

Ristrutturazione snodo viario dell'area Baldaccio con raddoppio del sottopasso e sistemazione della viabilità

[CIG: 690790792F]

Committente:

Comune di Arezzo

RUP: ing. Antonella Fabbianelli

Via Tagliamento n. 3, 52100 Arezzo
tel. 055.20071298 - fax 055.2638766

Servizio svolto dal RTP:

SB+ srl

Via Rodi 9 - 52100 Arezzo - tel. 0575.354421 - fax 0575.409613
Viale Regina Giovanna, 24/b - 20129 Milano - tel./fax 02.49692195
www.sbpui.it - [sbpiu@sbpiu.it](mailto:sbpui@sbpiu.it)

ERRE.VI.A. srl

Viale Cristoforo Colombo n. 23 Trezzano sul Naviglio (MI)
tel. 02.48400557 - fax 02.48400429
www.errevia.com - info@errevia.com

Servizio:

PE

PROGETTO ESECUTIVO

Elaborato:

T02.p

Rel. Tecniche e Specialistiche
Palancola e scarpate [A3 - A4 - A8]

Data:

Aggiornamenti:

Agosto 2019

Sommario

A. PREMESSA.....	1
B. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
C. PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI.....	2
D. CARATTERISTICHE DEL TERRENO	3
D.1 Parametri geotecnici di calcolo	3
E. DESCRIZIONE DELLE OPERE	5
F. ANALISI DEI CARICHI.....	6
F.1 Carichi permanenti strutturali.....	6
F.2 Carichi permanenti non strutturali.....	6
F.3 Carichi accidentali.....	6
F.4 Pericolosità sismica di base ed azione sismica di progetto.....	8
F.5 Combinazioni di carico.....	9
G. PALANCOLE	10
G.1 Modellazione adottata	10
G.1.1 Ipotesi di calcolo	10
G.1.2 Schema di calcolo.....	13
G.1.3 Fasi di scavo	15
G.2 Calcolo dell'interazione terreno-struttura	16
G.2.4 Metodo di risoluzione	16
G.2.5 Proprietà di analisi	19
G.3 Materiali utilizzati.....	20
G.4 Metodologia di verifica	20
G.4.6 Stati limite esaminati.....	20
G.4.7 Coefficienti di sicurezza	21
G.4.8 Parametri di verifica	22
G.5 Risultati	23
G.6.9 SLU (A2+M2+R1) – terreno.....	24
G.6.10 SLU (A1+M1+R1) – parete	25
G.6.11 SLU idraulico – Sifonamento e sollevamento del fondo scavo.....	28
G.6.12 SLE – spostamenti orizzontali paratia	29
G.6.13 SLE – cedimenti verticali terrapieno	30
G.7 Stabilità globale terreno-opera	31
G.7.14 Metodologia di analisi e verifica	31
G.7.15 Risultati.....	31
H. SCARPATE.....	33
H.1 Metodologia di analisi e verifica	33
H.2 Parametri di calcolo.....	34
H.3 Schema di calcolo	35
H.4 Risultati analisi in condizioni drenate	37
H.5 Risultati analisi in condizioni non drenate	39
H.6 Considerazioni	41

A. PREMESSA

La presente Relazione di Calcolo riguarda la verifica delle configurazioni dei fronti scavo nella fase provvisoria per la realizzazione delle opere di sostegno del terrapieno, nonché la verifica di stabilità delle scarpate nella fase finale, inerenti la risistemazione dell'attraversamento della linea ferroviaria nello snodo Arezzo dell'area Baldaccio.

Si analizza nello specifico:

- **(1)** Sistema di palancole metalliche (tipo AZ 30-750 in acciaio S275, produttore Arcelormittal) a sostegno provvisorio dello scavo per la realizzazione del muro #13, sul fronte Sud-Ovest del monolite (lato Pescaiola).
- **(2)** Stabilità del fronte scavo più significativo, riscontrato nella realizzazione del muro #1, sul fronte Nord-Ovest del monolite (lato Baldaccio), valutata:
 - **(a)** nella configurazione provvisoria durante la fase di scavo e antecedente la realizzazione del muro
 - **(b)** nella configurazione finale a posteriori della realizzazione del muro, per la porzione di terreno sciolto al di sopra del muro.

I casi (1) e (2a) si riferiscono a configurazioni provvisorie, pertanto l'azione sismica non viene considerata. Invece, il caso (2b) si riferisce alla configurazione permanente e quindi viene considerata anche l'azione sismica come carico di progetto.

Per tutti i casi, la falda nel terrapieno viene considerata presente fino al livello desunto dalle letture piezometriche svolte nel corso delle indagini geognostiche.

B. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione è eseguita con riferimento alla normativa: *“Nuove norme tecniche per le costruzioni DM infrastrutture 17 Gennaio 2008”* e relativa Circolare esplicativa 02 Febbraio 2009 n.617.

A supporto delle citate normative è altresì fatto riferimento alla seguente documentazione tecnica:

- “Manuale di progettazione delle opere civili- Sezione 2: Ponti e strutture”
RFI DTC SI PS MA IFS 001 A
- “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili” RFI DTC SICS SP
IFS 001 B
- “Specifica per la progettazione e l'esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio t incorporate nel calcestruzzo” RFI DTC INC PO SP IFS
004 A
- “Linee guida per il collaudo statico delle opere di ingegneria civile dell'infrastruttura ferroviaria” RFI DTC SICS PO LG IFS 001 A
- “Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario (Rev.A 21/12/2011)” - RFI DTC INC PO SP
IFS 001 A.
- “Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie (Rev.A 21/12/2011)” - RFI DTC INC CS SP IFS 001 A.

C. PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI

- Paratie Plus 2018 della Harpaceas di Milano.
- Slope della GeoStru.

D. CARATTERISTICHE DEL TERRENO

D.1 Parametri geotecnici di calcolo

In relazione alle indagini geognostiche e alle analisi di laboratorio effettuate, così come riportato nella Relazione geologica all'interno dello studio di fattibilità si individuano i terreni interagenti con l'opera:

Unità O1	
Parametro geotecnico	Valore caratteristico (Xk)
γ (t/m ³)	1.85
c' (kg/cm ²)	0
ϕ°	28
E (kg/cm ²)	50

Unità O2	
Parametro geotecnico	Valore caratteristico (Xk)
γ (t/m ³)	1.85
c' (kg/cm ²)	0
ϕ°	26
E (kg/cm ²)	38

Unità A	
Parametro geotecnico	Valore caratteristico (Xk)
γ (t/m ³)	2.05
c' (kg/cm ²)	0.15
ϕ°	22
E (kg/cm ²)	154

Unità B	
Parametro geotecnico	Valore caratteristico (Xk)
γ (t/m ³)	2.1
c' (kg/cm ²)	0.30
ϕ°	31
E (kg/cm ²)	308

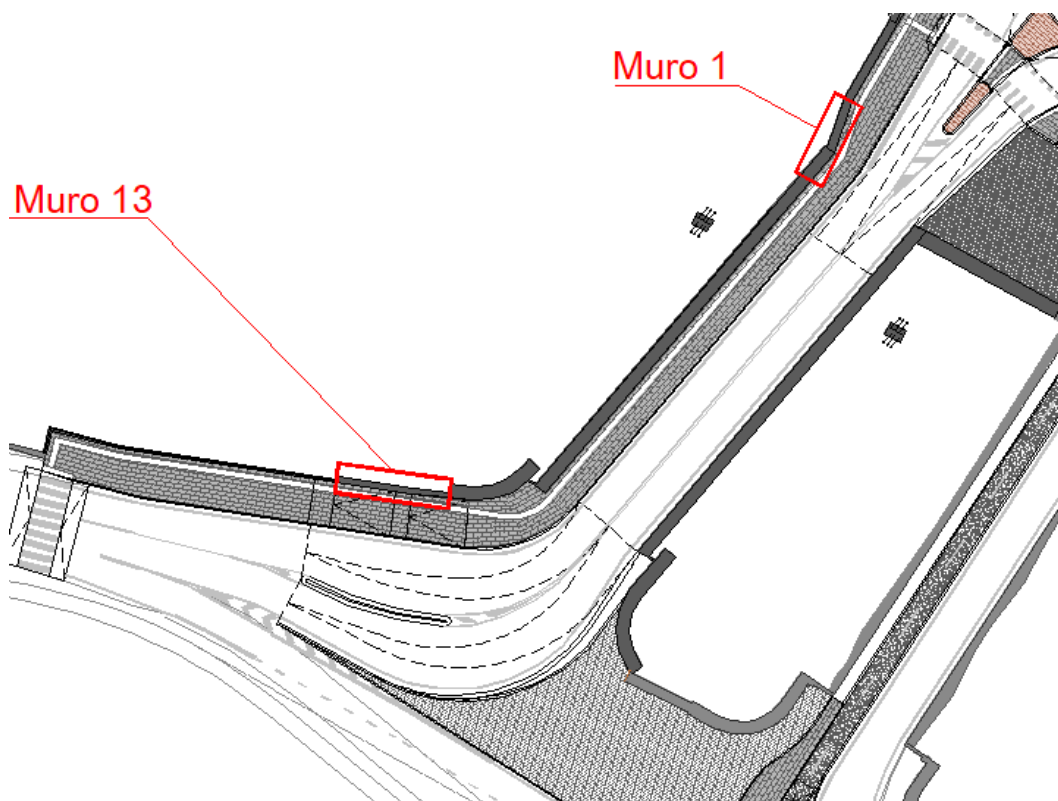
Unità C	
Parametro geotecnico	Valore caratteristico (Xk)
γ (t/m ³)	2.1
c' (kg/cm ²)	0.90
ϕ°	28
E (kg/cm ²)	427

Unità D	
Parametro geotecnico	Valore caratteristico (Xk)
γ (t/m ³)	2.1
c' (kg/cm ²)	0.74
ϕ °	29
E (kg/cm ²)	385

Unità E	
Parametro geotecnico	Valore caratteristico (Xk)
γ (t/m ³)	2.1
c' (kg/cm ²)	1.23
ϕ °	30.5
E (kg/cm ²)	513

E. DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le opere oggetto della presente relazione sono indicati in figura che segue.



Le palancole sono progettate con “funzionamento a mensola”, e sono del tipo AZ 30-750 in acciaio S275, produttore Arcelormittal. Le palancole si estendono per tutto lo sviluppo del muro #13 e sono installate sul filo interno della ciabatta del muro stesso, così da consentire uno scavo idoneo per la realizzazione del muro stesso. Nella posizione più significativa, ossia in prossimità del diaframma dove si manifesta l'altezza fuori terra maggiore e la maggior vicinanza ai binari, le palancole hanno altezza fuori terra di 5m e sono infisse per circa 7m nel terreno.

Le scarpate sono realizzate con inclinazione di 15° sull'orizzontale per le porzioni di scavo che incontrano gli strati di riporto superficiali O1 e O2, mentre sono realizzate con inclinazione di 45° in corrispondenza di tutti gli altri strati di terreno sottostanti. Le scarpate sono esaminate in riferimento alla stratigrafia del muro #1, considerato più significativo.

F. ANALISI DEI CARICHI

F.1 Carichi permanenti strutturali

La palancola è in acciaio strutturale, pertanto con peso specifico pari a 78.6 kN/m³.

Il terreno è considerato come “favorevole” quando contribuisce alla spinta passiva, mentre considerato come “sfavorevole” quando contribuisce alla spinta attiva.

F.2 Carichi permanenti non strutturali

Essendo presente il transito ferroviario nel terrapieno, si considera anche il carico permanente non strutturale offerto dalla massicciata, computato per uno spessore pari a 95cm ed un peso specifico pari a 18 kN/m³, ossia 17.1 kN/m². Ai fini della ripartizione dell'azione dei convogli di carico è considerato, in via cautelativa, uno spessore pari a 80cm (§5.2.2.1.1 NTC '08).

F.3 Carichi accidentali

I carichi accidentali di progetto indotti dal transito ferroviario sono calcolati in accordo a quanto indicato al §5.2 della NTC '08.

Il rilevato ferroviario risulta caratterizzato da binari con scartamento $s=1435$ posti con giacitura pari a quella effettivamente rilevata, ovvero inclinata di $\alpha \sim 66^\circ$ rispetto alla direzione del monolite.

La contemporaneità di più treni lungo la larghezza dell'impalcato è gestita secondo le indicazioni di Tab.5.2.III.

Le azioni verticali così definite sono combinate in “Gruppi di carico” con le azioni nel piano di serpeggio, frenatura ed avviamento secondo le indicazioni di Tab.5.2.IV.

In relazione ai gruppi di carico definiti segue la definizione delle combinazioni di carico per mezzo dei coefficienti parziali di sicurezza riportati nelle tabelle a seguire del medesimo capitolo.

Riepilogo delle “azioni elementari” considerate”:

- Convoglio di carico LM71
- Convoglio di carico SW/0
- Convoglio di carico SW/2
- Azione di avviamento (LM71, SW/0, SW/2): $Q_k=33 \text{ kN/m}$;
- Azione di frenatura (LM71, SW/0): $Q_k=20 \text{ kN/m}$;
- Azione di frenatura (SW/2): $Q_k=35 \text{ kN/m}$;
- Serpeggio: $Q_{sk}=100 \text{ kN}$

Laddove previsto per lo specifico carico sono considerati i seguenti coefficienti amplificativi:

- Coefficienti di adattamento: $\alpha=1.10$ per LM71 e SW/0; $\alpha=1$ per SW/2.

Per il convoglio LM71, il tratto centrale costituito da 4 assi da 250 kN, è sostituito da un carico diffuso equivalente sulla medesima lunghezza complessiva di 6.4 m.

Tutti i “carichi elementari” sono modellati come “diffusi” in asse al binario; la larghezza di diffusione è valutata secondo quanto indicato al §5.2.2.3.1.3, ovvero:

- Diffusione 4:1 sul ballast (sp.80”)
- Diffusione 1:1 fino nel terreno.

Considerando la distanza tra i binari di 1435 mm e l'altezza del ballast di 800mm, con diffusione 4:1 il carico in asse al binario si ripartisce su una larghezza di 1835mm.

F.4 Pericolosità sismica di base ed azione sismica di progetto

Si riporta il calcolo della pericolosità sismica di base con riferimento all'accelerazione attesa su suolo rigido di riferimento per $T_R=475$ anni.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate LONGITUDINE: 11.86971 LATITUDINE: 43.46430

☐ Ricerca per comune REGIONE: Toscana PROVINCIA: Arezzo COMUNE: Arezzo

Elaborazioni grafiche
Grafici spettri di risposta
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

km7.5
-7.5 7.5 km
-7.5

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
● Sito esterno al reticolo
● Interpolazione su 3 nodi
● Interpolazione corretta

Interpolazione
superficie rigata

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

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Da esso segue che la zona sismica è la **2**. Con riferimento al §2.4 NTC'08 ed al documento "RFI DTC INC PO SP IFS 001 A", l'azione sismica è definita per:

- Vita nominale: **50 anni**
- Classe d'uso: **III**

La risposta sismica locale è definita dai seguenti parametri di sottosuolo:

- Terreno tipo **A**;
- Topografia tipo **T1**.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0.064	2.517	0.270
SLD	75	0.078	2.518	0.279
SLV	712	0.181	2.422	0.297
SLC	1462	0.224	2.442	0.306

L'azione sismica sarà utilizzata per le verifiche di stabilità del fronte sciolto delle scarpate al di sopra delle opere di sostegno.

F.5 Combinazioni di carico

I carichi sono stati combinati secondo le indicazioni della normativa NTC08, applicando i rispettivi coefficienti di sicurezza e di combinazione, considerando gli stati limite ultimi, simili e di esercizio di interesse.

Maggiori dettagli sono riportati in §G e nel Fascicolo di Calcolo.

G. PALANCOLE

G.1 Modellazione adottata

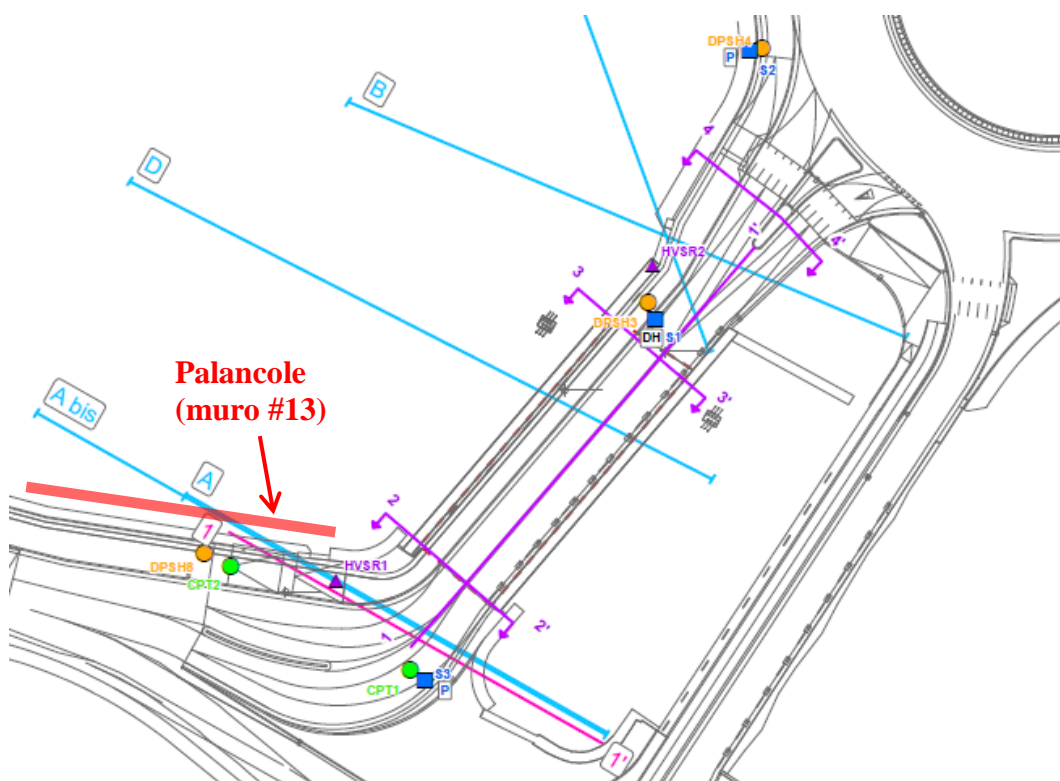
G.1.1 Ipotesi di calcolo

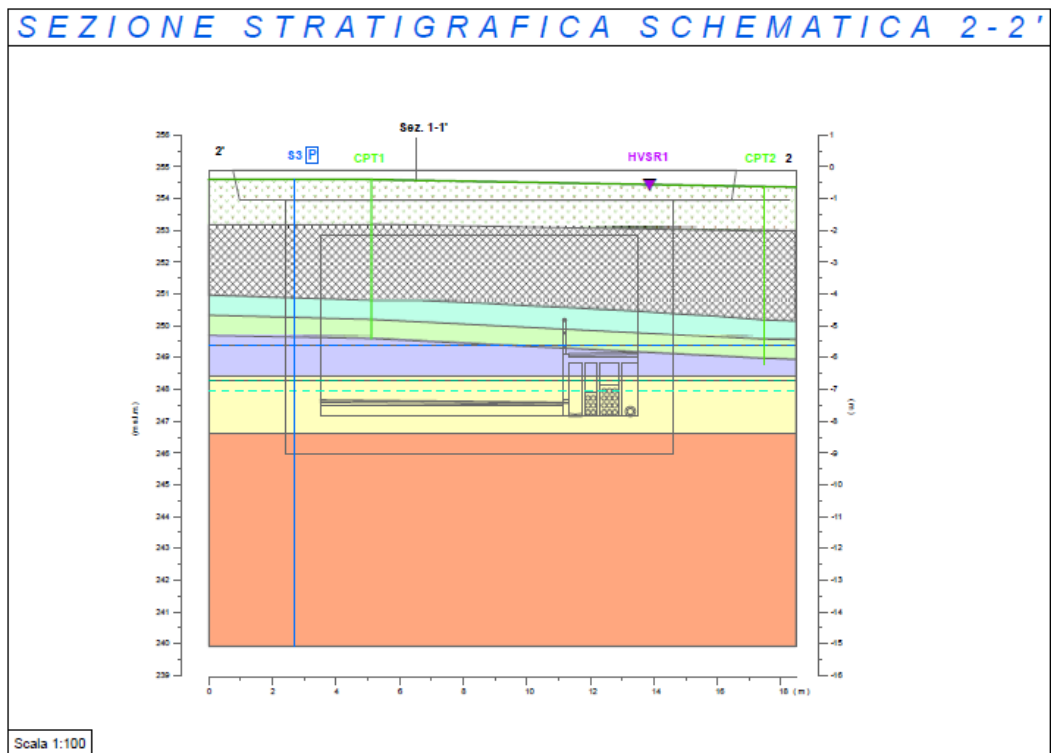
Le palancole sono state studiate mediante un modello bidimensionale, ossia considerando una sezione stratigrafica tipica del problema.

La stratigrafia è stata ricavata con riferimento alla sezione 2-2', riportata nel seguito.

La falda è stata presa in considerazione, introducendo il livello di falda come dalle letture piezometriche effettuate durante l'indagine geotecnica:

- livello di falda a -4.7 m dal piano del ferro, ossia a +0.50 m da fondo scavo.





In relazione alla posizione dei binari ferroviari nel terrapieno rispetto alle palancole, è stata selezionata una “porzione” del sistema di sostegno considerata rappresentativa, così da introdurre nel modello di calcolo anche i carichi ferroviari.

I carichi ferroviari sono modellati mediante carichi uniformemente distribuiti agenti sulla larghezza di 1.835m, corrispondente all’impronta del binario dopo la diffusione attraverso il ballast, e su un tratto di binario di lunghezza illimitata. Pertanto, producono uno stato tensionale bidimensionale nel terreno e l’incremento di tensioni orizzontali dovute al carico nastriforme avviene prevalentemente in direzione ortogonale alla linea di carico. Per stimare l’entità di tali tensioni orizzontali, si può assumere una diffusione nel terreno a 45°.

Data l’assenza di indicazioni più precise, la diffusione orizzontale dei carichi concentrati di serpeggio viene assunta anch’essa con angolo di diffusione di 45°, diffondendosi sul piano orizzontale fino ad incontrare la sommità della paratia, sulla quale viene applicata come carico distribuito orizzontale.

Dato lo sviluppo lineare in pianta della palancole in relazione alla lunghezza di carico dei treni, il sistema di sostegno è stato progettato considerando il carico lineare dedotto dalla zona centrale di carico del convoglio LM71, pari a 156.3kN/m e maggiore del carico corrispondente al treno tipo SW/2 o SW/0. Tale carico del convoglio LM71 sarebbe agente solo sulla porzione centrale di 6.4m, ma in via cautelativa viene esteso a tutto lo sviluppo delle palancole.

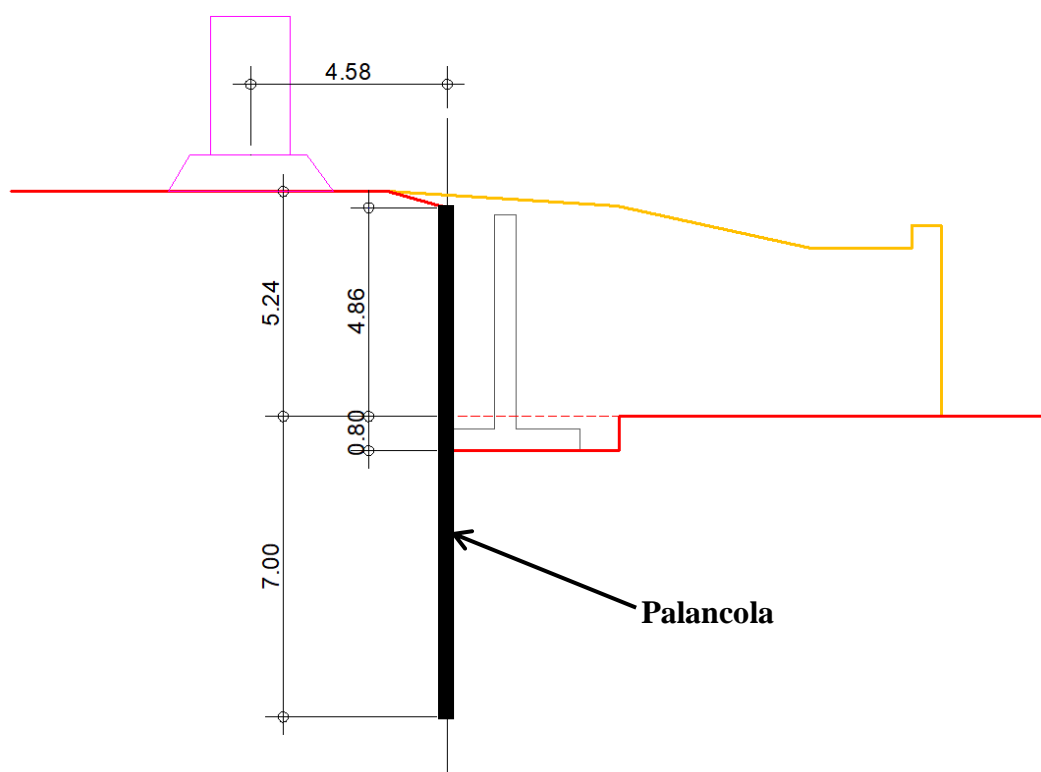
Si precisa che lo schema di calcolo adottato (esposto in §G.1.2) si riferisce alla porzione del sistema di palancole più significativa, dove si manifestano le azioni di progetto più elevate data la maggior vicinanza del binario ferroviario e la maggior altezza del terrapieno. Tuttavia, tale configurazione è presente per un limitato sviluppo in pianta delle palancole (circa 5 m), dopodiché l'allontanamento del binario consente di rimodellare il terrapieno più facilmente, realizzando una scarpata più estesa e quindi diminuire l'altezza del terrapieno, restituendo condizioni meno gravose a parità di tipo di palancole.

Il problema di interazione terreno-struttura è stato quindi analizzato mediante il software di calcolo Paratie Plus 2018, riproducendo la sezione stratigrafica rappresentativa dei due diaframmi. Mediante tale software, è stato possibile modellare anche la varie fasi di realizzazione del sistema di sostegno.

G.1.2 Schema di calcolo

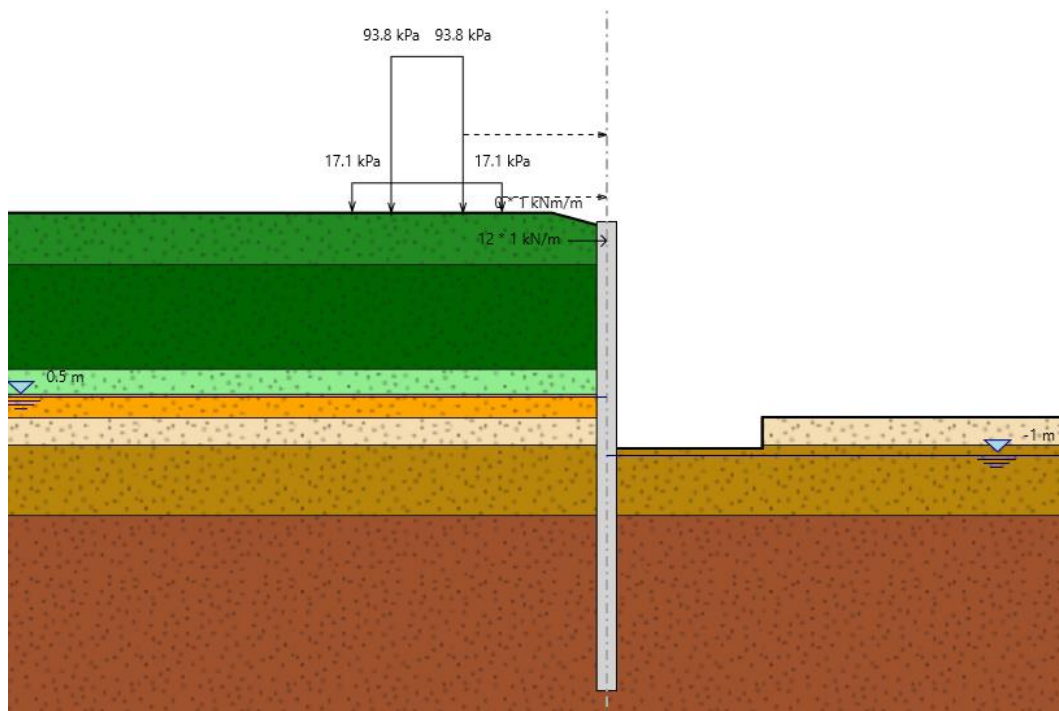
In base alla diffusione a 45° dei carichi dei binari ferroviari, il binario interessa in modo significativo lo sbalzo della palanca. Si considera quindi una combinazione di carico composta da tale binario col 100% del valore del carico di progetto.

L'azione orizzontale di serpeggio è stata applicata sulla sommità della paratia come carico lineare, distribuito sulla larghezza ottenuta assumendo una diffusione orizzontale a 45°.



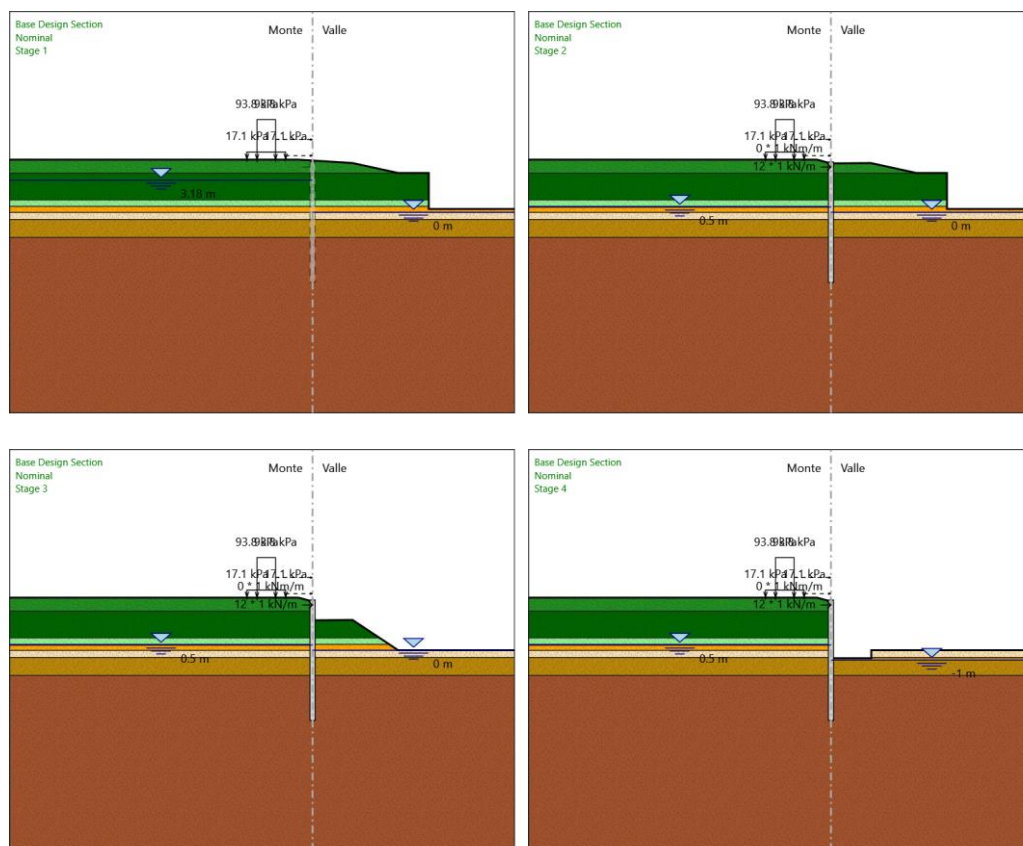
Carichi applicati:

- Convoglio LM71: $4 \cdot (1.1 \cdot 250) / (6.4 \cdot 1.835) = 93.8 \text{ kN/m}^2$
- Ballast: $18 \cdot 0.95 = 17.1 \text{ kN/m}^2$
- Forza di serpeggio: $100 \cdot 1.1 / (4.58 \cdot 2) = 12 \text{ kN/m}$



	Terreni	c' [kPa]	φ' [°]
	strato O1 Altro	0	28
	strato O2 Altro	0	26
	strato A Altro	15	22
	strato B Altro	30	31
	strato C Altro	90	28
	strato D Altro	74	29
	strato E Altro	123	30.5

G.1.3 Fasi di scavo



G.2 Calcolo dell'interazione terreno-struttura

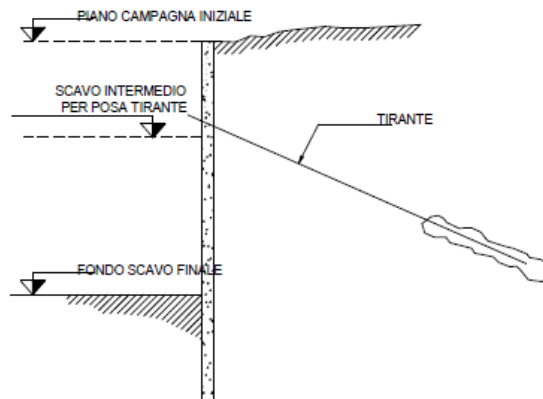
G.2.4 Metodo di risoluzione

Si riporta una descrizione dell'analisi dell'interazione terreno-struttura, in base a quanto riportato nel manuale del software ParatiePlus.

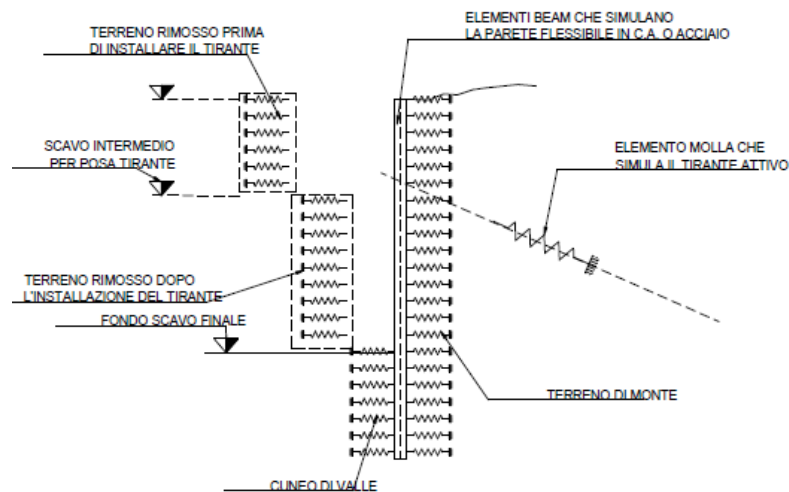
Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica del reale: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente l'effettivo comportamento dell'opera di sostegno. La simulazione numerica è quella offerta dal metodo degli elementi finiti. La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:

- si analizza un problema piano (nel piano Y-Z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);
- la parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali;
- il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse agli stessi nodi della parete;
- i tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM ed elementi terreno.

PROBLEMA REALE



MODELLO DI CALCOLO CON PARATIE



Il limite di questo schema sta nell'ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una "molla", abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.


La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi STATICA INCREMENTALE: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa

disposizione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elasto-plastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe (1996))

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria)

In questa impostazione particolare, inoltre, gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

G.2.5 Proprietà di analisi

 Proprietà Analisi

— □ ×

Densità mesh m Max Iterazioni

Controlla solo percorso degli sforzi totali (TSP) ☐

Calcolo coefficienti di spinta Opzioni avanzate Paratie Parametri Stima Cedimenti

Usa Ka e Kp definiti nella finestra dei terreni

☒ No
☐ Sì

δ/ϕ

default δ/ϕ muro sx (monte) default δ/ϕ muro dx (mon)

default δ/ϕ muro sx (valle) default δ/ϕ muro dx (valle)

Stage	δ/ϕ sx (m)	δ/ϕ sx (v)	δ/ϕ dx (m)	δ/ϕ dx (v)
Stage 1	default	default	default	default
Stage 2	default	default	default	default
Stage 3	default	default	default	default
Stage 4	default	default	default	default

Opzioni coefficienti di spinta

Ka

☐ Sempre
☐ Mai
☒ Solo se conservativo ($\beta > 0$)

Kp

☐ Sempre
☐ Mai
☒ Solo se conservativo ($\beta < 0$)

Dipendenza da β

Dipendenza da δ

☐ Sempre
☒ Mai

Contributo della superficie inclinata lato monte

☐ Sovraccarichi di superficie da superficie inclinata m

☒ Pendenza equivalente della superficie inclinata

G.3 Materiali utilizzati

Acciaio	f_{yk}	E	γ_M
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(-)
S275	275	210000	1.05

G.4 Metodologia di verifica

G.4.6 Stati limite esaminati

Le verifiche vengono effettuate allo stato limite ultimo di tipo geotecnico e di tipo strutturale, seguendo l'approccio 1 delle NTC08:

- A2+M2+R1 per le verifiche geotecniche:
 - Resistenza del terreno
- A1+M1+R1 per le verifiche strutturali:
 - Resistenza strutturale della palancola

Si effettua poi le verifiche degli stati limite idraulici:

- A1+M2+R1 per le verifiche idrauliche:
 - Sifonamento e sollevamento del fondo-scavo

In condizioni di esercizio (SLE), vengono effettuate le verifiche di

- Spostamenti orizzontali paratia
- Cedimenti verticali terrapieno

G.4.7 Coefficienti di sicurezza

Coefficienti A

Nome	Carichi Perma nenti	Carichi Perman enti	Carichi Variabil i	Carichi Variabil i	Carico Sismico (F_seis m_load)	Pressio ni Acqua Lato	Pressio ni Acqua Valle	Carichi Perman enti	Carichi Perman enti	Carichi Variabil i	Carichi Perman enti	Carichi Perman enti	Carichi Variabil i
	Sfavore voli (F_dea d_load _unfav our)	Favorev oli (F_dead _load_f avour)	Sfavore voli (F_live_ load_un favour)	Favorev oli (F_live_ load_fa vour)		(F_Wat erDR)	(F_Wat erRes)	Destabil izzanti (F_UPL_ GDStab)	Stabilizz anti (F_UPL_ GStab)	Destabil izzanti (F_UPL_ QDStab)	Destabil izzanti (F_HYD _GDSta b)	Stabilizz anti (F_HYD _GStab)	Destabil izzanti (F_HYD _QDSta b)
Simbolo	γ_G	γ_G	γ_Q	γ_Q	γ_{QE}	γ_G	γ_G	γ_{Gdst}	γ_{Gstb}	γ_{Qdst}	γ_{Gdst}	γ_{Gstb}	γ_{Qdst}
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SLE (Rara)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1.3	0.9	1
A2+M2+R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

Coefficienti M

Nome	Parziale su $\tan(\phi')$ (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	γ_ϕ	γ_c	γ_{cu}	γ_{qu}	γ_γ
Nominal	1	1	1	1	1
SLE (Rara)	1	1	1	1	1
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1

Coefficienti R

Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	γ_{Re}	γ_{ap}	γ_{at}	
Nominal	1	1	1	1
SLE (Rara)	1	1	1	1
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1.2	1.1	1
A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1

G.4.8 Parametri di verifica

Proprietà di progetto

Proprietà di progetto

Normativa per il C.A. NTC Normativa per l'acciaio NTC

Normativa per Verifica Tiranti NTC Normativa per Verifica Geosintetici NONE

Calcestruzzo armato Acciaio Elementi geotecnici

Livello di dettaglio verifica acciaio LEVEL0

Parametri Acciaio Profilati

γ_{M0} 1.05

γ_{M1} 1.05

γ_{M2} 1.25

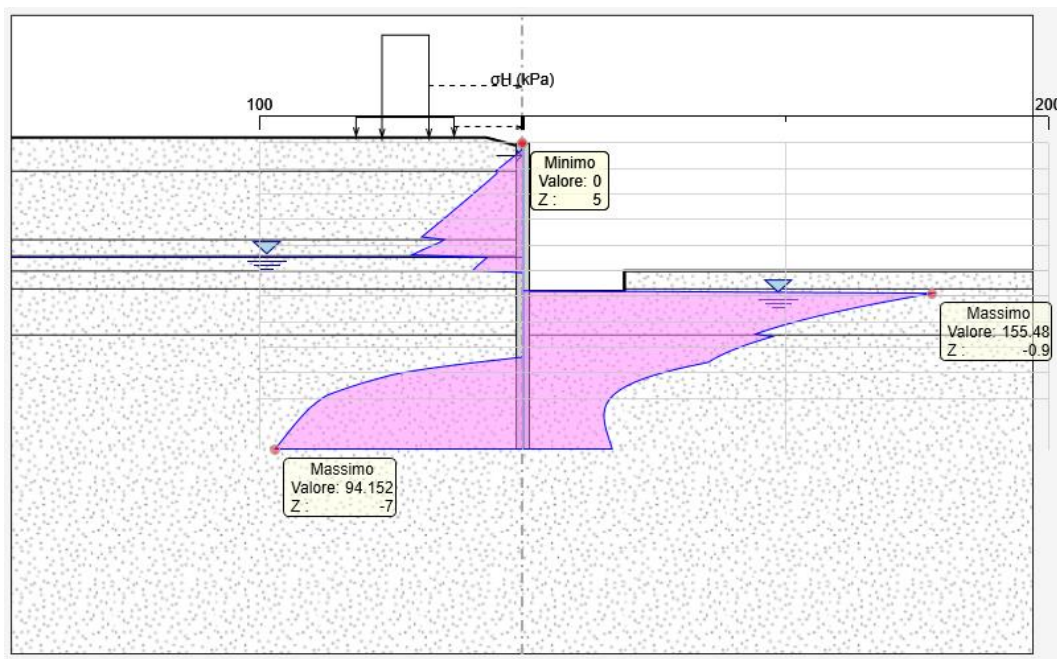
G.5 Risultati

I calcoli sono riportati in forma estesa nel Fascicolo di Calcolo, nel seguito si descrivono i risultati principali.

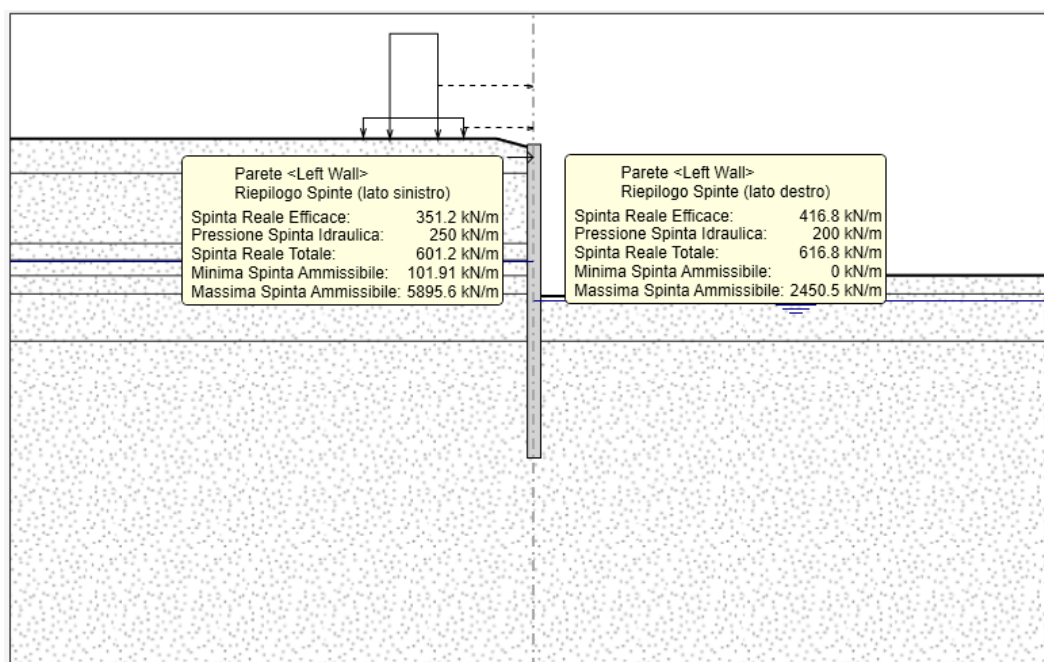
I risultati si riferiscono alla condizione di assenza di filtrazione.

G.6.9 SLU (A2+M2+R1) – terreno

Tensioni geostatiche orizzontali



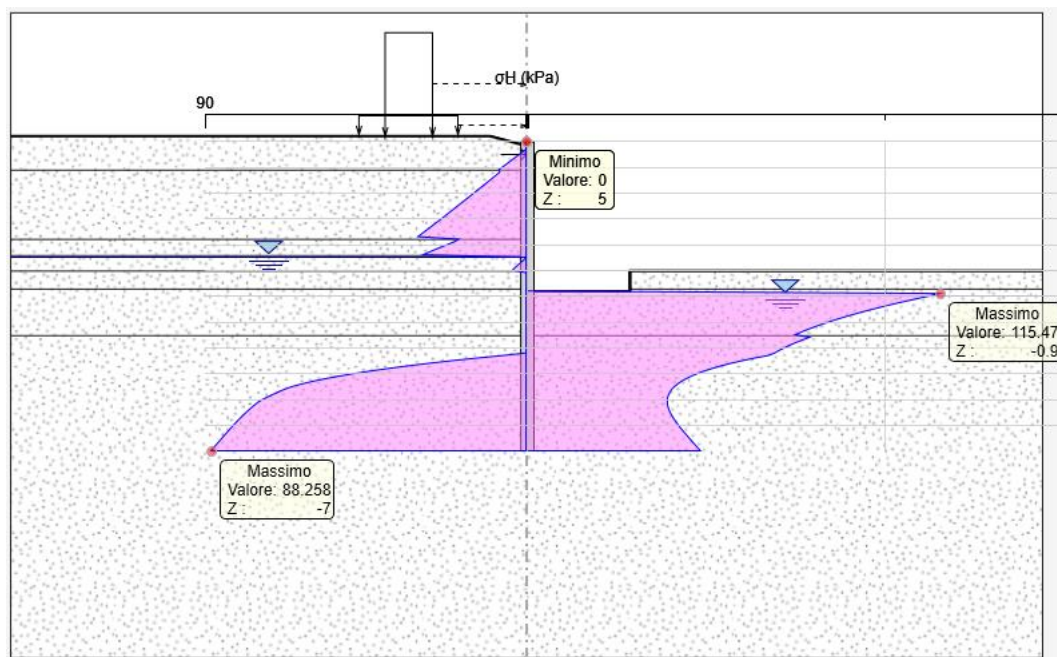
Spinte del terreno



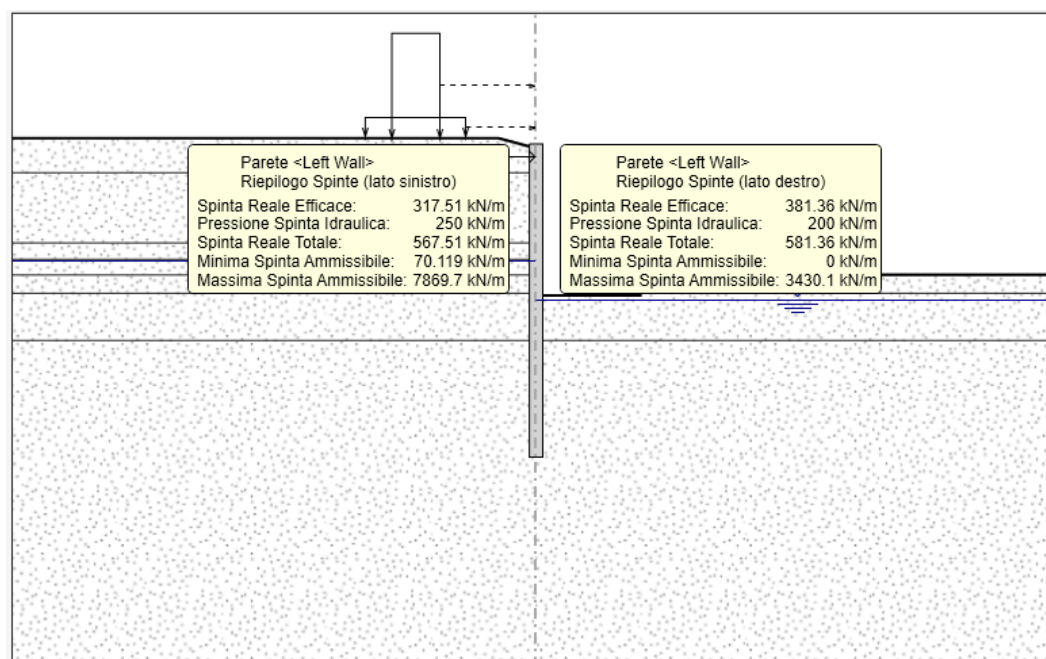
L'equilibrio delle spinte del terreno è soddisfatto, essendo le spinte agenti inferiori a quelle massime ammissibili, sia nel lato monte che nel lato valle.

G.6.10SLU (A1+M1+R1) – parete

Tensioni geostatiche orizzontali

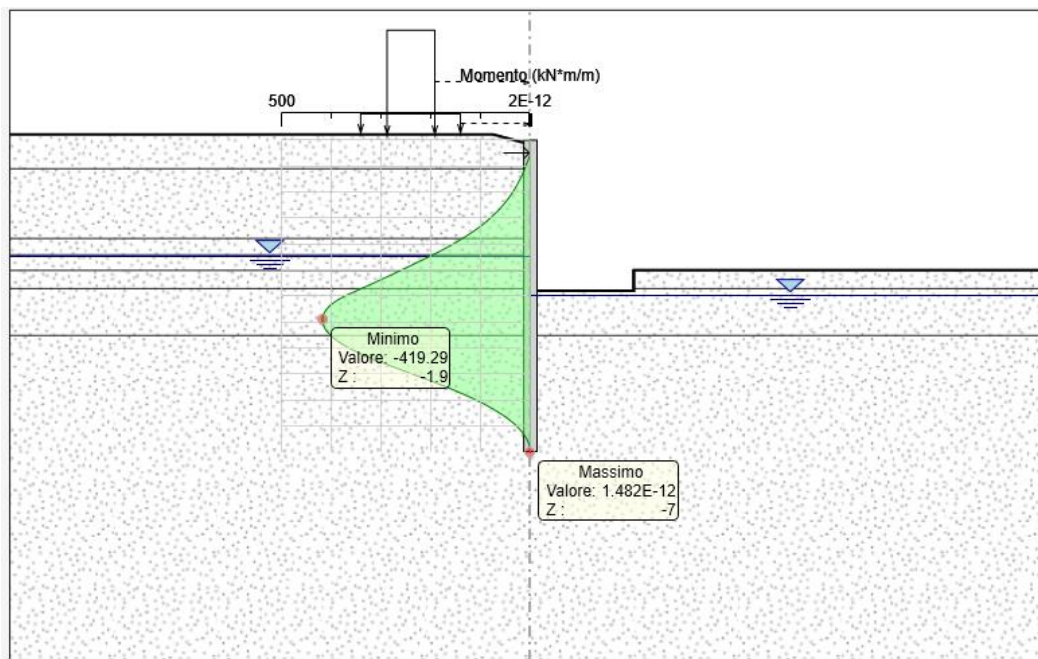


Spinte del terreno

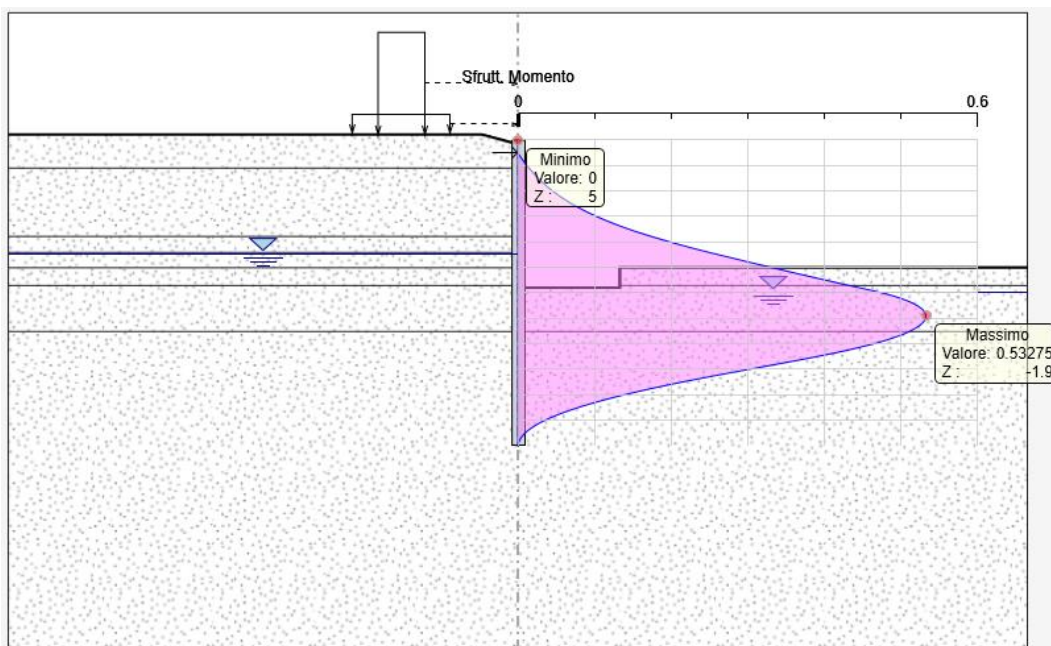


L'equilibrio delle spinte del terreno è soddisfatto, essendo le spinte agenti inferiori a quelle massime ammissibili, sia nel lato monte che nel lato valle.

Momento sollecitante



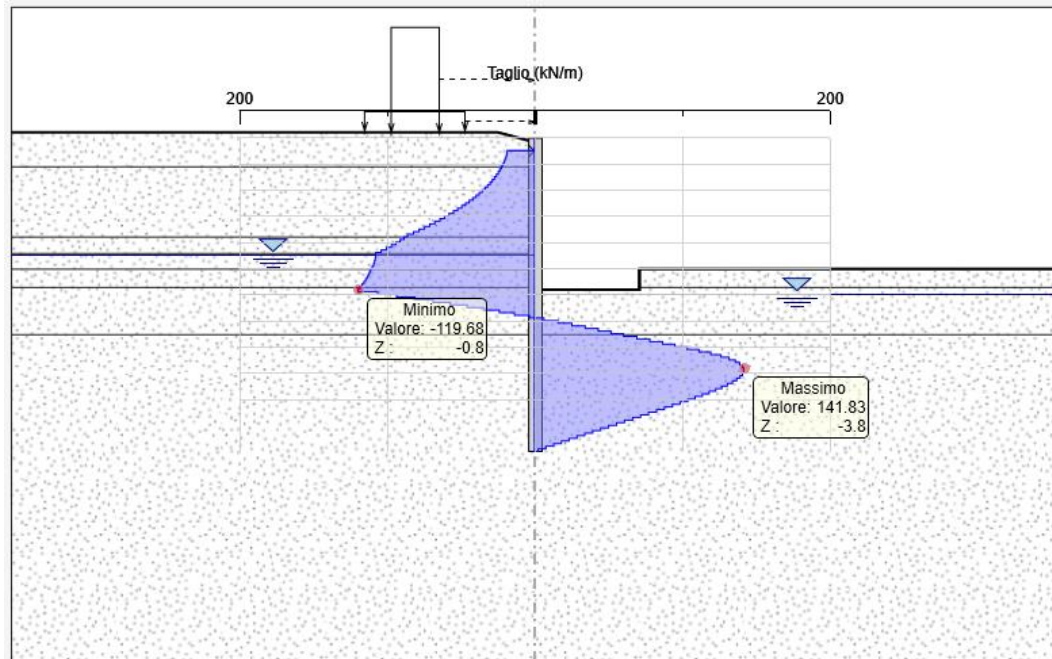
Tasso sfruttamento a MOMENTO



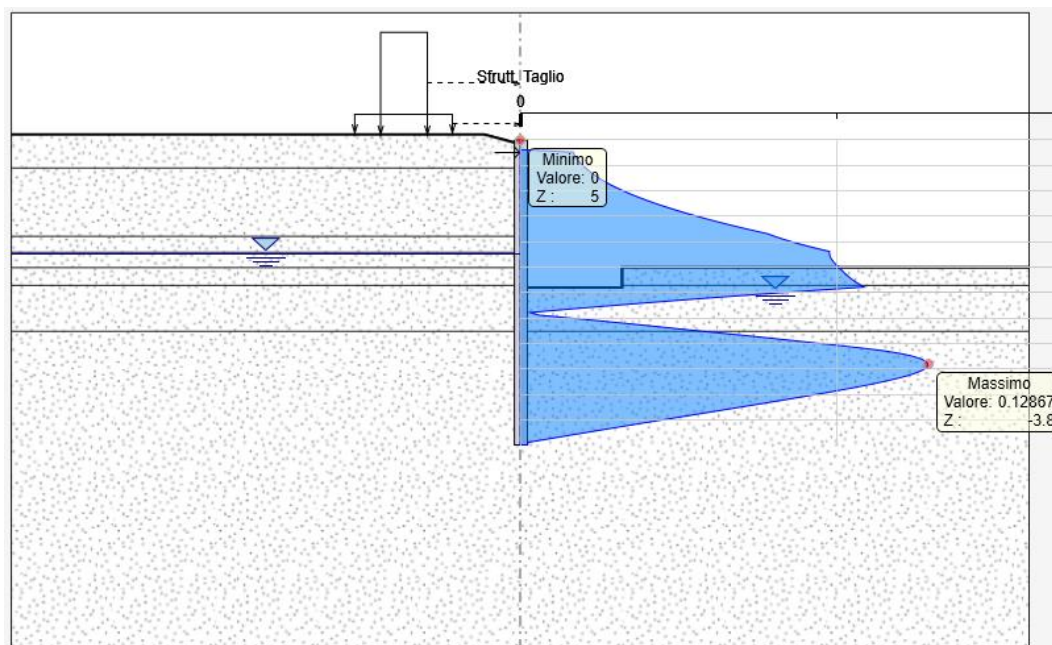
Il tasso di sfruttamento massimo è 0.53.

La verifica è soddisfatta.

Taglio sollecitante



Tasso sfruttamento a TAGLIO

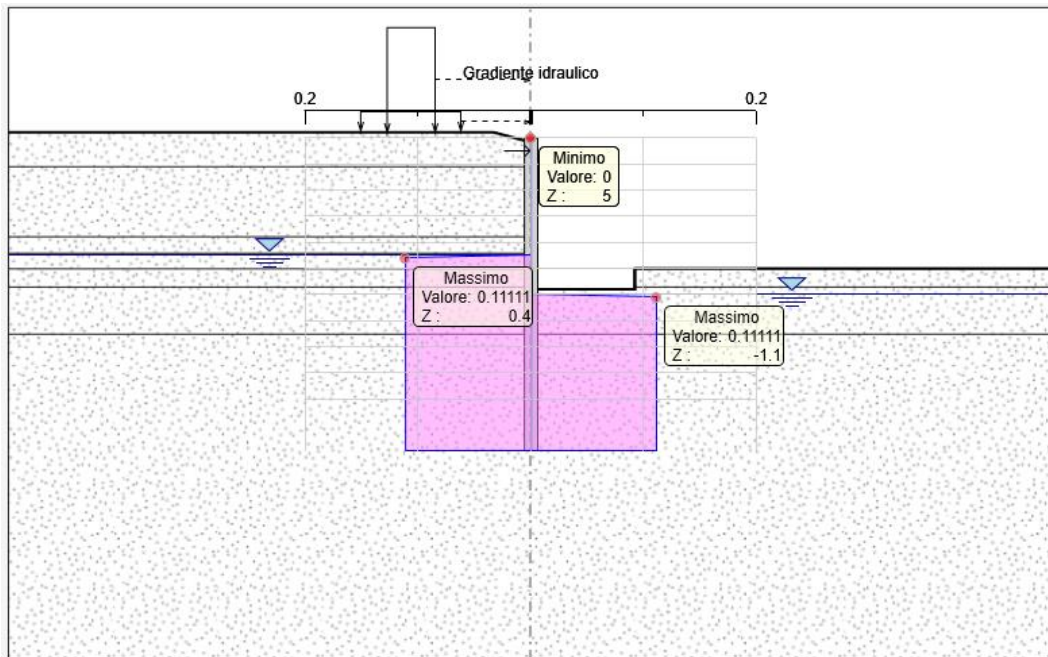


Il tasso di sfruttamento massimo è 0.13.

La verifica è soddisfatta.

G.6.11SLU idraulico – Sifonamento e sollevamento del fondo scavo

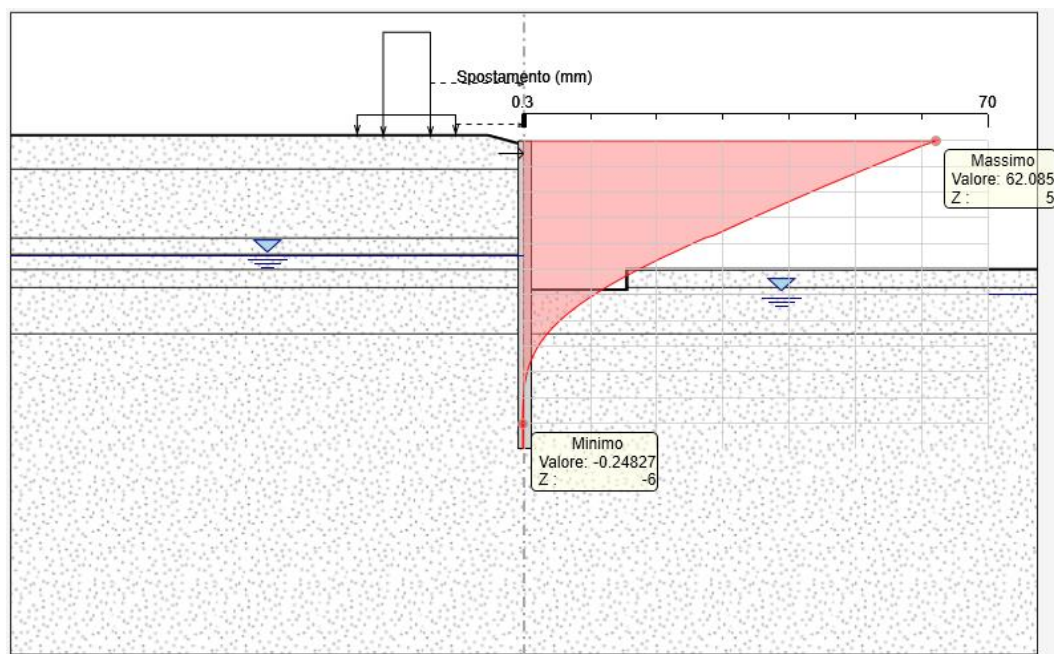
Gradiente idraulico di efflusso – valore medio



Considerando che le dissipazioni del carico piezometrico avvengono negli strati D ed E, con caratteristiche simili, si svolgono verifiche semplificate e cautelative:

- Dislivello piezometrico: $h_w = 1.5 \text{ m}$
- Lunghezza d'infissione della paratia: $D = 6.2 \text{ m}$
- Peso specifico del terreno: $\gamma = 21 \text{ kg/m}^3$
- Gradiente di efflusso medio: $i_E = 0.11 \text{ m}$
- Gradiente critico: $i_c = \gamma' / \gamma_w = (21 - 10) / 10 = 1.1$
- **Fattore di sicurezza a sifonamento: $i_c / i_E = 10$**
- Altezza di sovrappressione al piede: $H_c = h_w / 2 = 1.5 / 2 = 0.75 \text{ m}$
- **Fattore di sic. sollevamento fondo-scavo: $\frac{(\gamma' * D)}{(\gamma_w * H_c)} = \frac{((21-10)*6.2)}{(10*0.75)} = 9.1$**

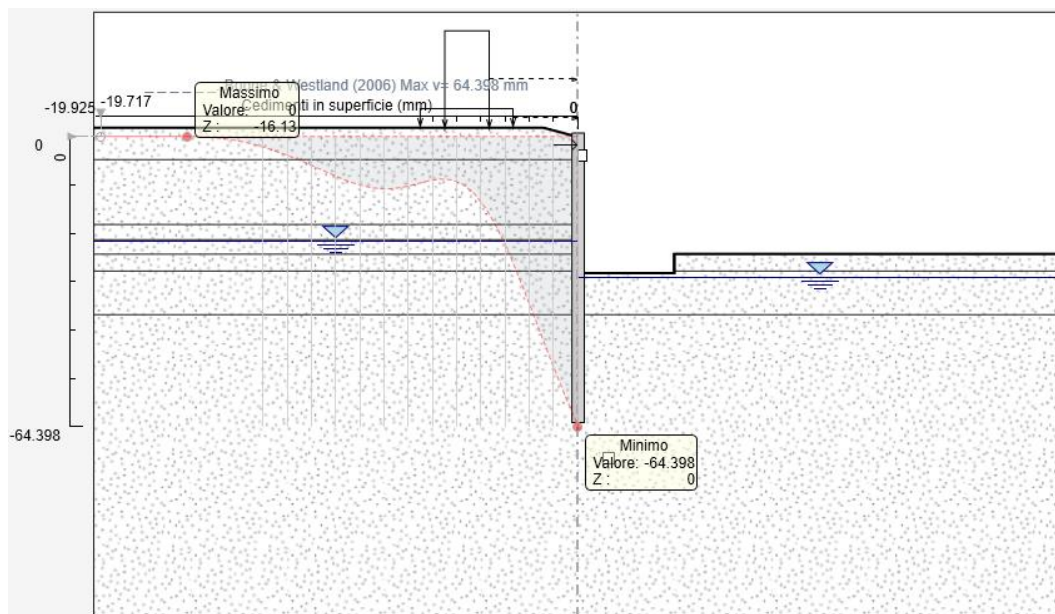
G.6.12SLE – spostamenti orizzontali paratia



Le deformazioni della parete sono valutate per la condizione di carico di tipo RARA. Lo spostamento massimo in condizioni di esercizio avviene in sommità alla palanca, ed è pari a circa 62 mm (1% dell'altezza fuori terra).

Il campo di spostamenti orizzontali si considera accettabile in relazione all'opera in oggetto ed al suo carattere provvisorio.

G.6.13SLE – cedimenti verticali terrapieno



I cedimenti verticali sono stati calcolati mediante il metodo di Boone & Westland (2006), per la condizione di carico di tipo RARA.

Il cedimento massimo di circa 64 mm avviene in prossimità della palancola e decrescono allontanandosi dalla stessa. In corrispondenza del binario si osserva un cedimento verticale di circa 10 mm.

Il campo di cedimenti verticali si considera accettabile in relazione all'opera in oggetto ed al suo carattere provvisorio.

G.7 Stabilità globale terreno-opera

G.7.14 Metodologia di analisi e verifica

I parametri di calcolo sono i seguenti:

- Metodo di analisi: Bishop
- Passo dei conci: 0.2 m
- Opera di sostegno considerata solo come vincolo geometrico
- Superfici critiche ricercate su una griglia opportunamente disposta
- Offset da topline per raggio minimo: 0.5m

Le verifiche sono state condotte:

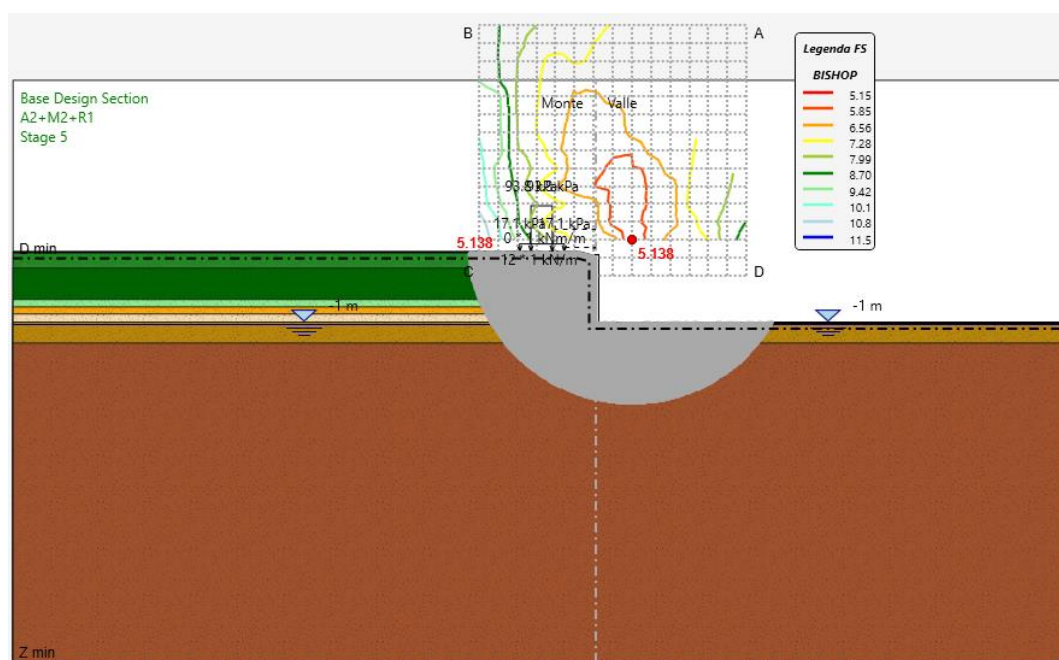
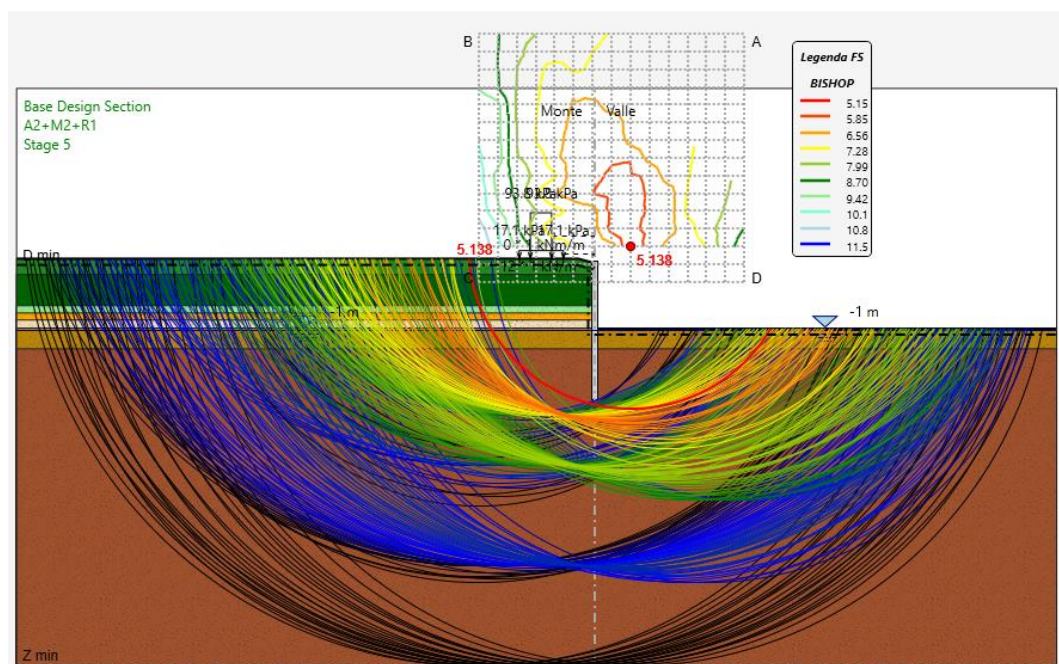
- In ambiente statico (SLU), combinazione A2+M2+R2

G.7.15 Risultati

Le verifiche sono state condotte con riferimento allo schema di calcolo esposto in §G.1.2, considerando quindi anche il carico ferroviario per la stabilità globale dell'insieme terreno-opera.

Le verifiche risultano tutte soddisfatte in quanto l'opera di sostegno, grazie all'infissione nel terreno per circa 6.2 m, vincola la formazione delle superfici di rottura in modo tale da coinvolgere una porzione significativa di terreno e, in particolare, gli strati più profondi che presentano caratteristiche geotecniche migliori.

Statica (A2+M2+R2)



Il coefficiente di sicurezza minimo è 5.14, maggiore di 1.1; la verifica di stabilità globale è soddisfatta.

H. SCARPATE

H.1 Metodologia di analisi e verifica

L'analisi di stabilità globale del fronte scavo delle scarpate si riferisce alla stratigrafia riscontrata in corrispondenza del muro #1, in quanto considerata più significativa.

Il profilo del fronte scavo considera la geometria della scarpata durante la fase di scavo precedente alla realizzazione del muro, dove la quota inferiore della scarpata corrisponde all'intradosso del filo interno della ciabatta del muro. L'inclinazione della scarpata è a 15° per gli strati O1 e O2 ed a 45° per gli tutti strati inferiori.

Le verifiche di stabilità considerano superfici di rottura circolari individuate su un'opportuna maglia dei centri. Le azioni di progetto includono anche l'azione sismica, nonché la falda posta alla quota riscontrata nelle letture piezometriche. Non essendo presenti carichi variabili e permanenti non strutturali, i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono gli stessi sia per l'ambiente statico che sismico (comb. A2+M2+R2, dove A2 sono già di per sé unitari per i permanenti strutturali). Di conseguenza, si eseguono solamente le analisi in ambiente sismico, in quanto più significative. Inoltre, le verifiche sono condotte sia in condizioni drenate, ossia a lungo termine, che in condizioni non drenate, ossia a breve termine.

Si precisa che i risultati ottenuti con la presente analisi sono stati applicati sia alla configurazione provvisoria dei fronti scavo che alla configurazione finale. Difatti, le problematiche maggiori si riscontrano negli strati di ripoto superiori, ossia O1 e O2, dove si manifestano le superfici di rottura a fattore di sicurezza minore. Tali strati sono anche quelli presenti al di sopra della quota della sommità delle opere di sostegno, e che pertanto costituiscono le scarpate non protette da opere di contenimento nella configurazione permanente dell'opera, per le quali diventa rilevante anche l'azione sismica.

H.2 Parametri di calcolo

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,46453/11,87003
Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	7,0
Numero dei conci	50,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	8,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	30,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	25,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	75,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45,0	0,62	2,52	0,27
S.L.D.	75,0	0,76	2,52	0,28
S.L.V.	712,0	1,78	2,43	0,3
S.L.C.	1462,0	2,19	2,44	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe III
--------	------------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,62	1,0	0,0632	0,0316
S.L.D.	0,76	0,47	0,0364	0,0182
S.L.V.	1,78	0,38	0,069	0,0345
S.L.C.	2,19	1,0	0,2233	0,1117

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,052

Coefficiente azione sismica verticale 0,026

Coefficienti parziali azioni	(sismico)		(statico)	
Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0	1,0	1,3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0	1,0	0,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

H.3 Schema di calcolo

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)	
1	0,0	0,0	
2	15,0	0,0	
3	19,25	4,25	
4	21,53	4,86	
5	30,82	7,34	
6	50,0	7,34	

Falda

Nr.	X (m)	y (m)	
1	0,0	0,0	
2	15,0	0,0	
3	18,28	3,28	
4	50,0	3,28	

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	0,0	
2	15,0	0,0	
3	19,25	4,25	
4	21,53	4,86	
5	28,0	4,86	
6	50,0	4,86	

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	0,0	
2	15,0	0,0	
3	19,25	4,25	
4	22,0	4,25	
5	50,0	4,25	

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	0,0	
2	15,0	0,0	
3	18,28	3,28	
4	50,0	3,28	

Vertici strato4

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	15,0	0,0
3	17,28	2,28
4	50,0	2,28

Vertici strato5

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,62
2	15,0	-0,62
3	18,18	-0,62
4	50,0	-0,62

Vertici strato6

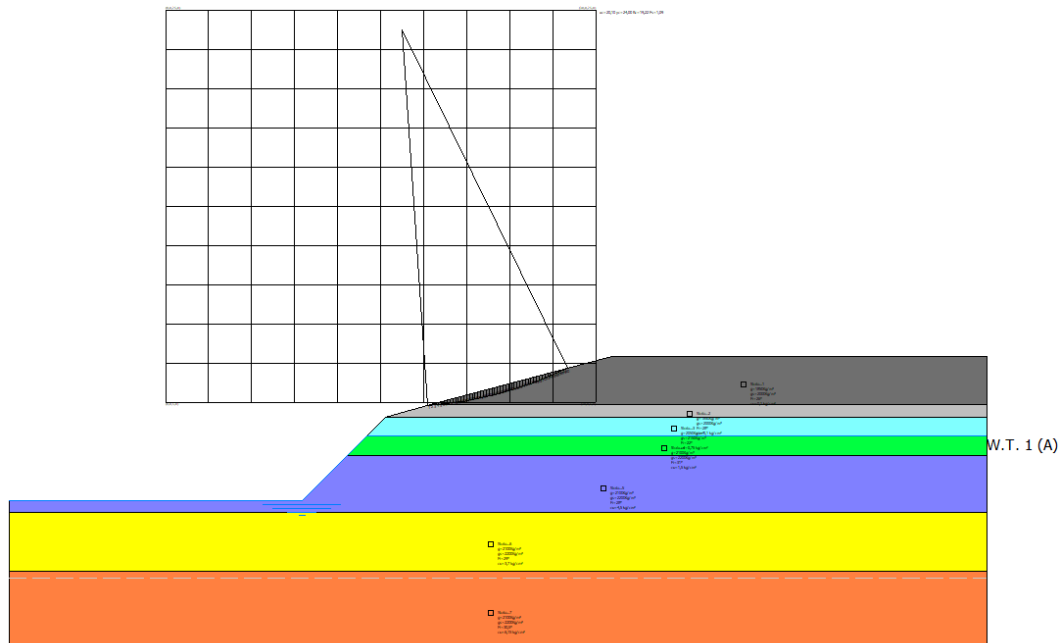
N	X (m)	y (m)
1	0,0	-3,62
2	15,0	-3,62
3	15,28	-3,62
4	50,0	-3,62

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)
1	0	0,1	26	1850	2000
2	0	0,1	28	1850	2000
3	0,15	0,75	22	2050	2150
4	0,3	1,5	31	2100	2200
5	0,9	4,5	28	2100	2200
6	0,74	3,7	29	2100	2200
7	1,23	6,15	30,5	2100	2200



Sezione di calcolo



H.4 Risultati analisi in condizioni drenate

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

Fs minimo individuato	1,09
Ascissa centro superficie	20,1 m
Ordinata centro superficie	24,0 m
Raggio superficie	19,22 m

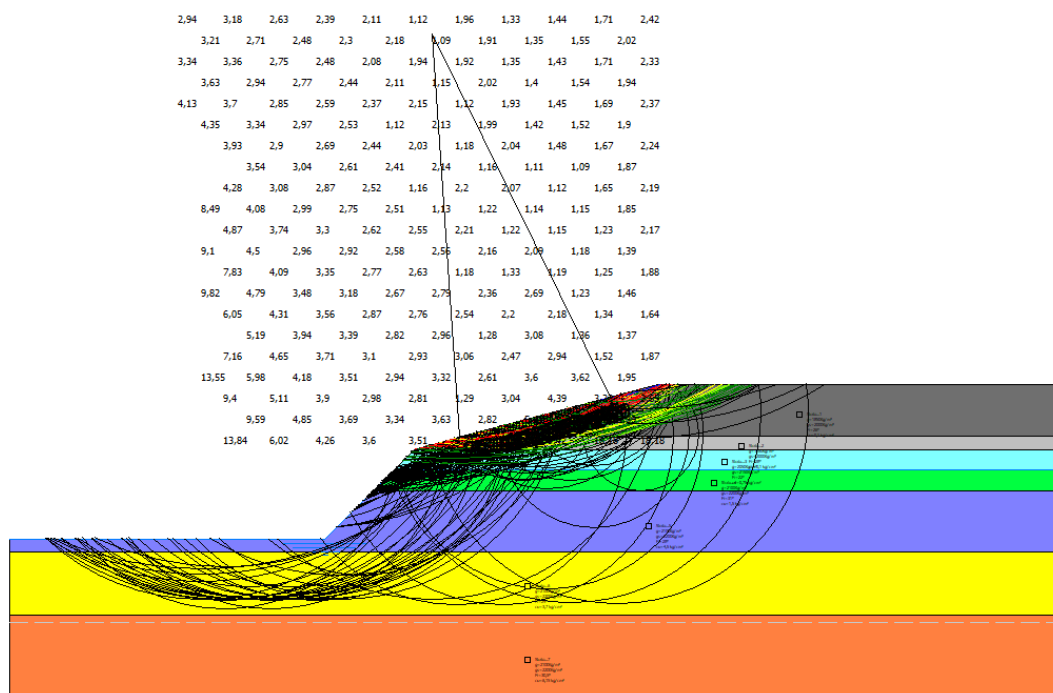
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 20,10 yc = 24,00 Rc = 19,219 Fs=1,089

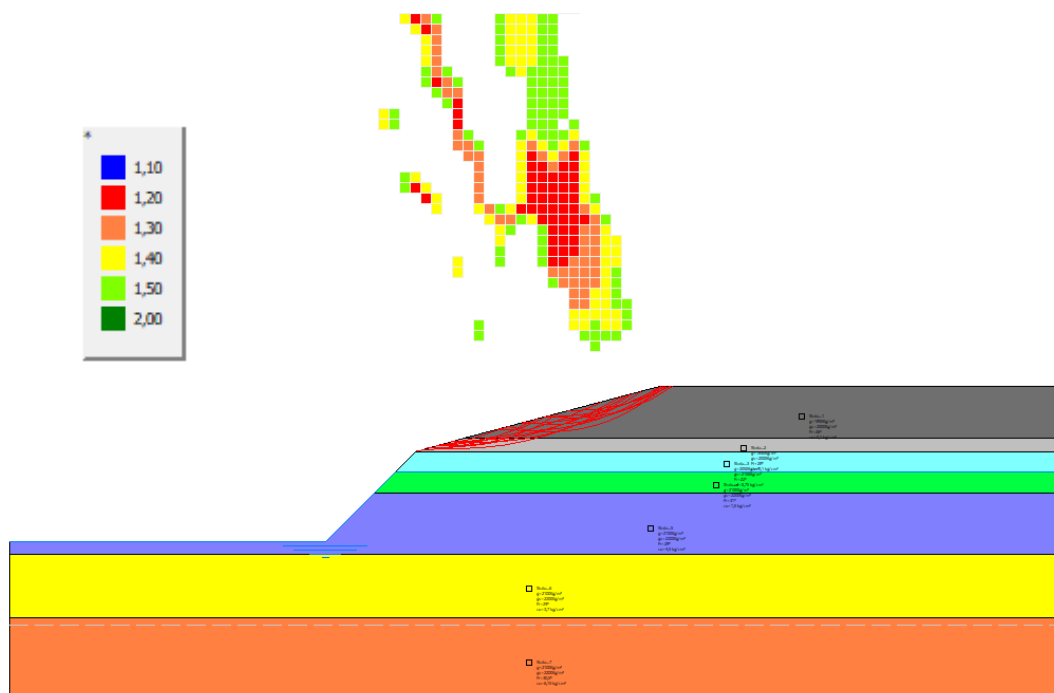
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,13	4,1	0,13	3,11	0,16	0,08	0,0	23,0	0,0	3,0	1,1
2	0,16	4,5	0,16	11,62	0,6	0,3	0,0	23,0	0,0	11,3	4,0
3	0,14	4,9	0,14	17,94	0,93	0,47	0,0	23,0	0,0	17,5	6,2
4	0,14	5,4	0,14	24,6	1,28	0,64	0,0	21,3	0,0	24,0	7,8
5	0,14	5,8	0,14	30,99	1,61	0,81	0,0	21,3	0,0	30,1	9,8
6	0,14	6,2	0,14	37,08	1,93	0,96	0,0	21,3	0,0	36,0	11,7
7	0,14	6,6	0,14	42,89	2,23	1,12	0,0	21,3	0,0	41,6	13,5
8	0,14	7,1	0,14	48,42	2,52	1,26	0,0	21,3	0,0	46,9	15,3
9	0,14	7,5	0,14	53,66	2,79	1,4	0,0	21,3	0,0	51,9	16,9
10	0,14	7,9	0,14	58,62	3,05	1,52	0,0	21,3	0,0	56,6	18,4
11	0,14	8,4	0,14	63,28	3,29	1,65	0,0	21,3	0,0	61,0	19,9
12	0,14	8,8	0,14	67,66	3,52	1,76	0,0	21,3	0,0	65,2	21,2
13	0,14	9,2	0,14	71,74	3,73	1,87	0,0	21,3	0,0	69,0	22,5
14	0,14	9,7	0,14	75,54	3,93	1,96	0,0	21,3	0,0	72,6	23,6
15	0,14	10,1	0,14	79,04	4,11	2,06	0,0	21,3	0,0	75,9	24,7
16	0,14	10,5	0,15	82,25	4,28	2,14	0,0	21,3	0,0	78,9	25,7
17	0,14	11,0	0,15	85,17	4,43	2,21	0,0	21,3	0,0	81,6	26,6
18	0,14	11,4	0,15	87,78	4,56	2,28	0,0	21,3	0,0	84,0	27,4
19	0,14	11,8	0,15	90,11	4,69	2,34	0,0	21,3	0,0	86,2	28,1
20	0,14	12,3	0,15	92,13	4,79	2,4	0,0	21,3	0,0	88,1	28,7
21	0,14	12,7	0,15	93,85	4,88	2,44	0,0	21,3	0,0	89,6	29,2
22	0,14	13,1	0,15	95,28	4,95	2,48	0,0	21,3	0,0	90,9	29,6
23	0,14	13,6	0,15	96,4	5,01	2,51	0,0	21,3	0,0	91,9	29,9
24	0,14	14,0	0,15	97,21	5,05	2,53	0,0	21,3	0,0	92,7	30,2
25	0,14	14,4	0,15	97,72	5,08	2,54	0,0	21,3	0,0	93,1	30,3
26	0,14	14,9	0,15	97,92	5,09	2,55	0,0	21,3	0,0	93,2	30,4
27	0,14	15,3	0,15	97,81	5,09	2,54	0,0	21,3	0,0	93,1	30,3
28	0,14	15,8	0,15	97,38	5,06	2,53	0,0	21,3	0,0	92,7	30,2
29	0,14	16,2	0,15	96,65	5,03	2,51	0,0	21,3	0,0	91,9	29,9
30	0,14	16,6	0,15	95,59	4,97	2,49	0,0	21,3	0,0	90,9	29,6
31	0,14	17,1	0,15	94,22	4,9	2,45	0,0	21,3	0,0	89,6	29,2
32	0,14	17,5	0,15	92,53	4,81	2,41	0,0	21,3	0,0	88,0	28,7
33	0,14	18,0	0,15	90,52	4,71	2,35	0,0	21,3	0,0	86,1	28,0
34	0,14	18,4	0,15	88,18	4,59	2,29	0,0	21,3	0,0	83,8	27,3
35	0,14	18,9	0,15	85,51	4,45	2,22	0,0	21,3	0,0	81,3	26,5
36	0,14	19,3	0,15	82,51	4,29	2,15	0,0	21,3	0,0	78,5	25,6
37	0,14	19,8	0,15	79,18	4,12	2,06	0,0	21,3	0,0	75,3	24,5
38	0,14	20,2	0,15	75,51	3,93	1,96	0,0	21,3	0,0	71,9	23,4
39	0,14	20,7	0,15	71,51	3,72	1,86	0,0	21,3	0,0	68,1	22,2
40	0,14	21,1	0,15	67,16	3,49	1,75	0,0	21,3	0,0	64,0	20,8

41	0,14	21,6	0,15	62,47	3,25	1,62	0,0	21,3	0,0	59,5	19,4
42	0,14	22,1	0,15	57,43	2,99	1,49	0,0	21,3	0,0	54,7	17,8
43	0,14	22,5	0,15	52,03	2,71	1,35	0,0	21,3	0,0	49,6	16,2
44	0,14	23,0	0,16	46,28	2,41	1,2	0,0	21,3	0,0	44,2	14,4
45	0,14	23,4	0,16	40,18	2,09	1,04	0,0	21,3	0,0	38,4	12,5
46	0,14	23,9	0,16	33,71	1,75	0,88	0,0	21,3	0,0	32,2	10,5
47	0,14	24,4	0,16	26,87	1,4	0,7	0,0	21,3	0,0	25,7	8,4
48	0,14	24,8	0,16	19,66	1,02	0,51	0,0	21,3	0,0	18,8	6,1
49	0,14	25,3	0,16	12,08	0,63	0,31	0,0	21,3	0,0	11,6	3,8
50	0,14	25,8	0,16	4,12	0,21	0,11	0,0	21,3	0,0	4,0	1,3

Superfici calcolate



Mappatura dei fattori di sicurezza e superfici a fattore minore



H.5 Risultati analisi in condizioni non drenate

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

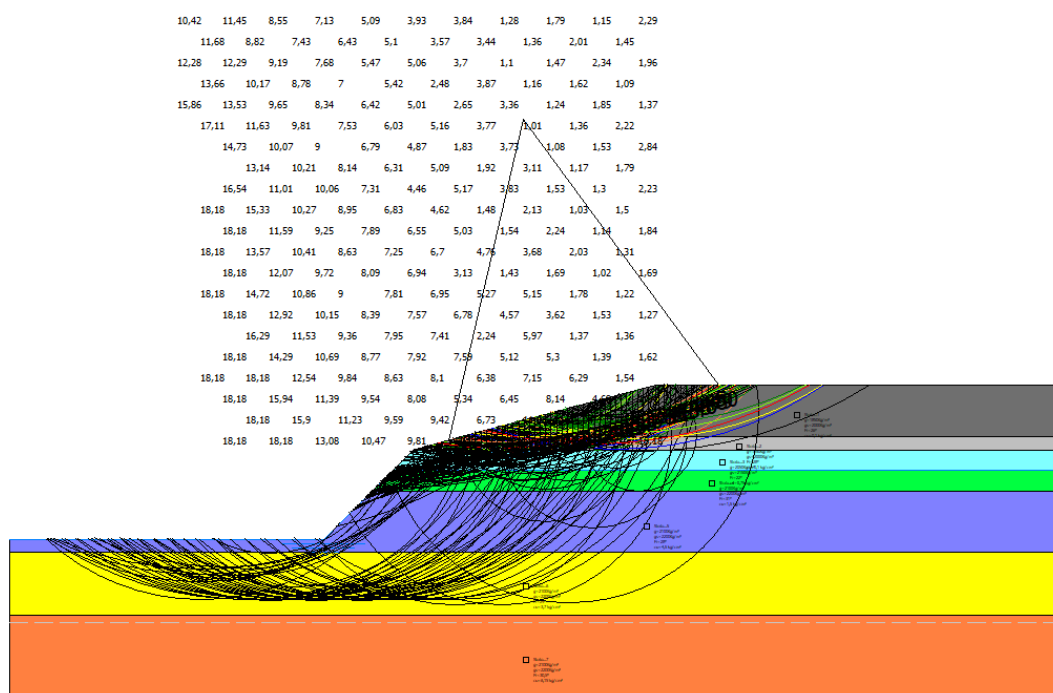
Fs minimo individuato	1,01
Ascissa centro superficie	24,5 m
Ordinata centro superficie	20,0 m
Raggio superficie	15,71 m

xc = 24,50 yc = 20,00 Rc = 15,712 Fs=1,012

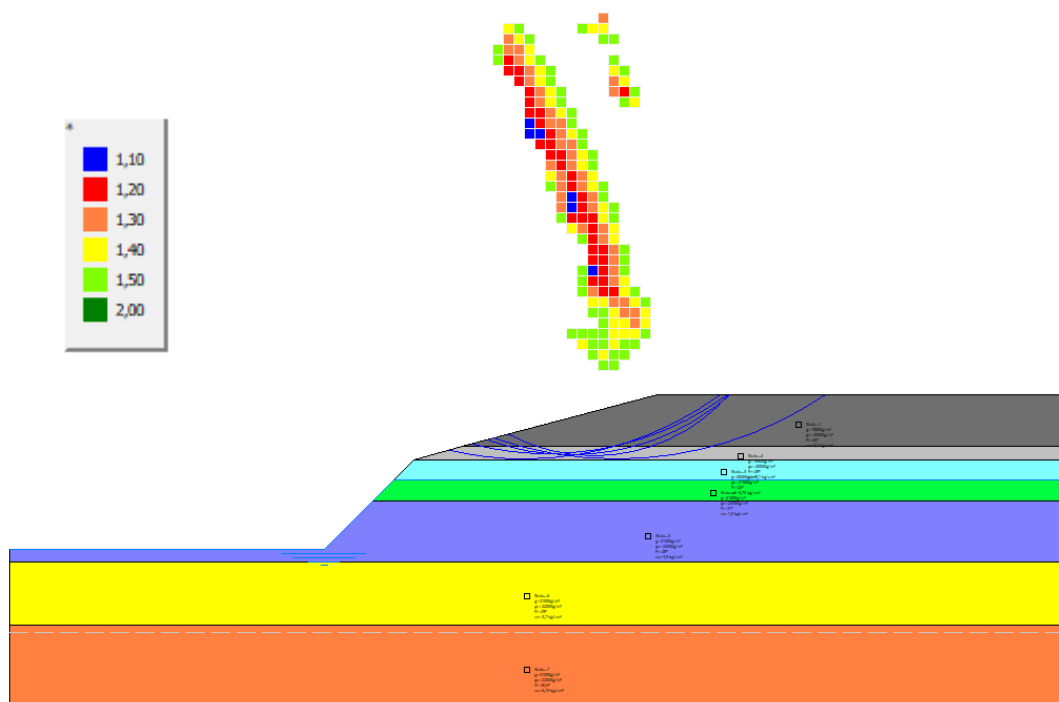
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,26	-12,7	0,26	32,98	1,72	0,86	0,07	0,0	0,0	71,9	169,5
2	0,34	-11,5	0,35	142,53	7,41	3,71	0,07	0,0	0,0	191,2	223,8
3	0,17	-10,6	0,18	113,79	5,92	2,96	0,07	0,0	0,0	136,9	113,3
4	0,26	-9,8	0,26	218,53	11,36	5,68	0,07	0,0	0,0	250,7	167,8
5	0,26	-8,8	0,26	275,71	14,34	7,17	0,07	0,0	0,0	305,0	167,3
6	0,26	-7,9	0,26	330,64	17,19	8,6	0,07	0,0	0,0	356,9	166,9
7	0,26	-6,9	0,26	383,33	19,93	9,97	0,07	0,0	0,0	406,4	166,6
8	0,26	-6,0	0,26	433,8	22,56	11,28	0,07	0,0	0,0	453,7	166,3
9	0,26	-5,1	0,26	482,06	25,07	12,53	0,07	0,0	0,0	498,6	166,0
10	0,26	-4,1	0,26	528,11	27,46	13,73	0,07	0,0	0,0	541,4	165,8
11	0,26	-3,2	0,26	571,98	29,74	14,87	0,07	0,0	0,0	582,0	165,6
12	0,26	-2,2	0,26	613,65	31,91	15,95	0,07	0,0	0,0	620,6	165,5
13	0,26	-1,3	0,26	653,14	33,96	16,98	0,07	0,0	0,0	657,0	165,4
14	0,26	-0,3	0,26	690,47	35,9	17,95	0,07	0,0	0,0	691,5	165,3
15	0,26	0,6	0,26	725,6	37,73	18,87	0,07	0,0	0,0	723,9	165,4
16	0,26	1,5	0,26	758,58	39,45	19,72	0,07	0,0	0,0	754,4	165,4
17	0,26	2,5	0,26	789,36	41,05	20,52	0,07	0,0	0,0	783,0	165,5
18	0,26	3,4	0,26	817,97	42,53	21,27	0,07	0,0	0,0	809,6	165,6
19	0,26	4,4	0,26	844,39	43,91	21,95	0,07	0,0	0,0	834,2	165,8
20	0,26	5,3	0,26	868,61	45,17	22,58	0,07	0,0	0,0	856,9	166,1
21	0,26	6,2	0,26	890,64	46,31	23,16	0,07	0,0	0,0	877,8	166,3
22	0,26	7,2	0,26	910,44	47,34	23,67	0,07	0,0	0,0	896,6	166,7
23	0,26	8,1	0,26	928,03	48,26	24,13	0,07	0,0	0,0	913,6	167,0
24	0,26	9,1	0,26	943,36	49,05	24,53	0,07	0,0	0,0	928,6	167,4
25	0,26	10,0	0,26	956,44	49,73	24,87	0,07	0,0	0,0	941,6	167,9
26	0,26	11,0	0,26	967,23	50,3	25,15	0,07	0,0	0,0	952,6	168,4
27	0,26	11,9	0,26	975,73	50,74	25,37	0,07	0,0	0,0	961,6	169,0
28	0,26	12,9	0,26	981,91	51,06	25,53	0,07	0,0	0,0	968,5	169,6
29	0,26	13,9	0,27	985,73	51,26	25,63	0,07	0,0	0,0	973,3	170,3
30	0,26	14,8	0,27	987,19	51,33	25,67	0,07	0,0	0,0	975,9	171,1
31	0,26	15,8	0,27	986,22	51,28	25,64	0,07	0,0	0,0	976,4	171,9
32	0,26	16,8	0,27	982,82	51,11	25,55	0,07	0,0	0,0	974,5	172,7
33	0,26	17,8	0,27	976,94	50,8	25,4	0,07	0,0	0,0	970,3	173,6
34	0,26	18,8	0,27	968,53	50,36	25,18	0,07	0,0	0,0	963,6	174,6
35	0,26	19,8	0,27	957,57	49,79	24,9	0,07	0,0	0,0	954,4	175,7
36	0,26	20,8	0,28	943,99	49,09	24,54	0,07	0,0	0,0	942,5	176,8
37	0,26	21,8	0,28	927,76	48,24	24,12	0,07	0,0	0,0	927,9	178,1
38	0,36	23,0	0,39	1263,11	65,68	32,84	0,07	0,0	0,0	1265,7	250,8
39	0,16	24,0	0,17	526,4	27,37	13,69	0,07	0,0	0,0	527,6	109,3
40	0,26	24,8	0,28	823,4	42,82	21,41	0,07	0,0	0,0	823,0	182,2
41	0,26	25,9	0,29	760,49	39,55	19,77	0,07	0,0	0,0	756,1	183,8
42	0,26	26,9	0,29	694,6	36,12	18,06	0,07	0,0	0,0	684,9	185,5

43	0,26	28,0	0,29	625,63	32,53	16,27	0,07	0,0	0,0	609,0	187,3
44	0,26	29,1	0,29	553,51	28,78	14,39	0,07	0,0	0,0	528,1	189,2
45	0,26	30,1	0,3	478,13	24,86	12,43	0,07	0,0	0,0	441,9	191,2
46	0,26	31,2	0,3	399,38	20,77	10,38	0,07	0,0	0,0	349,8	193,4
47	0,26	32,3	0,3	317,15	16,49	8,25	0,07	0,0	0,0	251,5	195,7
48	0,26	33,5	0,31	231,32	12,03	6,01	0,07	0,0	0,0	146,3	198,2
49	0,26	34,6	0,31	141,74	7,37	3,69	0,07	0,0	0,0	33,7	200,8
50	0,26	35,7	0,32	48,25	2,51	1,25	0,07	0,0	0,0	-87,1	203,7

Superfici calcolate



Mappatura dei fattori di sicurezza e superfici a fattore minore



H.6 Considerazioni

Come riscontrato dall'osservazione delle immagini delle superfici di rottura a fattore di sicurezza minore, le porzioni di terreno meno stabili interessano gli strati superficiali O1 e O2.

Le relative superfici di rottura sono piuttosto superficiali nel caso di condizioni drenate e con fattore di sicurezza minimo 1.09.

Invece, le rotture sono più profonde nel caso di condizioni non drenate, con fattore di sicurezza minimo 1.01, seppur sempre confinate negli strati O1 e O2.

In definitiva, sulla base della geometria della sezione di calcolo e dei parametri geotecnici del terreno, si conclude che la stabilità dei fronti scavo si ottiene realizzando scavi con inclinazione sull'orizzontale di 15° per gli strati superficiali O1 e O2 e di 45° per tutti gli altri strati più profondi.

L'inclinazione di 15° degli strati O1 e O2 garantisce la stabilità dei fronti scavo anche in configurazioni permanenti per le scarpate non protette da opere di contenimento, dato che tale inclinazione è verificata anche in condizioni sismiche.