del cls		Q _{qz}	kN	0.80	comp. vert. spinta del terreno dovuta ai sovraccarichi	$q \cdot Ka \cdot h \cdot \sin \delta$
h _f	m	0.5	spessore della fondazione		E _i	kN	1.9	azione sismica inerziale su blocco	$k_n \cdot W$
DATI GEOTECNICI E STRUTTURALI					S _E	kN	2.26	spinta sismica del terreno (Mononobe-Okabe)	
γ _{CLS}	kN/m ³	25	peso nell'unità di volume del calcestruzzo		S _{ER}	kN	2.66	spinta sismica del terreno (Mononobe-Okabe)	per SL ribaltamento
γ _{ak}	kN/m ³	18	peso nell'unità di volume del terreno		F _W	kN	0.30	spinta idrodinamica dovuta al sisma	$7/12 \cdot k_n \cdot \gamma_w \cdot H_w^2$
φ _k	gradi	25	angolo di attrito caratt. del terreno di riempimento		Q _{qc}	kN	0.00	forze di tiro puntuali	
δ	gradi	16.67	angolo di attrito terreno-paramento verticale	$\frac{2}{3} \phi_k$	COORDINATE DEI PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE FORZE				
λ	gradi	16.67	angolo di attrito terreno-fondazione	$\frac{2}{3} \phi_k$	X _W	m	2.645	distanza della forza W dal punto di rotazione	
a _g /g		0.05	accelerazione attesa SLV		X _{SW}	m	1.93	distanza della forza S _W dal punto di rotazione	L/2
S _T		1.20	coefficiente di amplificazione topografica		Z _{S1}	m	2.28	quota applicazione spinta strato asciutto	
S _s		1.00	coefficiente di amplificazione stratigrafica		Z _{S2}	m	0.72	quota applicazione spinta strato immerso	
S		1.20	coefficiente di amplificazione sismica	$S_s \cdot S_T$	Z _{Qq}	m	1.925	quota applicazione spinta sovraccarichi	h/2
g ₂	kN/m ²	27.00	carichi permanenti a monte del muro		Z _E	m	1.15	quota di appl. della forza inerziale su blocco	H/2
q	kN/m ²	2.00	sovraccarico		Z _{SE}	m	1.28	quota di applicazione della spinta sismica	h / 3
DATI CALCOLATI					Z _{FW}	m	0.6	quota di applicazione della spinta idrodinamica	0.4 · H _w
k _n		0.023	coefficiente sismico orizzontale		Z _{Qvc}	m	4	quota applicazione tiro	H
KA		0.361	coefficiente di spinta attiva		VALORI CARATTERISTICI DEI MOMENTI AGENTI				
γ _g		1	coefficiente parziale peso terreni		M _{W,k}	kN m	216.5594	momento stabilizzante per peso del blocco	$W \cdot x_w$
g _d	kN/m ³	18	peso nell'unità di volume del terreno asciutto		M _{Ww,k}	kN m	37.06	sottospinta idraulica	$S_w \cdot x_w$
g _{sat}	kN/m ³	22	peso nell'unità di volume del terreno saturo		M _{S1x,k}	kN m	39.23	spinta del terreno asciutto	$S_{1x} \cdot Z_{S1}$
γ _φ		1	coefficiente parziale angolo di attrito		M _{S1yk}	kN m	19.80	spinta del terreno asciutto	$S_{1z} \cdot L$
φ _d	gradi	25.00	angolo di attrito del terreno di riempimento	$\arctan(\tan(\phi_k)/(\gamma_{\phi}))$	M _{S2x,k}	kN m	18.00	spinta dello strato di terreno immerso	$S_{2x} \cdot Z_{S2}$
COEFFICIENTI PARZIALI					M _{S2yk}	kN m	28.86	spinta dello strato di terreno immerso	$S_{2z} \cdot L$
γ _w			coefficiente parziale sul peso del blocco		M _{G2x,k}	kN m	69.17	carichi permanenti a monte del muro	$G_{2x} \cdot Z_{Qq}$
γ _s			coefficiente parziale su spinta dei terreni		M _{G2yk}	kN m	41.41	carichi permanenti a monte del muro	$G_{2y} \cdot L$
γ _e			coefficiente parziale su azioni sismiche		M _{Qqx,k}	kN m	5.12	sovraccarichi	$Q_q \cdot Z_{Qq}$
γ _q			coefficiente parziale su tiro degli ormeggi		M _{Qqz,k}	kN m	3.07	sovraccarichi	$Q_q \cdot L$
					M _{Qn,k}	kN m	0.00	azioni dovute alle forze di tiro	$(Q_v + Q_c) \cdot Z_{Qvc}$
					M _{Ek,k}	kN m	2.15	azione sismica inerziale sul blocco	$E_i \cdot z_E$
					M _{SE,k}	kN m	2.90	spinta sismica del terreno	$S_E \cdot z_{SE}$
					M _{SER,k}	kN m	3.42	spinta sismica del terreno per SL ribaltamento	$S_E \cdot z_{SE}$
					M _{FW,k}	kN m	0.18	spinta idrodinamica	$S_{FW} \cdot z_{FW}$

VERIFICA A RIBALTAMENTO

COMBO	γ _s	M _{Ww,d} kN m	M _{S1,d} kN m	M _{S2,d} kN m	γ _{G2}	M _{G2,d} kN	γ _Q	M _{Q,d} kN m	M _{Qn,d} kN m	γ _E	M _{E,d} kN m	M _{SE,d} kN m	M _{W,d} kN m	M _{ED} kN m	M _{RD} kN m	M _{RD} /M _{ED}	γ _R
SLU	1.30	48.17	50.99	23.41	1.50	103.75	1.5	7.69	0.00	0.00	0.00	0.00		234.01		1.27	1.15
	1.00		19.80	28.86	0.80	33.13	0.00	0.00		0.00			216.5594		298.36		

 AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione  Relazione Geotecnica
--	--

COMBINAZIONE SLV (Combinazione sismica)



grandezza	u.m.	misura	descrizione	formula	grandezza	u.m.	misura	descrizione	formula
DATI GEOMETRICI E DIMENSIONALI					VALORI CARATTERISTICI DELLE FORZE AGENTI				
B	m	1	profondità di verifica		W	kN	83.25	peso del blocco	$L \cdot H \cdot B \cdot \gamma_{CLS}$
L	m	3.85	larghezza del blocco		S _W	kN	19.25	sottospinta idraulica	$L \cdot h \cdot B \cdot \gamma_{W}$
H	m	4	altezza totale del blocco		S _{1x}	kN	17.18	componente orizz. spinta su strato terreno asciutto	
h	m	3.85	altezza totale del terreno		S _{1z}	kN	5.14	componente vert. spinta su strato terreno asciutto	
h _w	m	1.5	altezza del mare rispetto al p.c.		S _{2x}	kN	25.04	componente orizz.spinta su strato terreno immerso	
i	gradi	0	pendenza del terreno a monte		S _{2z}	kN	7.50	componente vert.spinta su strato terreno immerso	
β	gradi	0	pendenza del paramento del muro		G _{2x}	kN	35.93	comp. orizz. spinta dovuta a carichi permanenti	$g_2 \cdot Ka \cdot h \cdot \cos \delta$
β _m		0.38	muri che possono spostare o ruotare		G _{2y}	kN	10.76	comp. vert. spinta dovuta a carichi permanenti	$g_2 \cdot Ka \cdot h \cdot \sin \delta$
β _{m,r}		0.57	coefficiente per verifiche a ribaltamento	$\beta_m \cdot 1.5$	Q _{qx}	kN	2.66	comp. orizz. spinta del terreno dovuta ai sovraccarichi	$q \cdot Ka \cdot h \cdot \cos \delta$
A	m ²	3.33	area della sezione trasversale del cls		Q _{qz}	kN	0.80	comp. vert. pinta del terreno dovuta ai sovraccarichi	$q \cdot Ka \cdot h \cdot \sin \delta$
h _f	m	0.5	spessore della fondazione		E _i	kN	1.9	azione sismica inerziale su blocco	$k_n \cdot W$
DATI GEOTECNICI E STRUTTURALI					S _E	kN	5.08	spinta sismica del terreno (Mononobe-Okabe)	
g _{CLS}	kN/m ³	25	peso nell'unità di volume del calcestruzzo		S _{ER}	kN	5.99	spinta sismica del terreno (Mononobe-Okabe)	per SL ribaltamento
g _{d,k}	kN/m ³	18	peso nell'unità di volume del terreno		F _W	kN	0.30	spinta idrodinamica dovuta al sisma	$7/12 \cdot k_h \cdot \gamma_{Ww} \cdot H_w^2$
φ _k	gradi	25	angolo di attrito caratt. del terreno di riempimento		Q _r	kN	0.0	forze di tiro puntuali	
δ	gradi	16.667	angolo di attrito terreno-paramento verticale	$\frac{2}{3} \phi_k$	COORDINATE DEI PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE FORZE				
λ	gradi	16.667	angolo di attrito terreno-fondazione	$\frac{2}{3} \phi_k$	X _W	m	2.645	distanza della forza W dal punto di rotazione	L/2
a _g /g		0.05	accelerazione attesa SLV		X _{SW}	m	1.93	distanza della forza S _W dal punto di rotazione	L/2
S _T		1.20	coefficiente di amplificazione topografica		Z _{S1}	m	2.28	quota applicazione spinta strato asciutto	
S _S		1.00	coefficiente di amplificazione stratigrafica		Z _{S2}	m	0.72	quota applicazione spinta strato immerso	
S		1.20	coefficiente di amplificazione sismica	$S_S \cdot S_T$	Z _{Q1}	m	1.925	quota applicazione spinta sovraccarichi	h/2
g _z	kN/m ²	27.00	carichi permanenti a monte del muro		Z _E	m	1.15	quota di appli. della forza inerziale su blocco	H/2
q	kN/m ²	2.00	sovraccarico	Cat. E2	Z _{SE}	m	1.28	quota di applicazione della spinta sismica	
DATI CALCOLATI					Z _{FW}	m	0.6	quota di applicazione della spinta idrodinamica	$0.4 \cdot H_w$
k _h		0.023	coefficiente sismico orizzontale		Z _{Qvc}	m	4	quota applicazione tiro	H
KA		0.361	coefficiente di spinta attiva		VALORI CARATTERISTICI DEI MOMENTI AGENTI				
γ _s		1	coefficiente parziale peso terreni		M _{W,k}	kN m	220.20	momento stabilizzante per peso del blocco	$W \cdot x_w$
g _d	kN/m ³	18	peso nell'unità di volume del terreno asciutto		M _{Ww,k}	kN m	37.06	sottospinta idraulica	$S_w \cdot x_w$
g _{sat}	kN/m ³	22	peso nell'unità di volume del terreno saturo		M _{S1x,k}	kN m	39.23	spinta del terreno asciutto	$S_{1x} \cdot z_{S1}$
γ _f		1	coefficiente parziale angolo di attrito		M _{S1y,k}	kN m	19.80	spinta del terreno asciutto	$S_{1z} \cdot L$
φ _d	gradi	25.00	angolo di attrito del terreno di riempimento	$\arctan(\tan(\phi_k)/(\gamma_{f,d}))$	M _{S2x,k}	kN m	18.00	spinta dello strato di terreno immerso	$S_{2x} \cdot z_{S2}$
COEFFICIENTI PARZIALI					M _{S2y,k}	kN m	28.86	spinta dello strato di terreno immerso	$S_{2z} \cdot L$
γ _w			coefficiente parziale sul peso del blocco		M _{G2x,k}	kN m	69.17	carichi permanenti a monte del muro	$G_{2x} \cdot z_{G1}$
γ _s			coefficiente parziale su spinta dei terreni		M _{G2y,k}	kN m	41.41		$G_{2y} \cdot L$
γ _e			coefficiente parziale su azioni sismiche		M _{GQx,k}	kN m	5.12	sovraccarichi	$Q_{q1} \cdot z_{Q1}$
γ _o			coefficiente parziale su tiro degli ormeggi		M _{GQz,k}	kN m	3.07		$Q_{q1} \cdot L$
					M _{QNK}	kN m	0.00	azioni dovute alle forze di tiro	$(Q_{q1} + Q_{q2}) \cdot z_{Q1c}$
					M _{BE,k}	kN m	2.18	azione sismica inerziale sul blocco	$E_i \cdot z_E$
					M _{SE,k}	kN m	6.52	spinta sismica del terreno	$S_E \cdot z_{SE}$
					M _{BER,k}	kN m	7.69	spinta sismica del terreno per SL ribaltamento	$S_E \cdot z_{SE}$
					M _{FW,k}	kN m	0.18	spinta idrodinamica	$S_{FW} \cdot z_{FW}$

VERIFICA A RIBALTAMENTO												
COMBO	γ _s	M _{Ww,d} kN m	M _{S1,d} kN m	M _{S2,d} kN m	γ _{Qz}	M _{G2,d} kN	γ _Q	M _{Q,d} kN m	M _{QNK,d} kN m	γ _E	M _{BE,d} kN m	M _{SE,d} kN m
SLV	1.00	37.06	39.23	18.00	1.00	69.17	0.3	1.54	0.00	1.00	3.27	7.69
	1.00		19.80	28.86	0.80	33.13	0	0.00				
											216.56	175.95
												298.36
											1.70	1

7.1 Verifica di capacità portante

Le verifiche di capacità portante vengono riferite alla platea di fondazione, per una lunghezza di 10m, considerando lo sviluppo lineare dell'opera. Le azioni in fondazione vengono stimate a partire dalle spinte ottenute nel precedente paragrafo.

Si ottengono le seguenti azioni generalizzate in fondazione riferite a una sezione di lunghezza

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

unitaria:

- Per la combinazione SLU (Approccio 2)

VERIFICA A SCHIACCIAMENTO											
γ_s	$N_{W,d}$ kN	$N_{WW,d}$ kN	$T_{S1z,d}$	$T_{S2z,d}$	$T_{G2z,d}$	γ_q	$N_{q,d}$ kN	$Q_{qz,d}$ kN			N_{ED} kN
1.30	467.40	-22.43	6.69	9.75	13.98	1.50	3.00	1.20			479.58
γ_s	$T_{S1,d}$ kN	$T_{S2,d}$ kN	γ_{G2}	$T_{G2x,d}$	γ_q	$T_{q,d}$ kN	$T_{qvc,d}$ kN	γ_E	$T_{E,d}$ kN	$T_{SE,d}$ kN	T_{ED} kN
1.30	22.33	32.56	1.50	53.90	1.5	3.99	0.00	0	0.00	0.00	112.78
γ_s	$M_{S1,d}$ kN m	$M_{S2,d}$ kN m	$M_{G2,d}$ kN m	γ_q	$M_{q,d}$ kN m	$M_{qN,k}$ kN m	γ_E	$M_{E,d}$ kN m	$M_{SE,d}$ kN m	$M_{Fw,d}$ kN m	M_{ED} kN m
1.30	-39.46	-6.59	-71.36	1.5	-5.62	0.00	0	0.00	0.00	0.00	-51.68

- Per la combinazione SLV (Combinazione Sismica)

VERIFICA A SCHIACCIAMENTO											
γ_s	$N_{W,d}$ kN	$N_{WW,d}$ kN	$T_{S1z,d}$	$T_{S2z,d}$	$T_{G2z,d}$	γ_q	$N_{q,d}$ kN	$Q_{qz,d}$ kN			N_{ED} kN
1.00	359.54	-17.25	5.14	7.50	10.76	1.00	2.00	0.80			368.48
γ_s	$T_{S1,d}$ kN	$T_{S2,d}$ kN	γ_{G2}	$T_{G2x,d}$	γ_q	$T_{q,d}$ kN	$T_{qvc,d}$ kN	γ_E	$T_{E,d}$ kN	$T_{SE,d}$ kN	T_{ED} kN
1.00	17.18	25.04	1.00	35.93	1	2.66	0.00	1	8.20	5.08	94.09
γ_s	$M_{S1,d}$ kN m	$M_{S2,d}$ kN m	$M_{G2,d}$ kN m	γ_q	$M_{q,d}$ kN m	$M_{qN,k}$ kN m	γ_E	$M_{E,d}$ kN m	$M_{SE,d}$ kN m	$M_{Fw,d}$ kN m	M_{ED} kN m
1.00	-30.35	-5.07	-50.61	1.00	-3.75	0.00	1.00	-21.72	-6.52	-0.18	-67.60

Il modello geotecnico impiegato per la verifica è quello già definito al paragrafo 5, la fondazione è impostata alla quota altimetrica effettiva. Si riporta a seguire il calcolo di dettaglio.

Dati di input generale e geometria fondazione

Teoria statica: VESIC (1975)

Geometria fondazione [B] Larghezza (dir y): 3.40 m [L] Lunghezza (dir x): 10.00 m
[D] Profondità (dir z): 0.50 m
[η] Angolo di inclinazione del piano di posa nella direzione di B: 0.0° [β] Angolo di inclinazione del pendio: 0.0°
Carico permanente uniforme al piano campagna [q0]: 0.00 kPa Profondità falda dal piano di campagna: 0.00 m
Criterio di punzonamento: NESSUNO Condizione di verifica: DRENATA

Stratigrafia del terreno

N.	Y _{nat}	Y _{sat}	φ	c'	c _u	H _{str}	E _{ed}	D _r
1	18.00	18.00	39.5	0.00	0.00	10.50	0.00	0.78
2	18.00	18.00	35.0	0.00	0.00	3.00	0.00	0.60
3	18.00	18.00	39.0	0.00	0.00	11.00	0.00	0.65
4	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Legenda

N.: Numero strato dal piano di campagna verso il basso

Y_{nat}: Peso specifico contenuto naturale d'acqua (kN/m³)

Y_{sat}: Peso specifico condizioni di saturazione d'acqua (kN/m³)

φ: angolo d'attrito interno (deg)

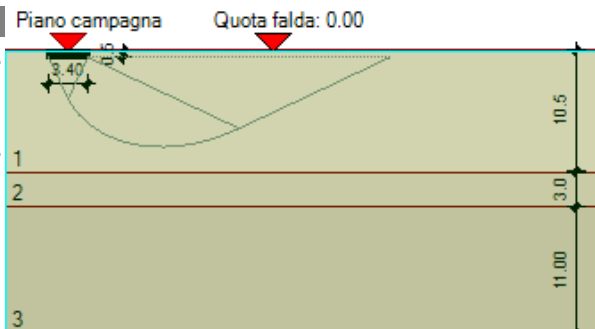
c': Coesione drenata (kPa)

c_u: Coesione non drenata (kPa)

H_{str}: Spessore dello strato (m)

E_{ed}: Modulo edometrico (kPa)

D_r: Densità relativa



Dati geotecnici di calcolo strato equivalente

Medie ponderate svolte tra le quote 0.50 m e 7.30 m	φ	c'	c _u	E _{ed}	D _r
8.00	39.5	0.00	0.00	0.78	

Descrizione sintetica della teoria utilizzata

$$q_{ult} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c \cdot p_c \cdot e_c + q' \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q \cdot p_q \cdot e_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma} \cdot p_{\gamma} \cdot e_{\gamma}$$

$$Q_{ult} = q_{ult} \cdot B' \cdot L'$$

Fattori di capacità portante

$$N_c = (N_q - 1) / \tan(\phi)$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\phi)} \cdot \tan^2(\pi/4 + \phi/2)$$

$$N_{\gamma} = (Kp/Ka - 1) \cdot \tan(\rho a)$$

Fattori di forma

$$s_c =$$

$$1 + N_q / N_c \cdot B' / L'$$

$$s_q =$$

$$1 + B' / L' \cdot \tan(\phi)$$

$$s_{\gamma} =$$

$$1 - 0.4 \cdot B' / L'$$

Fattori di profondità

$$d_c = d_q \cdot (1 - d_q) / (N_q - 1)$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot K \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \quad D < B \quad K = D/B, \quad D > B \quad K = \arctan(D/B)$$

$$d_{\gamma} = 1.0$$

Fattori di inclinazione dei carichi

$$i_c =$$

$$i_q \cdot (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_q =$$

$$(1 - V / (N + B' \cdot L' \cdot c' / \tan(\phi)))^m$$

$$i_{\gamma} =$$

$$(1 - V / (N + B' \cdot L' \cdot c' / \tan(\phi)))^{(m+1)}$$

Fattori di inclinazione base fondazione

$$b_c = b_q \cdot (1 - b_q) / (N_q - 1)$$

$$b_q = (1 - \eta \cdot \tan(\phi))^2 - \eta \text{ angolo inclinazione base}$$

$$b_{\gamma} = (1 - \eta \cdot \tan(\phi))^2 - \eta \text{ angolo inclinazione base}$$

Fattori di inclinazione pendio

$$g_c =$$

$$g_q \cdot (1 - g_q) / (N_q - 1)$$

$$g_q =$$

$$(1 - \tan(\beta))^2 - \beta \text{ angolo inclinazione pendio}$$

$$g_{\gamma} =$$

$$(1 - \tan(\beta))^2 - \beta \text{ angolo inclinazione pendio}$$

Fattori di punzonamento

$$p_c = 1.0 \text{ (punzonamento non ritenuto possibile)}$$

$$p_q = 1.0 \text{ (punzonamento non ritenuto possibile)}$$

$$p_{\gamma} = 1.0 \text{ (punzonamento non ritenuto possibile)}$$

q': pressione litostatica alla profondità D (0.50 m di imposta fondazione: 4.00 kPa)

I valori di γ, φ, c' sono i parametri geotecnici di calcolo dello strato equivalente (vedi tabella sopra riportata)

B', L': Dimensioni efficaci della fondazione (B' = B - 2 · M_x/N - L' = L - 2 · M_y/N) (se B' > L' le due dimensioni vengono scambiate tra loro)

π: valore di phi greco (3.14159...)

V risultante dei tagli radq(V_x² + V_y²) - N sforzo normale

m = m₁ · cos²(θ) + m₂ · sin²(θ) - dove m₁ = (2 + L/B) / (1 + L/B), m₂ = (2 + B/L) / (1 + B/L), θ angolo di V con la direzione di L

Verifiche a scorrimento

$H = \text{rad}q(V_x^2 + V_y^2)$ - forza di scorrimento $R_{\text{scorr}} = N' \cdot \tan(b \cdot \phi) / \gamma_m + a \cdot c' \cdot B' \cdot L'$ - resistenza allo scorrimento
 $b = 1.00$ - $b \cdot \phi$: angolo di attrito fondazione-terreno
 $\gamma_m = 1.00$ - fattore parziale di sicurezza applicato a $\tan(b \cdot \phi)$
 $a = 1.00$ - fattore riduttivo della coesione per ottenere l'adesione terreno-fondazione
 $N' = N \cdot \cos(\alpha) + V_y \cdot \sin(\alpha)$ - $V_y' = N \cdot \sin(\alpha) + V_x \cdot \cos(\alpha)$ - α angolo inclinazione base fondazione

Valori numerici dei dati che non si modificano ad ogni combinazione di carico

$N_c =$	71.464	$N_q =$	59.910	$N_y =$	100.421
$c' =$	0.00 kPa	$q =$	4.00 kPa	$q =$	8.00 kN/m ³

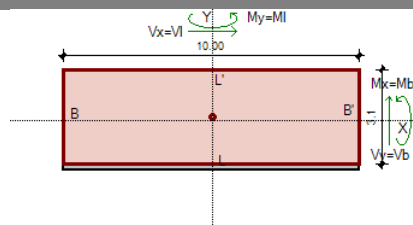
Descrizione simbologia ed opzioni speciali

Riferimento globale: asse X parallelo ad L, Y parallelo a B, asse Z verticale
 Riferimento locale: asse X parallelo ad L, Y parallelo a B, asse Z ortogonale alla base fondazione (eventualmente inclinata)
 I fattori di forma vengono determinati con le dimensioni efficaci (B' , L') della fondazione

Combinazione di carico: 1 - statica $B' = 3.18$ m%; $L' = 10.00$ m

	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	V_x (kN)	V_y (kN)	
	4790.00	517.00			1128.00	Riferimento globale
	4790.00	517.00			1128.00	Riferimento locale

	Fattori s	Fattori d	Fattori i	Fattori b	Fattori g	Fattori p	Fattori e	Globali
c	1.267	1.033	0.619	1.000	1.000			0.810
q	1.262	1.032	0.626	1.000	1.000			0.815
y	0.873	1.000	0.478	1.000	1.000			0.417

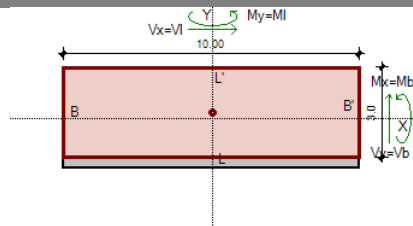


$q_{ult} = 729.26$ kPa $Q_{ult} = 23220.53$ kN $R = Q_{ult}/N = 4.848$ $> R3 = 2.3$
 $H = 1128.00$ kN $R_{scorr} = 3948.57$ kN $R = R_{scorr}/H = 3.501$ $> R3 = 1.1$

Combinazione di carico: 2 - sismica $B' = 3.03$ m%; $L' = 10.00$ m

	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	V_x (kN)	V_y (kN)	
	3680.00	676.00			941.00	Riferimento globale
	3680.00	676.00			941.00	Riferimento locale

	Fattori s	Fattori d	Fattori i	Fattori b	Fattori g	Fattori p	Fattori e	Globali
c	1.254	1.033	0.590	1.000	1.000			0.764
q	1.250	1.032	0.597	1.000	1.000			0.770
y	0.879	1.000	0.444	1.000	1.000			0.390





$q_{ult} = 660.28$ kPa $Q_{ult} = 20023.61$ kN $R = Q_{ult}/N = 5.441$ $> R3 = 2.3$
 $H = 941.00$ kN $R_{scorr} = 3033.56$ kN $R = R_{scorr}/H = 3.224$ $> R3 = 1.1$

Minimo coefficiente R

Combinazione di carico: 1 (Capacità portante)
 $q_{ult} = 729.26$ kPa $Q_{ult} = 23220.53$ kN $R = Q_{ult}/N = 4.848 > R3 = 2.3$
 Combinazione di carico: 2 (Verifica a scorrimento)
 $H = 941.00$ kN $R_{scorr} = 3033.56$ kN $R = R_{scorr}/H = 3.224 > R3 = 1.1$

Le verifiche risultano essere soddisfatte.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geotecnica

7.2 Cedimenti

La verifica dei cedimenti viene eseguita trascurando, in favore di sicurezza l'effetto delle sottospinte.

VERIFICA A SCHIACCIAMENTO											
γ_s	$N_{W,d}$ kN	$N_{WW,d}$ kN	$T_{S1z,d}$	$T_{S2z,d}$	$T_{G2z,d}$	γ_Q	$N_{Q,d}$ kN	$Q_{Qz,d}$ kN			N_{ED} kN
1.00	359.54	-17.25	5.14	7.50	10.76	1.00	2.00	0.80			368.48
γ_s	$T_{S1,d}$ kN	$T_{S2,d}$ kN	γ_{G2}	$T_{G2x,d}$	γ_Q	$T_{Q,d}$ kN	$T_{QVC,d}$ kN	γ_E	$T_{E,d}$ kN	$T_{SE,d}$ kN	T_{ED} kN
1.00	17.18	25.04	1.50	53.90	1	2.66	0.00	0	0.00	0.00	98.78
γ_s	$M_{S1,d}$ kN m	$M_{S2,d}$ kN m	$M_{G2,d}$ kN m	γ_Q	$M_{Q,d}$ kN m	$M_{QN,k}$ kN m	γ_E	$M_{E,d}$ kN m	$M_{SE,d}$ kN m	$M_{Fw,d}$ kN m	M_{ED} kN m
1.00	-30.35	-5.07	-50.61	1	-3.75	0.00	0	0.00	0.00	0.00	-39.18

Si determina il cedimento elastico in relazione ai carichi calcolati in condizioni di esercizio.

Cedimento elastico (con formula di Fox) X

Combinazione 1 - SLE N=3685.00 kN - Mx=392.00 kNm - My=0.00 kNm - Vx=0.00 kN - Vy=988.00 kN

Parametri di calcolo

OCR:

f_i :

$a=\sin(f_i)$:

$k_0=(1-\sin(f_i))\cdot OCR^a$:

$v=k_0/(1+k_0)$:

Eed (kPa):

$E_s=E_{ed} \cdot (1-v-2v^2)/(1-v)$:

I vari parametri sono interdipendenti secondo le varie formule. La variazione manuale di un parametro coinvolge soltanto i parametri successivi.

Valori di default

I valori di default sono i valori dei parametri geotecnici di calcolo del terreno equivalente (vedi schemata principale).

$w=q \cdot (1+v) \cdot (b_1 \cdot Y_1 + b_2 \cdot Y_2 + b_3 \cdot Y_3 + b_4 \cdot Y_4 + b_5 \cdot Y_5) / (4 \cdot \pi \cdot E_s \cdot (1-v))$

Descrizione formula di Fox

q: incremento pressione alla quota di imposta fondazione: N/A 115.62 (kPa)

q0: pressione litostatica alla quota di imposta fondazione 4.00 (kPa)

v: coefficiente di Poisson Es: modulo di elasticità terreno

☐ Considerare q=N/A-q0 come pressione di contatto nella formula

☐ Fondazione rigida ($w'=w \cdot 0.93$)

Area fondazione

☐ Area totale

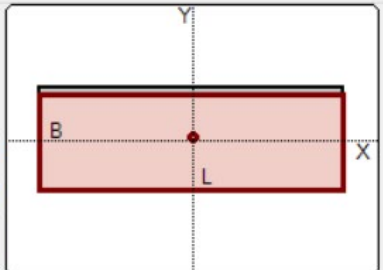
☒ Area efficace

☐ Area reagente

B (m):

L (m):

Area (m²): 31.87



Cedimento (mm):

41.76

Chiudi

Il cedimento elastico, risulta essere ammissibile per l'opera, considerando anche l'esaurimento di parte del cedimento in fase di realizzazione delle opere.