

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3A)**

**GA05 - Galleria Artificiale**

*Relazione di calcolo delle Opere Provisionali*

SCALA:

-

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    PROGR.    REV.

**RS3T    30    D    09    CL    GA0503    001    B**

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	G. Grimaldi	Gen. 2020	M.D'effremo	Gen. 2020	A.Barreca	Gen. 2020	A. Vitozzi
B	1° agg. a consegna CSLPP	G. Grimaldi	Mag. 2020	G.Meneschincheri	Mag. 2020	A.Barreca	Mag. 2020	M. Vitozzi

**ITALFERR S.p.A.**  
**U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti**  
**Dott. Ing. Angelo Vitozzi**  
**Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma**  
**N° A20783**

File: [RS3T30D09CLGA0503001B.doc](#)

n. Elab.: **09\_480**

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	2 di 41

## INDICE

1.	PREMESSA .....	4
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	6
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	7
3.1	ACCIAIO .....	7
3.1.1	Acciaio per armatura strutture in c.a. ....	7
3.1.2	Profilati e piastre metalliche .....	7
3.2	CALCESTRUZZO .....	7
3.2.1	Calcestruzzo magro per getti di livellamento .....	7
3.2.2	Calcestruzzo pali, diaframmi di fondazione, cordoli opere provvisionali.....	7
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	8
4.1	TERRENO .....	8
5.	CRITERI GENERALI DI MODELLAZIONE ADOTTATI .....	9
5.1	METODOLOGIA DI CALCOLO .....	9
6.	CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA AI SENSI DEL D.M. 17-01-2019 .....	13
6.1	METODO AGLI STATI LIMITE ED APPROCCI DI PROGETTO.....	13
6.2	CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DELLE PARATIE .....	18
6.3	MODELLO GEOMETRICO DI RIFERIMENTO .....	19
7.	ANALISI DELLE OPERE PROVVISORIALI .....	20
7.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA DI SOSTEGNO .....	20
7.1.1	Sezione di calcolo per scavi in affiancamento alla linea FF SS storica.....	20
8.	RISULTATI E VERIFICHE DELLA PARATIA .....	28
8.1	RISULTATI (COMBINAZIONE SLE) .....	28
8.2	RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR PARATIA DI PALI (COMBINAZIONE A1+M1+R1).....	29

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisoriale</i>	<b>RS3T</b>	<b>30</b>	<b>D09CL</b>	<b>GA0503001</b>	<b>B</b>	<b>3 di 41</b>

8.3	VERIFICA SLU-GEO PARATIA DI PALI (COMBINAZIONE A2+M2+R1).....	32
8.4	RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR E SLU-GEO DEL VINCOLO (COMBINAZIONE A1+M1+R1) .....	33
9.	VERIFICA SLU – UPL.....	36
10.	STIMA DEI CEDIMENTI A TERGO DELL’OPERA DI SOSTEGNO (PILA P1) .....	40



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA  
PROGETTO DEFINITIVO  
GA05 – Galleria Artificiale

<i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisorie</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	4 di 41

## 1. **PREMESSA**

Il collegamento ferroviario tra Palermo e Catania fa parte del Corridoio n.5 Helsinki – La Valletta della Rete Trans-Europea di trasporto. Tale corridoio si sviluppa nel territorio siciliano secondo la direttrice Messina-Catania-Enna-Palermo, per consentire di servire i principali nodi urbani dell'isola.

La presente relazione generale descrive lo sviluppo della progettazione preliminare dei lavori riguardanti la prima macrofase funzionale della tratta Lercara Diramazione – Caltanissetta Xirbi, ricompresa tra le stazioni di Lercara dir (inclusa) e Caltanissetta Xirbi (inclusa), dal km 0+000 (coincidente con la pk 76+730 della linea storica Palermo Catania) al km 47+683 (coincidente con la pk 126+412 della linea storica Palermo Catania).

Per la realizzazione delle fondazioni si rendono necessarie in alcuni casi opere provvisorie di contenimento: esse possono essere costituite da palancole metalliche, pali  $\phi$ 500/600mm o micropali puntonate o meno a seconda delle esigenze. Nei casi in cui vengono utilizzati pali, quando la quota falda risulta elevata, si realizza un trattamento colonnare in jet-grouting a tergo della palificata e, ove necessario un tampone di fondo.

Di seguito sono riepilogati i viadotti presenti sul Lotto 3:

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	5 di 41

LINEA DI PROGETTO -LOTTO 3				
LOTTO	WBS	Tipologia opera	pk. Inizio	pk. Fine
LOTTO 3	<b>VI01</b>	Viadotto DB	0+573,90	1+287,54
	<b>VI02</b>	Viadotto DB	1+347,54	1+885,34
	<b>VI03</b>	Viadotto DB	2+549,00	2+566,00
	<b>VI04</b>	Viadotto DB	3+682,33	4+480,13
	<b>VI06</b>	Viadotto SB	18+194,87	18+627,88
	<b>VI07</b>	Viadotto SB	19+453,15	19+661,15
	<b>VI08</b>	Viadotto SB	21+260,78	22+040,23
	<b>VI09</b>	Viadotto SB	22+360,78	22+509,06
	<b>VI10</b>	Viadotto SB	22+586,08	23+159,80
	<b>VI11</b>	Viadotto SB	23+335,51	24+219,68
	<b>VI12</b>	Viadotto SB	26+434,99	27+933,70
	<b>VI13</b>	Viadotto SB	34+729,32	34+827,27
	<b>VI14</b>	Viadotto SB	35+115,67	35+213,50
	<b>VI15</b>	Viadotto SB	37+448,68	38+096,53
	<b>VI16</b>	Viadotto DB	39+622,10	40+045,08
	<b>VI17</b>	Viadotto SB	41+074,54	42+465,49
	<b>VI18</b>	Viadotto SB	43+889,70	44+137,50
	<b>VI05</b>	Viadotto SB Macrofase 2	18+160,56	18+599,27

Nel report di calcolo sono espone le metodologie e i risultati delle verifiche geotecnico-strutturali delle opere di sostegno provvisorie necessarie alla realizzazione degli scavi di sbancamento per le fondazioni della Galleria Artificiale GA05 situata tra i viadotti VI09 e VI10 del lotto 3.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>GA05 – Galleria Artificiale</b>					
<i>Progetto definitivo</i>  <i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	COMMESSA  <b>RS3T</b>	LOTTO  <b>30</b>	CODIFICA  <b>D09CL</b>	DOCUMENTO  <b>GA0503001</b>	REV.  <b>B</b>	FOGLIO  <b>6 di 41</b>

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- *Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».*
- *Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*
- *Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture*
- *Istruzione RFI DTC SI CS MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale*
- *Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;*
- *Istruzione RFI TCAR ST AR 01 001 D – Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h.*

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	7 di 41

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Il progetto strutturale prevede l'uso dei materiali con le caratteristiche meccaniche minime riportate nei paragrafi seguenti.

#### 3.1 Acciaio

##### 3.1.1 Acciaio per armatura strutture in c.a.

Barre ad aderenza migliorata, saldabile, tipo B450C dotato delle seguenti caratteristiche meccaniche:

- tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 540$  MPa
- tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 450$  MPa
- allungamento caratteristico:  $\geq 7.5$  %
- rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento:  $f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

##### 3.1.2 Profilati e piastre metalliche

- Acciaio tipo: EN 10025-S275 JR
- Tensione di rottura a trazione:  $f_{tk} \geq 430$  MPa
- Tensione di snervamento:  $f_{yk} \geq 275$  MPa

#### 3.2 Calcestruzzo

##### 3.2.1 Calcestruzzo magro per getti di livellamento

- Classe di resistenza: C12/15
- Classe di esposizione: X0

##### 3.2.2 Calcestruzzo pali, diaframmi di fondazione, cordoli opere provvisionali

- Classe di resistenza: C25/30
- classe di esposizione: XC2
- classe di consistenza: S4
- dimensione massima dell'inerte:  $D_{max} = 32$  mm
- copriferro minimo:  $c_{f,min} \geq 50$  mm



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	9 di 41

Il livello idrico è posto ad una profondità di 7.00 m da testa paratia.

## **5. CRITERI GENERALI DI MODELLAZIONE ADOTTATI**

### **5.1 Metodologia di calcolo**

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o eventuale inserimento degli elementi di contrasto), è necessario l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

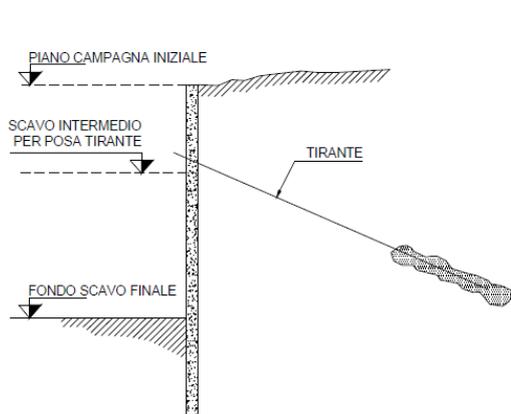
La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

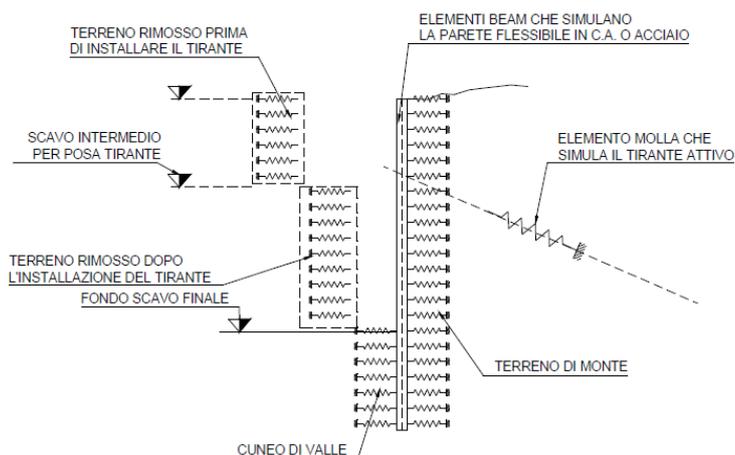
Gli spostamenti sono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	10 di 41

### PROBLEMA REALE



### MODELLO DI CALCOLO CON PARATIE



Al fine di ottenere informazioni attendibili sull'entità delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle paratie è necessario poterne seguire il comportamento durante le principali fasi esecutive.

A tal riguardo, l'interazione fra la paratia e il terreno, è simulata modellando la prima con elementi finiti caratterizzati da una rigidezza flessionale ed il secondo con molle elasto-plastiche connesse ai nodi della paratia di rigidezza proporzionale al modulo di rigidezza del terreno. Inoltre, è possibile modellare eventuali elementi di sostegno della paratia (tiranti, puntoni) con molle dotate di opportuna rigidezza.

In particolare, la paratia è schematizzata attraverso un diaframma di spessore equivalente ricavato attraverso la seguente espressione:

$$s_{eq} = \sqrt[3]{12E_m J_p}$$

dove:

$E_m$ : modulo elastico del materiale costituente la paratia

$J_p$ : inerzia della sezione della paratia

Il terreno si comporta come un mezzo elastico sino a che il rapporto tra la tensione orizzontale efficace ( $\sigma'_h$ ) e la tensione verticale efficace ( $\sigma'_v$ ) risulta compreso tra il coefficiente di spinta attivo ( $k_a$ ) e passivo ( $k_p$ ), mentre quando il rapporto è pari a  $k_a$  o a  $k_p$  il terreno si comporta come un mezzo elasto-plastico.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisorie</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	11 di 41

Questo modello, nella sua semplicità concettuale, derivato direttamente dal modello di Winkler, consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali. In particolare, sono superate le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite, non idonei a seguire il comportamento della struttura al variare delle fasi esecutive.

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidità delle molle. Per un letto di molle distribuite la rigidità di ciascuna di esse,  $k$ , è data da:

$$k = E / L$$

dove  $E$  è un modulo di rigidità del terreno mentre  $L$  è una grandezza geometrica caratteristica.

Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite  $\Delta$ , la rigidità di ogni molla è:

$$k = E\Delta / L$$

dove  $E$  è un modulo di rigidità del terreno mentre  $L$  è una grandezza geometrica caratteristica.

Il valore di  $\Delta$  è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di  $L$  è fissato automaticamente dal programma. Esso rappresenta una grandezza caratteristica che è diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva. Si è scelto: in zona attiva (uphill):

$$L_A = \frac{2}{3} \ell_A \tan(45^\circ - \phi' / 2)$$

in zona passiva (downhill):

$$L_P = \frac{2}{3} \ell_P \tan(45^\circ + \phi' / 2)$$

Dove:  $\ell_A = \min\{l, 2H\}$ ;

Dove:  $\ell_P = \min\{l - H, H\}$

con

$l$  = altezza totale della paratia

$H$  = altezza corrente dello scavo.

La logica di questa scelta è illustrata nella pubblicazione di Becci e Nova (1987). Si assume in ogni caso un valore di  $H$  non minore di 1/10 dell'altezza totale della parete.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA  
PROGETTO DEFINITIVO  
GA05 – Galleria Artificiale

<i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisorie</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	12 di 41

Il programma consente di seguire le fasi evolutive degli scavi a valle dell'opera, determinando, per ciascuna fase di scavo prevista, la deformata dell'opera e le sollecitazioni e gli stati tensionali nel terreno con essa interagente.

Il software consente di tener conto anche della presenza di vincoli lungo la paratia, sia di tipo elastico (molle /tiranti) che di tipo rigido.

La presenza dei tiranti viene infine schematizzata dal software come dei vincoli elastici, la cui deformabilità dipende dalle caratteristiche della sezione resistente in acciaio dei tiranti e dalla lunghezza libera degli stessi, eventualmente incrementata di una quantità funzione dell'efficienza ( $\leq 1$ ) associata al bulbo di ancoraggio.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>GA05 – Galleria Artificiale</b>					
	<i>Progetto definitivo</i>  <i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	COMMESSA  <b>RS3T</b>	LOTTO  <b>30</b>	CODIFICA  <b>D09CL</b>	DOCUMENTO  <b>GA0503001</b>	REV.  <b>B</b>

## 6. CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA AI SENSI DEL D.M. 17-01-2019

Nel presente paragrafo sono riportate alcune indicazioni salienti della Normativa riguardanti criteri generali di progettazione e verifica delle opere strutturali e geotecniche, oltre a specifiche da adottare per il caso delle Paratie di Sostegno.

### 6.1 Metodo agli Stati Limite ed Approcci di Progetto

Il progetto di opere strutturali e geotecniche va effettuato, come prescritto dal DM 17/01/08, con i criteri del metodo **semiprobabilistico agli stati limite** basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza. Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale è verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. La normativa distingue inoltre tra **Stati Limite Ultimi e Stati Limite di Esercizio**.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **stati limite ultimi** di resistenza è stata effettuata con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:  $R_d \geq E_d$ . Dove:

$R_d$  è la resistenza di progetto

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni.

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad \text{oppure} \quad E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Il coefficiente  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema.

I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{M_i}$  e  $\gamma_{F_j} = \gamma_{E_j}$ , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e all'affidabilità del modello di calcolo.

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1 del DM 17.01.18, la verifica della condizione  $R_d \geq E_d$  deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>GA05 – Galleria Artificiale</b>					
	<i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30</b>	CODIFICA <b>D09CL</b>	DOCUMENTO <b>GA0503001</b>	REV. <b>B</b>

Nel primo Approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto, convenzionalmente indicate come di seguito:

***A1+M1+R1***

***A2+M2+R2***

Nel secondo approccio progettuale (**Approccio 2**) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti

Gli stati limite di verifica si distinguono in genere in:

- **EQU** perdita di equilibrio della struttura fuori terra, considerata come corpo rigido.
- **STR** raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.
- **GEO** raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;
- **UPL** perdita di equilibrio della struttura o del terreno, dovuta alla spinta dell'acqua (sollevamento per galleggiamento).
- **HYD** erosione e sifonamento del terreno dovuta ai gradienti idraulici.

I coefficienti parziali da applicare alle azioni sono quelli definiti alla Tab 2.6.I del DM 17.01.18 di seguito riportata per chiarezza espositiva:

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	15 di 41

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

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

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

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti  $G_1$ ;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali  $G_2$ ;

$\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Capitolo 6.

I valori dei coefficienti parziali da applicare ai materiali e/o alle caratteristiche dei terreni (M) sono definiti nelle specifiche sezioni della norma, ed in particolare al Cap. 4 per ciò che concerne i coefficienti parziali da applicare ai materiali strutturali, mentre al Cap.6 sono indicati quelli da applicare alle caratteristiche meccaniche dei terreni.

I coefficienti parziali da applicare alle resistenze (R) sono infine unitari sulle capacità resistenti degli elementi strutturali, mentre assumono in genere valore diverso da 1 per ciò che concerne verifiche che attengono il controllo di meccanismi di stabilità locale o globale; i valori da adottare per ciascun meccanismo di verifica, sono definiti nelle specifiche sezioni di normativa dedicate al calcolo delle diverse opere geotecniche.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **stati limite di esercizio** viene effettuata invece controllando gli aspetti di funzionalità e lo stato tensionale e/o deformativo delle opere, con riferimento ad una combinazione di verifica caratterizzata da coefficienti parziali sulle azioni e sui materiali tutti unitari.

Al § 2.5.3 del DM 17.01.18, sono infine definiti i criteri con cui le diverse azioni presenti vanno combinate per ciascuno stato limite di verifica previsto dalla Normativa, di seguito riportati per completezza:

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	16 di 41

### 2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

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

– Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

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

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_n$ .

Nell'ambito della progettazione geotecnica, la normativa definisce inoltre nella Tab 6.2.II, i valori dei coefficienti parziali M1/M2 da applicare ai parametri caratteristici dei terreni nell'ambito delle diverse combinazioni contemplate dai due approcci di progetto come già illustrati al paragrafo precedente:

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_r$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tali valori agiscono sulle proprietà dei terreni, condizionando sia le azioni (spinte ed incrementi di spinta), sia le resistenze nei riguardi delle verifiche di stabilità dell'insieme opere-terreno con esse

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	17 di 41

interagenti da effettuare caso per caso in funzione del tipo di opera.(Paratie, Muri, Pali di Fondazione ecc..)

Inoltre, ribadisce i valori dei coefficienti da applicare alle azioni nella Tab 6.2.II di seguito riportata:

Tali valori agiscono sulle proprietà dei terreni, condizionando sia le azioni (spinte ed incrementi di spinta), sia le resistenze nei riguardi delle verifiche di stabilità dell'insieme opere-terreno con esse interagenti da effettuare caso per caso in funzione del tipo di opera.(Paratie, Muri, Pali di Fondazione ecc..). Inoltre, ribadisce i valori dei coefficienti da applicare alle azioni nella Tab 6.2.II di seguito riportata:

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>GA05 – Galleria Artificiale</b>					
	<i>Progetto definitivo</i>  <i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	COMMESSA  <b>RS3T</b>	LOTTO  <b>30</b>	CODIFICA  <b>D09CL</b>	DOCUMENTO  <b>GA0503001</b>	REV.  <b>B</b>

## 6.2 Criteri di Analisi e Verifica delle Paratie

Per le paratie, al § 6.5.3.1.2 del DM 17.01.18 viene specificato che si devono considerare almeno i seguenti **Stati Limite Ultimi**, accertando che la condizione  $R_d \geq E_d$  sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

*SLU di tipo geotecnica (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)*

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;
- instabilità del fondo scavo per sollevamento;
- sifonamento del fondo scavo;
- instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

*SLU di tipo strutturale (STR)*

- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

Per le paratie, i calcoli di progetto devono comprendere la verifica degli eventuali ancoraggi, puntoni o strutture di controventamento.

Con riferimento infine agli **Stati Limite di Esercizio**, bisogna controllare che gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di eventuali manufatti adiacenti, oltre che verificare, nei riguardi degli aspetti strutturali, la compatibilità degli stati tensionali dei materiali costituenti l'opera.

In aggiunta a quanto sopra, al § C6.5.3.1.2 della Circolare Applicativa n 7 del 21 gennaio 2019 viene inoltre specificato quanto segue:

Nelle verifiche nei confronti di stati limite ultimi geotecnici delle paratie, si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno ed eventualmente della struttura e, specificamente, dal raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite nel terreno

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>GA05 – Galleria Artificiale</b>					
<i>Progetto definitivo</i>  <i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	COMMESSA  <b>RS3T</b>	LOTTO  <b>30</b>	CODIFICA  <b>D09CL</b>	DOCUMENTO  <b>GA0503001</b>	REV.  <b>B</b>	FOGLIO  <b>19 di 41</b>

interagente con la paratia o con parte di essa. Le analisi devono essere condotte con la Combinazione 2 (A2+M2+R1),

Nelle verifiche nei confronti di stati limite per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali l'analisi deve essere svolta utilizzando la Combinazione I (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza del terreno (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1.

In relazione a tali specifiche integrative contenute nella Circolare Applicativa, ciascuno degli Stati Limite di verifica previsti per le Paratie, è stato esaminato riferendosi alla Combinazioni 1 per il caso deli Stati Limite STR ed alla Combinazione 2 per gli Stati Limite (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)

### 6.3 Modello geometrico di riferimento

Secondo quanto indicato al paragrafo 6.5.2.2 delle NTC2018, il modello geometrico deve tenere conto delle possibili variazioni del profilo del terreno a monte e a valle del paramento rispetto ai valori nominali. Nel caso in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota di valle deve essere diminuita di una quantità pari al minore dei seguenti valori:

- 10% dell'altezza di terreno da sostenere nel caso di opere a sbalzo;
- 10 % della differenza di quota fra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo nel caso di opere vincolate;
- 0,50 m.

Cautelativamente in fase di analisi la quota di fondo scavo è stata incrementata di 0.50 m.

Il suddetto paragrafo non si applica per le verifiche idrauliche.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	20 di 41

## 7. ANALISI DELLE OPERE PROVVISORIALI

### 7.1 Descrizione dell'opera di sostegno

Nel presente paragrafo sono riportate alcune indicazioni salienti della Normativa riguardanti criteri generali.

#### 7.1.1 Sezione di calcolo per scavi in affiancamento alla linea FF SS storica

Paratia di pali in c.a.:

- $D_p = 250$  mm                      diametro di perforazione
- $i = 0.40$  m                            interasse longitudinale tra i micropali
- $L = 10.0$  m                            lunghezza del micropalo

#### GEOMETRIA SEZIONI DI CALCOLO

La massima altezza di scavo è di 4.70 m. Tale valore è stato incrementato rispetto a quello nominale di 0.5 m.

Nel calcolo si è tenuto conto del carico accidentale dovuto ai mezzi di cantiere  $q_{acc} = 54$  kPa uniformemente distribuito su un'area di impronta di 5.0 m posto in prossimità dell'estradosso della paratia. Tale sovraccarico è stato considerato diffuso in profondità con un angolo di 45°.

La distribuzione delle pressioni interstiziali sulla paratia è stata considerata idrostatica con valori raccordati al piede della stessa in ogni fase di calcolo.

Altezza fuori terra	4.20	[m]
Profondità di infissione	5.80	[m]
Altezza totale della paratia	10.0	[m]
Numero di file di pali	1	[m]
Interasse fra i pali della fila	0.40	[m]
Diametro pali	0.25	[m]

Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	21 di 41

Il cordolo di collegamento dei pali ha dimensioni trasversali 0.70 m x 0.50 m. Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione.

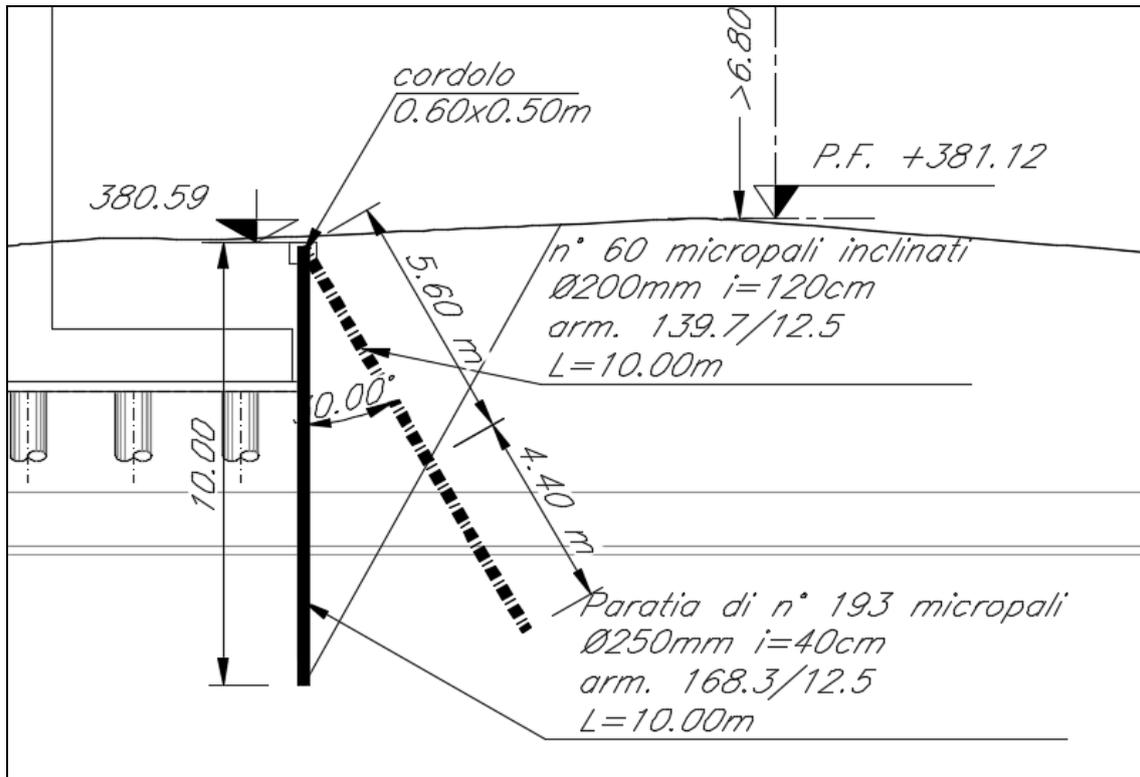
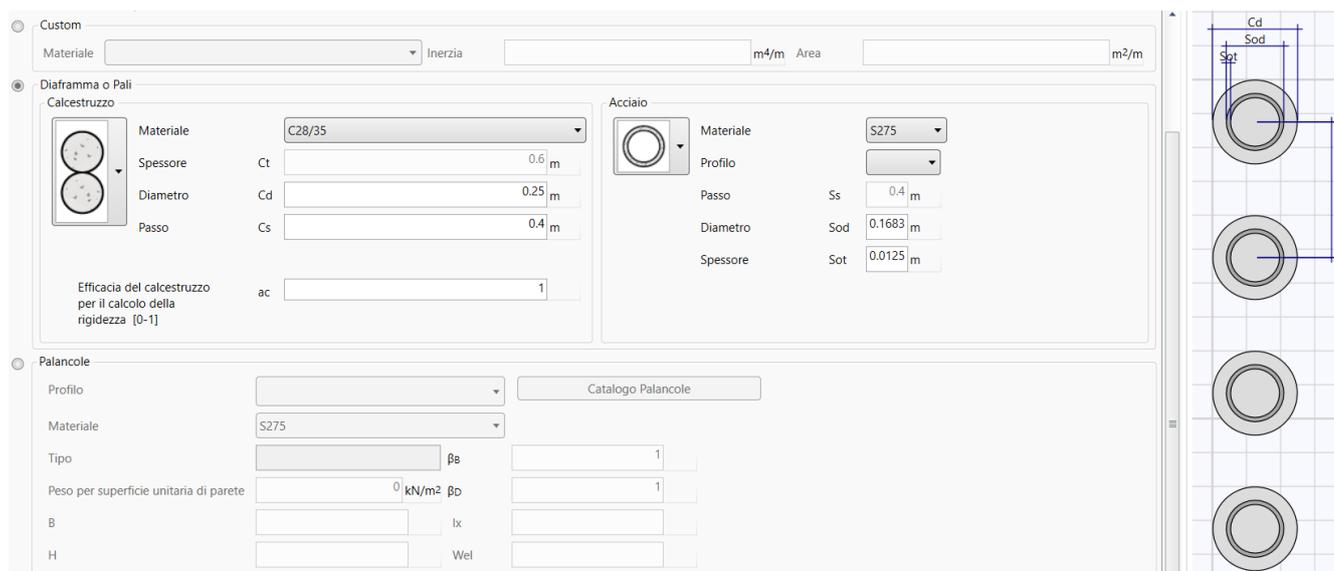


Figura 1: sezione trasversale dell'opera di sostegno

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	<b>RS3T</b>	<b>30</b>	<b>D09CL</b>	<b>GA0503001</b>	<b>B</b>	<b>22 di 41</b>



The screenshot shows a software interface with the following sections:

- Custom:** Material, Inerzia (m<sup>4</sup>/m), Area (m<sup>2</sup>/m).
- Diaframma o Pali Calcestruzzo:**
  - Material: C28/35
  - Spessore: Ct = 0.6 m
  - Diametro: Cd = 0.25 m
  - Passo: Cs = 0.4 m
  - Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidità [0-1]: ac = 1
- Acciaio:**
  - Material: S275
  - Profilo: [dropdown]
  - Passo: Ss = 0.4 m
  - Diametro: Sod = 0.1683 m
  - Spessore: Sot = 0.0125 m
- Palancole:**
  - Profilo: [dropdown]
  - Material: S275
  - Tipo: [dropdown]
  - Peso per superficie unitaria di parete: [input] kN/m<sup>2</sup>
  - B: [input] lx
  - H: [input] Wel

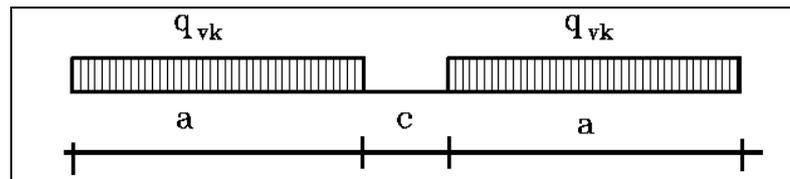
On the right side, there is a vertical diagram showing four circular cross-sections of a pile with dimensions Cd, Sod, Sot, and Ss.

I micropali saranno vincolati in testa per mezzo di un micropali con passo 1.20 m inclinati di 30° rispetto alla verticale aventi le stesse caratteristiche geometriche dei micropali della paratia.

Il vincolo è stato modellato per mezzo di una molla di costante elastica di valore pari alla rigidità del tratto “libero” del micropalo-tirante. Ammettendo che la lunghezza fissa sia quella situata oltre il cono di spinta attiva si ottiene:

- Lunghezza di fondazione=  $L_F = 5.60$  m
- Lunghezza tratto “libero”=  $L_L = 4.40$  m
- Interasse micropali inclinati=  $i = 1.20$  m
- Costante elastica vincolo=  $K = EA/L_L/i = 210000000 \cdot 0.005 / (5.60 \cdot 1.20) = 156250$  kN/m
- Nel calcolo si è tenuto conto del carico accidentale dovuto al transito dei convogli ferroviari sulla linea storica pari a  $q_{acc} = 54$  kPa uniformemente distribuito, ovvero non diffuso considerando che la linea si trova in adiacenza all’opera di sostegno. Di seguito si esplicitano i calcoli per la sua valutazione. Il sovraccarico accidentale, rappresentato dal transito di un treno di categoria SW2, è caratterizzato da un valore di 150 kN/m in direzione longitudinale.

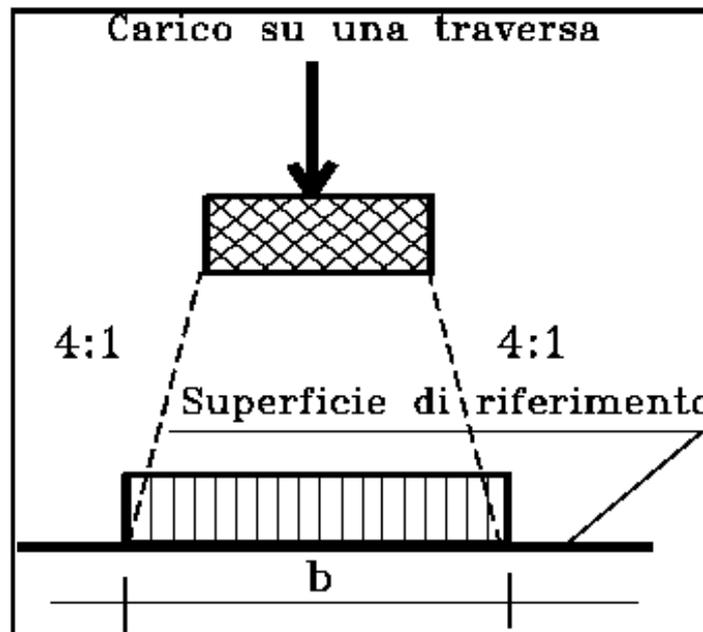
Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	23 di 41



Tipo di Carico	$q_{vk}$ [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

- Figura 2: treno di carico SW

- Tale carico viene ripartito in senso trasversale al rilevato, su una traversa (L= 2.60 m) e dunque sulla superficie di riferimento definita dalla figura che segue:



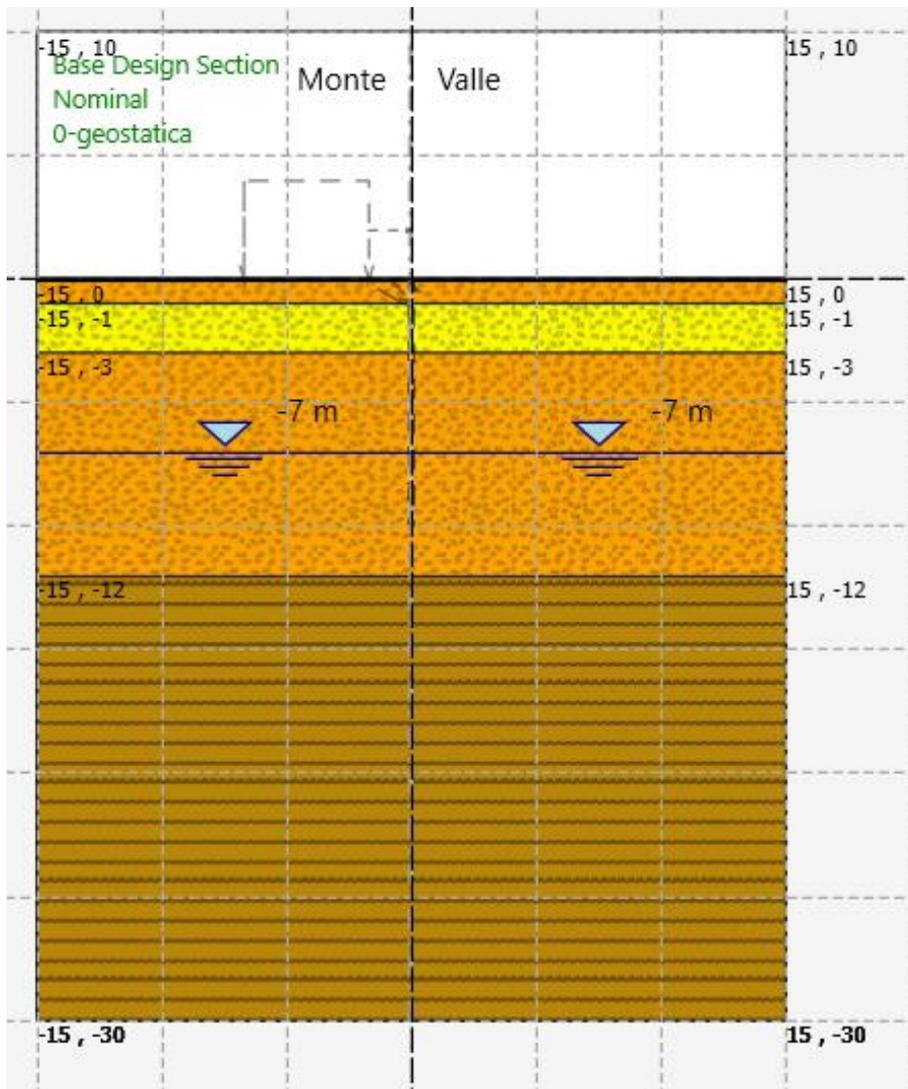
- Figura 3: Distribuzione longitudinale dei carichi attraverso il ballast

- Sulla base dello schema la larghezza complessiva risulta pari a  $b = 2.60 + 2 \cdot 0.35 / 4 = 2.77$  m, avendo assunto per il ballast uno spessore di 35 cm. Il carico sulla superficie di riferimento (estradosso dello strato supercompattato), risulta dunque pari a:  $q_{acc} = 150 / 2.77 = 54$  kPa.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	24 di 41

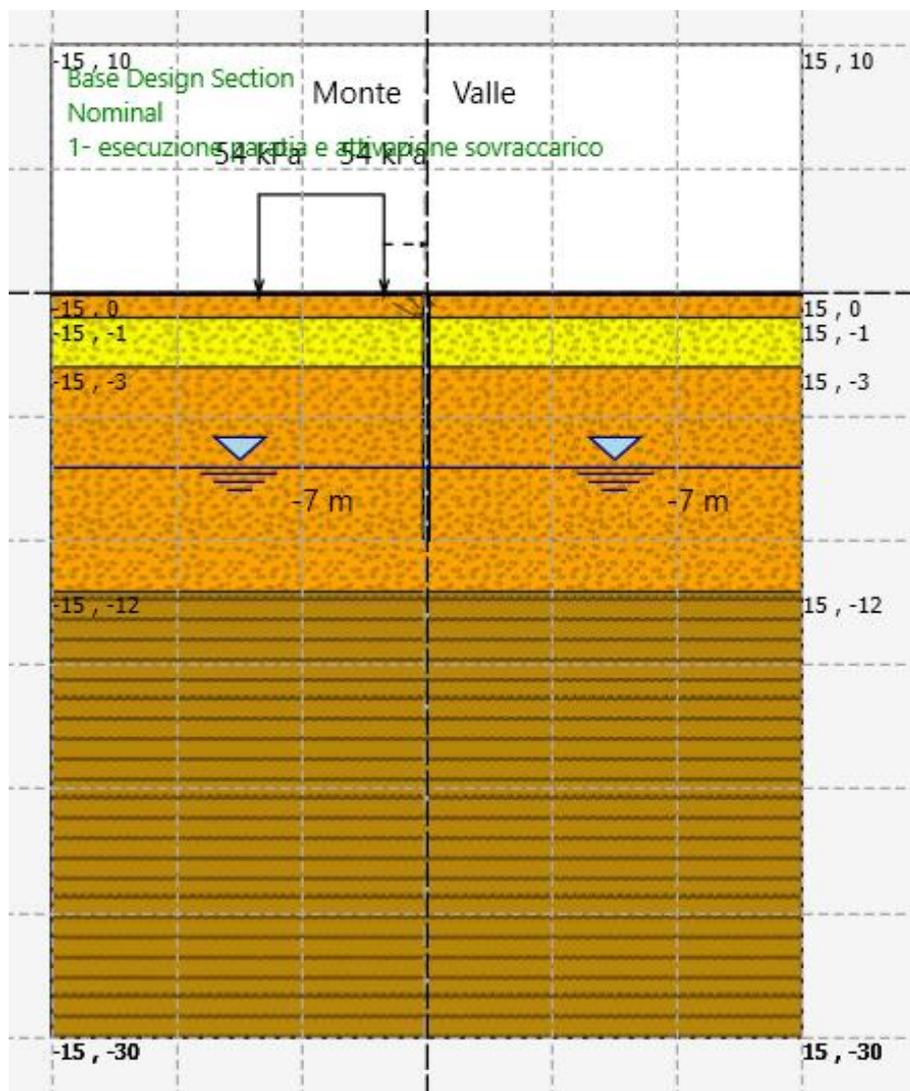
Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione.

**FASE 0: Generazione stato tensionale iniziale**



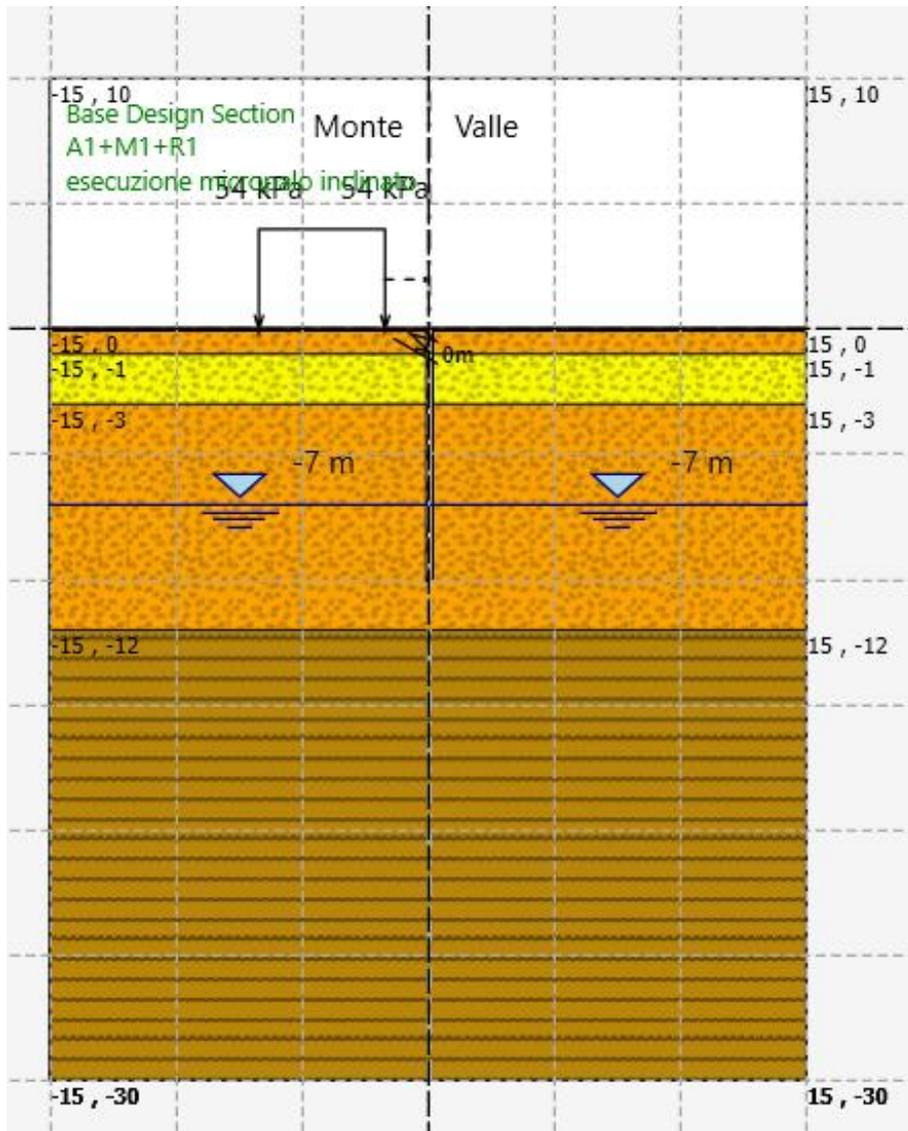
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	25 di 41

**FASE 1: Installazione delle paratie di pali e attivazione dei sovraccarichi**



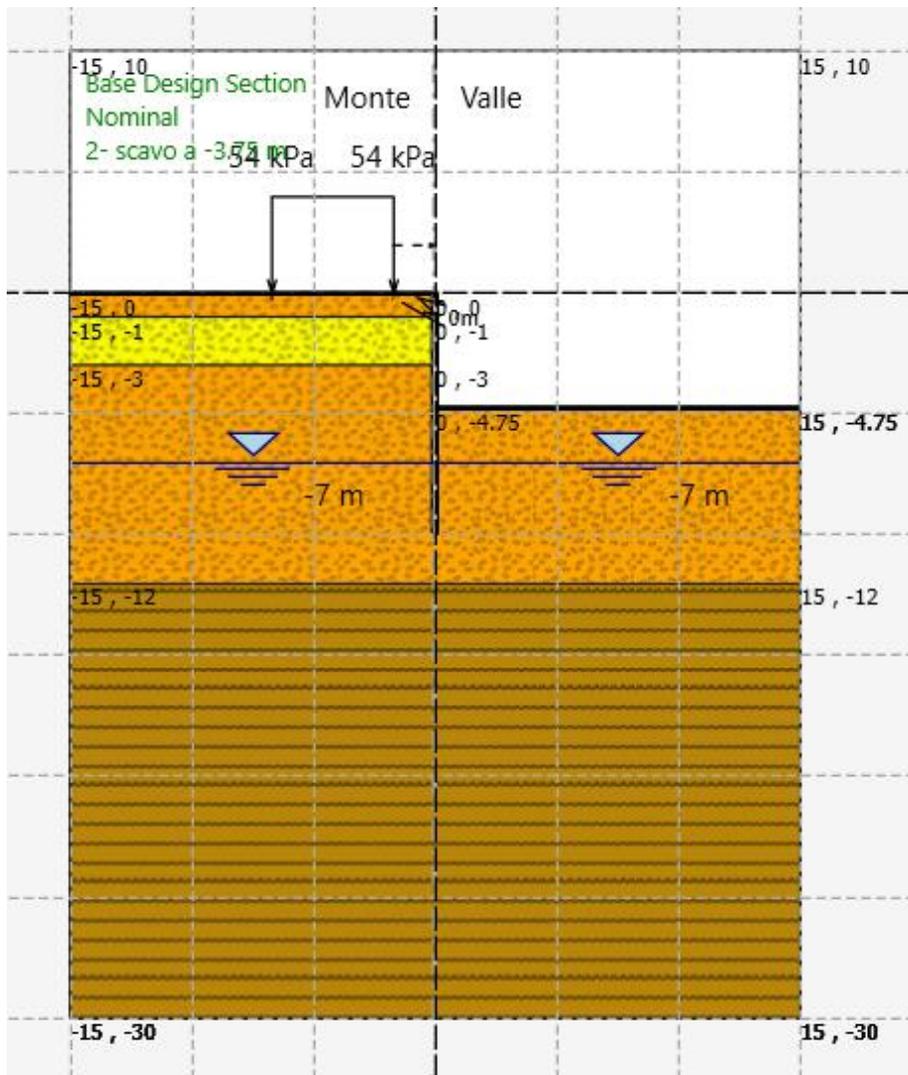
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	26 di 41

**FASE 2: Esecuzione micropalo inclinato**



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	27 di 41

**FASE 3: Scavo fino a 3.75 m da p.c.**



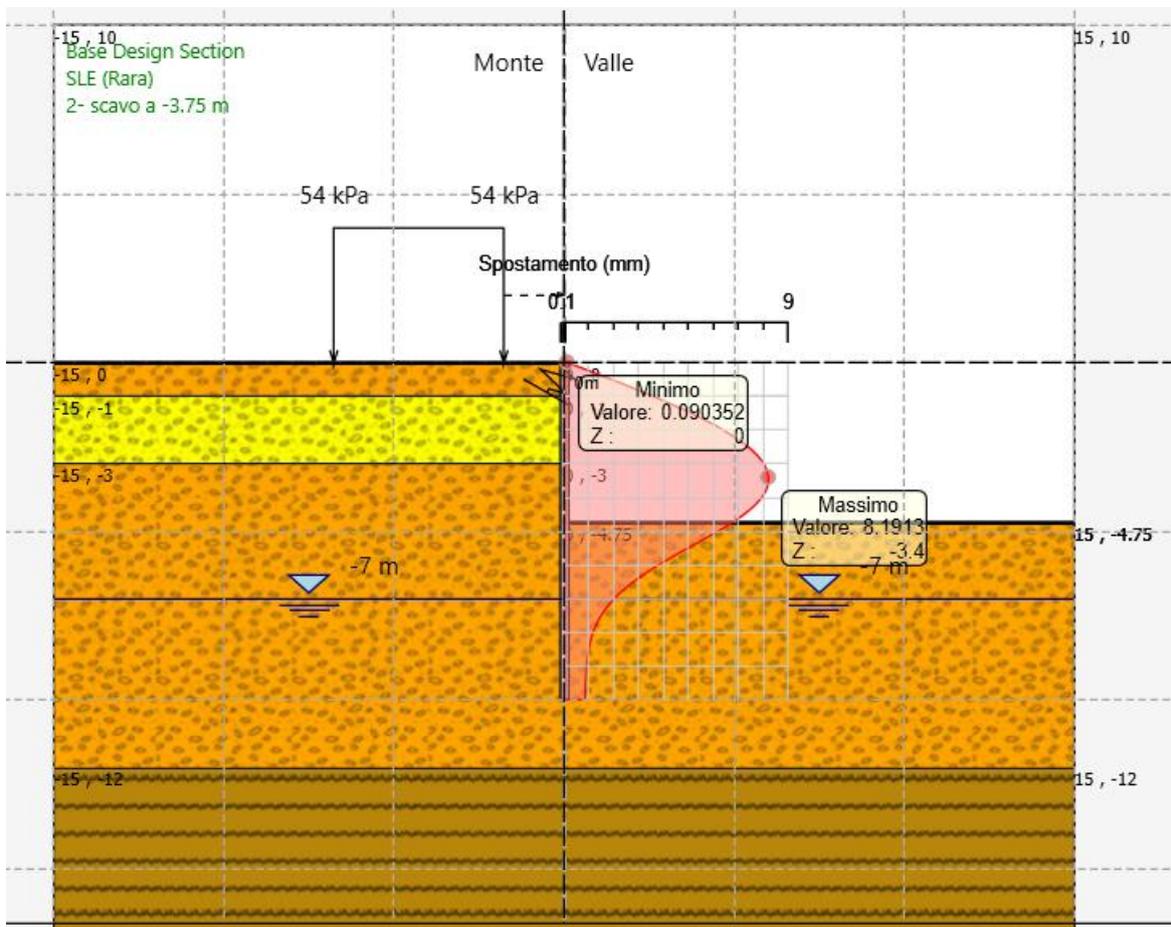
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	28 di 41

## 8. RISULTATI E VERIFICHE DELLA PARATIA

Nel seguito si espongono, in sintesi, i principali risultati di interesse progettuale.

### 8.1 RISULTATI (COMBINAZIONE SLE)

Dall'involuppo degli spostamenti in combinazione SLE si osserva che lo spostamento massimo orizzontale della paratia risulta pari a circa 8 mm.



Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	29 di 41

## 8.2 RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR PARATIA DI PALI (combinazione A1+M1+R1)

Dall'involuppo del momento flettente in combinazione A1+M1+R1 si osserva che il massimo valore sulla paratia si ha ad una quota di 3.60 m da testa palo e risulta pari a 60 kNm/m.

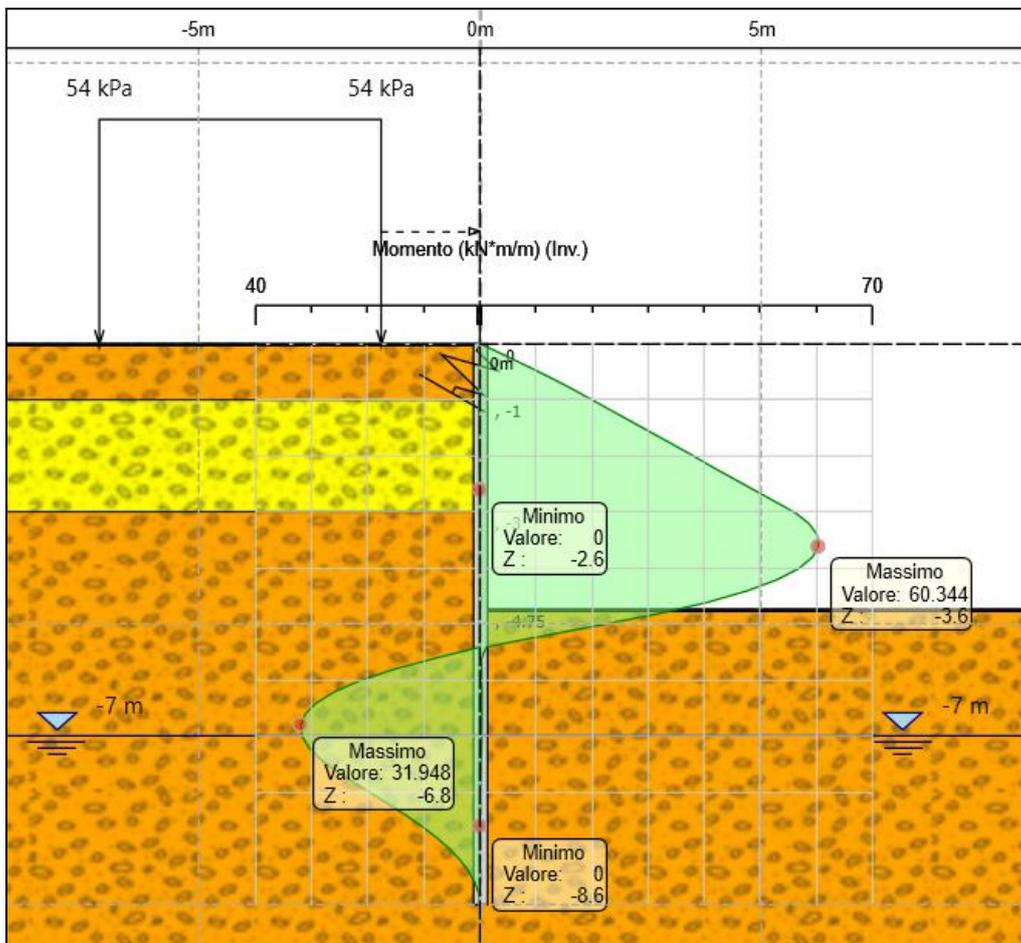


Figura 4: momento flettente allo SLU-STR

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	30 di 41

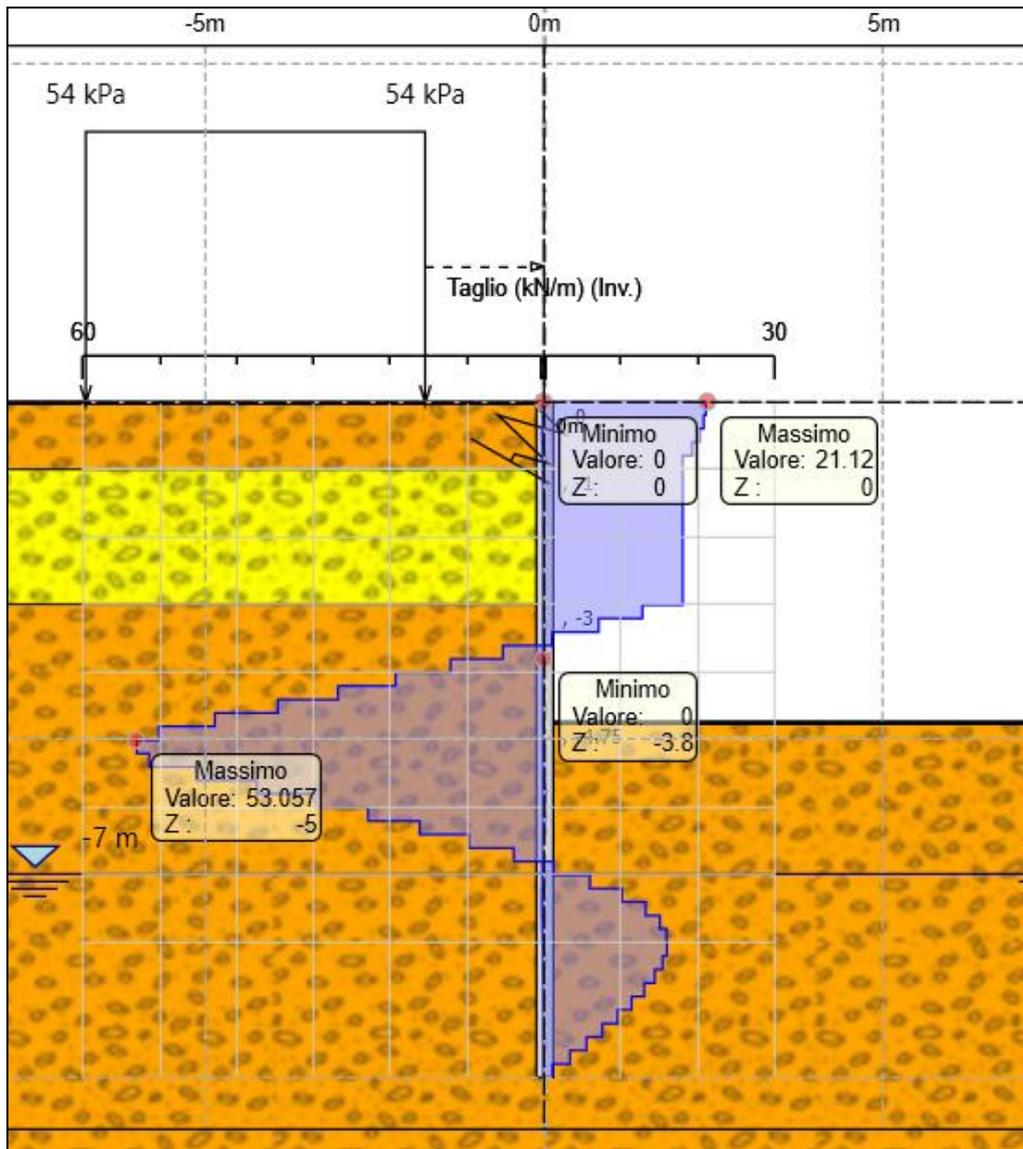


Figura 5: forza di taglio allo SLU-STR

combinazione (-)	M (kN*m/m)	profondità (m)	V (kN/m)
SLU-STR	60.3	3.60	53
SLE	44.6	3.60	-

combinazione (-)	D <sub>palo</sub> (m)	i <sub>palo</sub> (m)	M (kN*m)	N (kN)	V (kN)
SLU-STR	0.25	0.4	24.1	-	21.2
SLE	0.25	0.4	17.8	-	-

Tabella 1: riepilogo delle sollecitazioni sulla paratia di pali

Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	31 di 41

Dati verifica strutturale e riepilogo risultati per la paratia

- Acciaio tipo: S275
- Minimo fattore di sicurezza allo SLU (pressoflessione e taglio)= $1/0.3=3.33$

Tipo di acciaio utilizzato | S 275

Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di resistenza	$\gamma_{M0}$	1.05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di stabilità	$\gamma_{M1}$	1.05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di rottura	$\gamma_{M2}$	1.25 [-]

**Caratteristiche del profilo**

Sezione trasversale del tubolare | Ø168.3/12.5

Diametro esterno del profilo tubolare (UTENTE)	$d_{ext}$	0.00 [mm]
Spessore del profilo tubolare (UTENTE)	$t$	0.00 [mm]
Diametro esterno del profilo tubolare utilizzato nelle verifiche		168.3 [mm]
Spessore del profilo tubolare utilizzato nelle verifiche		12.5 [mm]

**Geometria della membratura**

Lunghezza geometrica della membratura	$L$	1.00 [m]
Coefficiente di lunghezza di libera inflessione attorno all'asse y - y	$\beta_y$	1.00 [-]
Coefficiente di lunghezza di libera inflessione attorno all'asse z - z	$\beta_z$	1.00 [-]
Lunghezza di libera inflessione attorno all'asse y - y	$L_{cr,y}$	1000.00 [mm]
Lunghezza di libera inflessione attorno all'asse z - z	$L_{cr,z}$	1000.00 [mm]

**Coefficienti di momento equivalente**

*Nota: l'utente deve inserire i valori  $C_{my}$ ,  $C_{mz}$  con riferimento al prospetto B.3 - EN 1993 - 1 - 1: 2010, tenendo presente che utilizzando  $C_{my} = C_{mz} = 1.00$  la verifica sarà sempre "cautelativa".*

Coefficienti di momento equivalente

Coefficiente di momento equivalente per flessione attorno all'asse y - y	$C_{my}$	1.000 [-]
Coefficiente di momento equivalente per flessione attorno all'asse z - z	$C_{mz}$	1.000 [-]

**Caratteristiche di sollecitazione**

*Nota: la forza assiale è POSITIVA se di compressione*

Calcola

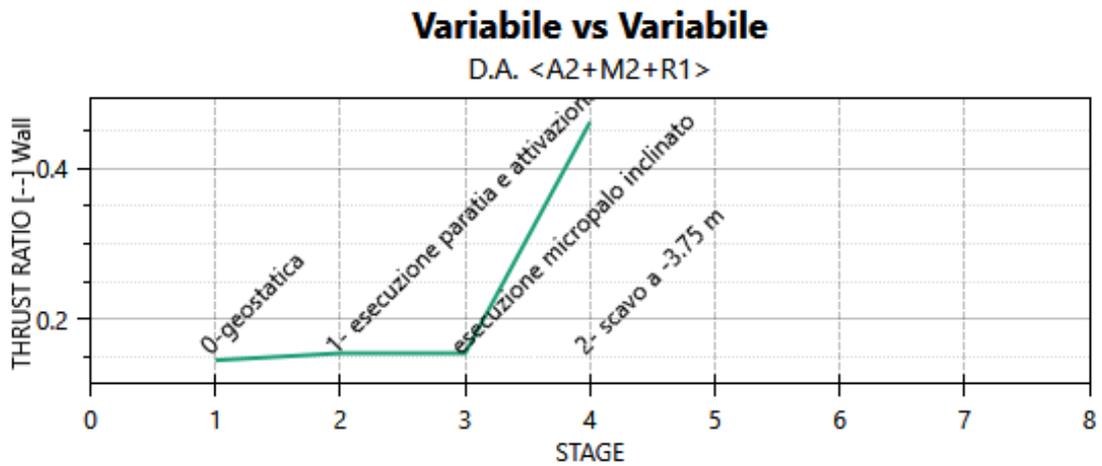
Svuota

Comb.	$N_{Ed}$	$V_{z,Ed}$	$V_{y,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	$T_{Ed}$	Verifica
[n°]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[-]
1			21.20	24.12			✓ 0.30

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	32 di 41

### 8.3 Verifica SLU-GEO paratia di pali (combinazione A2+M2+R1)

Il massimo rapporto di mobilitazione della spinta passiva è circa il 46 %.



Design Assumption :A2+M2+R1

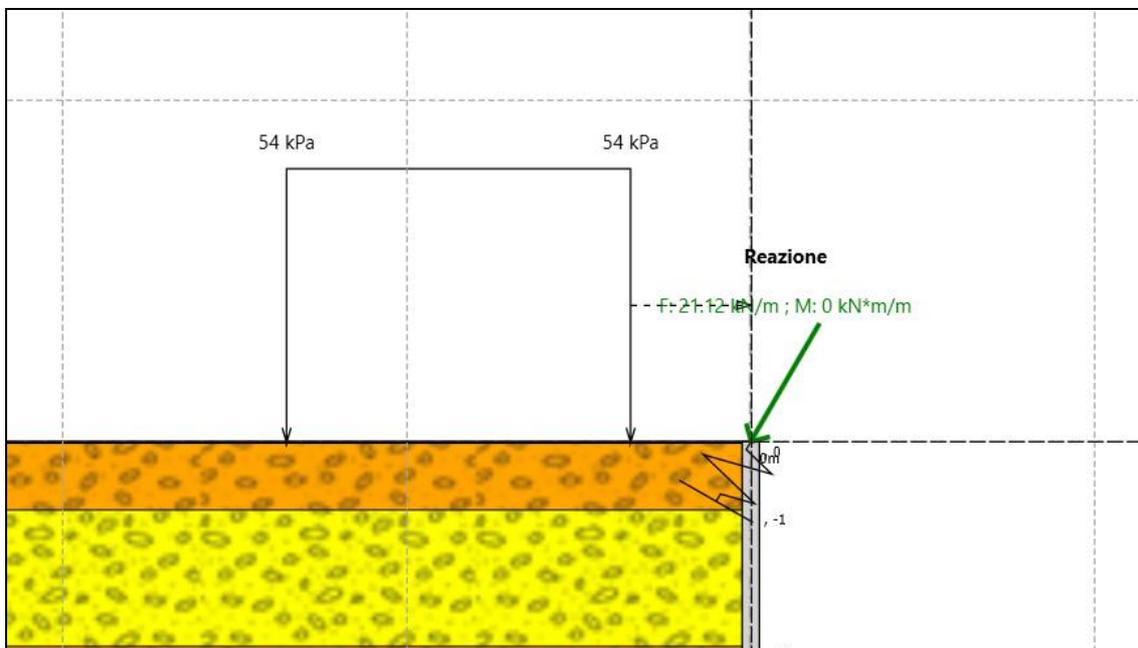
#### STAGE THRUST\_RATIO [--]

1	0.146
2	0.155
3	0.155
4	0.461

Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	33 di 41

#### 8.4 RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR E SLU-GEO DEL VINCOLO (combinazione A1+M1+R1)

Di seguito si riporta il valore di reazione sul vincolo in testa costituito dai micropali inclinati.



Design Assumption :A1+M1+R1

#### STAGE SUPPORT\_FORCE [kN/m]

1	0
2	0
3	0
4	21.12

#### Verifica dei tiranti

I valori di sforzo assiale del tirante sono di seguito riportati

- N (combinazione SLE caratteristica)= 15.7 kN/m
- N (combinazione A1+M1+R1)= 21 kN/m

L'interasse è pari a 1.20 m e pertanto i valori da verificare sono i seguenti:

- N (combinazione A1+M1+R1)= 21\*1.2= 25.2 kN

Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	34 di 41

### Verifica armatura tirante

Massima forza di trazione  $T_{STR} = 25.2 \text{ kN}$

Resistenza tirante:

$$T_{res} = f_{yk} A_s / \gamma_s = 275 \cdot 5000 / 1.05 = 1309 \text{ kN}$$

Risulta pertanto:  $T_{res} > T_{STR}$

### Verifica allo sfilamento tirante

Per la verifica geotecnica del tirante è stato assunto un valore di aderenza terreno bulbo pari a 100 kPa. Tale valore deriva dalla formulazione di Bustamante e Doix per i micropali ed è stato ottenuto dal diagramma sottostante che correla il numero di colpi SPT al valore dell'aderenza bulbo-terreno per terreni granulari quali quelli che interesseranno il bulbo del tirante al di sotto del rilevato esistente. Si è assunta cautelativamente la curva SG1 per terreni moderatamente addensati.

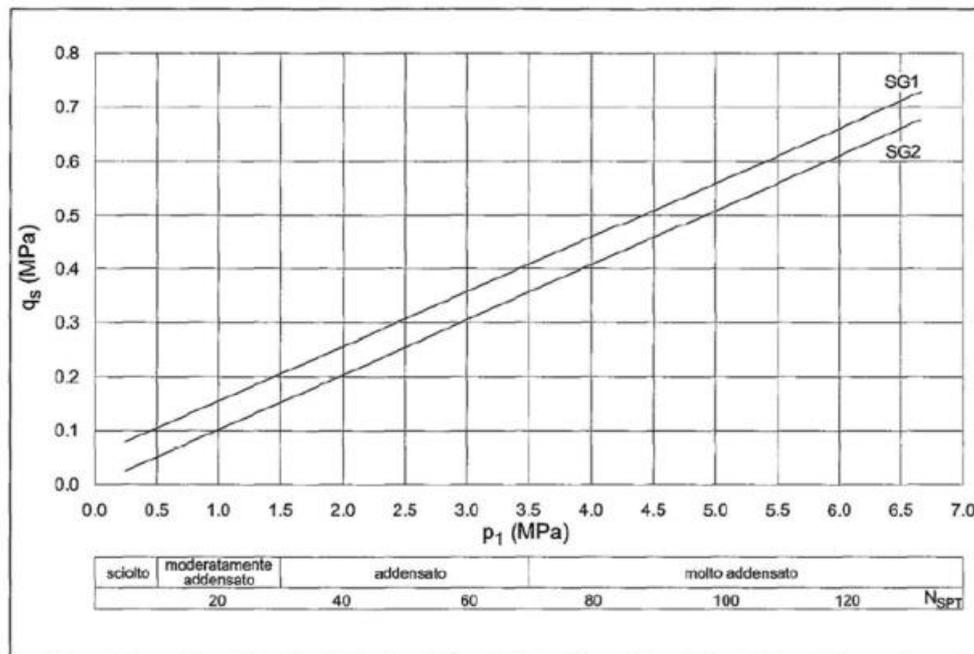


Figura 6: Resistenza unitaria limite per terreni incoerenti (AGI, AICAP, Ancoraggio nei Terreni e nelle Rocce, 2012)

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	35 di 41

T Resistenza laterale del bulbo:

$$T = \pi \times \alpha \times D_a \times L_a \times s_d$$

nella quale:

- $\alpha$ = fattore empirico di amplificazione del diametro del bulbo (assunto pari 1 in questo caso);
- $D_a$ = diametro di perforazione = 250 mm;
- $L_a$  = lunghezza bulbo = 4.40 m
- $s_d$ = valore di aderenza di progetto= 100/1.8= 55 kPa
- L'utilizzo di metodi analitici prevede inoltre, in accordo con le raccomandazioni AGI-AICAP 2012, che il valore caratteristico  $R_{ak}$  della resistenza allo sfilamento, sia calcolato applicando un fattore di correlazione  $\xi$  sul valore medio  $R_{a,c}$  ottenuto dal calcolo. Per la valutazione del fattore  $\xi$  occorre prendere in conto il numero di verticali indagate che hanno condotto alla identificazione del modello geotecnico del terreno di fondazione dell'ancoraggio. In questo caso è stato applicato cautelativamente un fattore  $\xi$  pari a 1.8 corrispondente ad un numero di verticali indagate pari a 1.
- Il valore di resistenza allo sfilamento (combinazione A1+M1+R3) risulta pertanto pari a:
- $T = \pi \times \alpha \times D_a \times L_a \times s_d / \gamma R_{lat} = 3.14 \times 1 \times 0.25 \times 4.40 \times 55.5 / 1.1 = 174.3 \text{ kN}$
- $T_d = 25.2 \text{ kN}$  (Risulta pertanto:  $T > T_d$ )

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	36 di 41

## 9. VERIFICA SLU – UPL

Il § 6.2.4.2. del DM 17.01.2018 specifica che le opere geotecniche devono essere verificate, ove ricorrano le condizioni, anche che nei riguardi di possibili stati limite di sollevamento o di sifonamento.

A tal fine, nella valutazione delle pressioni interstiziali e delle quote piezometriche caratteristiche, si devono assumere le condizioni più sfavorevoli, considerando i possibili effetti delle condizioni stratigrafiche.

Per la stabilità al sollevamento deve risultare che il valore di progetto dell'azione instabilizzante ( $V_{inst,d}$ ) ovvero della risultante delle pressioni idrauliche ottenuta considerando separatamente la parte permanente ( $G_{inst,d}$ ) e quella variabile ( $Q_{inst,d}$ ), sia non maggiore della combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti ( $G_{stb,d}$ ) e delle resistenze ( $R_d$ ), ovvero:

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d \quad [6.2.4]$$

$$V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d} \quad [6.2.5]$$

Per le verifiche di stabilità al sollevamento, i relativi coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.III.

Tab. 6.2.III – Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0
	Sfavorevole		1,5

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Al fine del calcolo della resistenza di progetto  $R_d$ , tali coefficienti devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici ( $M_2$ ).

Ove necessario, il calcolo della resistenza va eseguito in accordo a quanto indicato negli specifici paragrafi della normativa dedicata alle fondazioni su pali e per gli ancoraggi.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	37 di 41

In presenza di scavi a valle di opere di sostegno di terreni in falda, quando il piano finale di scavo da progetto è inferiore al livello della falda in sito, si configurano due potenziali meccanismi di instabilità della zona a valle delle opere, e che vanno indagati, ovvero :

- Instabilità del fondo scavo per “sifonamento”
- Instabilità del fondo scavo per “sollevamento”

I fenomeni sono legati essenzialmente ai processi di filtrazione che si innescano verso la zona di fondo scavo a completamento degli scavi, che avvengono “a breve termine” per terreni a grana grossa, ovvero a “lungo termine” per terreni a grana fine, o comunque, in quest’ultimo caso, alla sovrappressione di tipo idrostatico che agisce a piede del cuneo di terreno potenzialmente instabile immediatamente a ridosso dell’opera.

Terzaghi ha osservato che il fenomeno di instabilità si estende a tutta la profondità  $D$  di infissione dell’opera, per una larghezza pari a  $D/2$  e che l’andamento delle sovrappressioni interstiziali, secondo lo schema grafico di figura seguente:

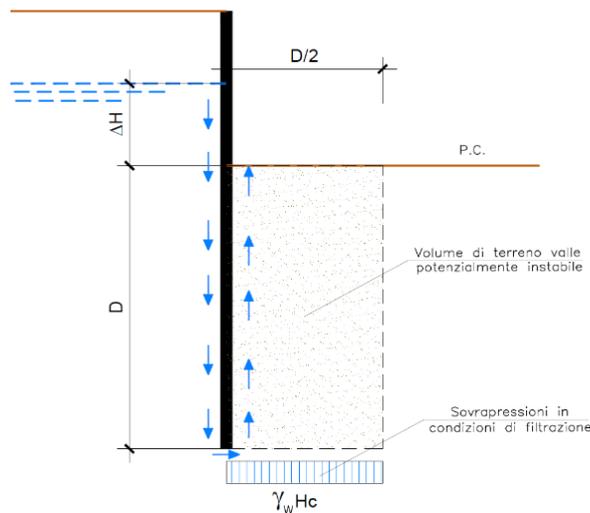


Figura 7: Schema di filtrazione per effetto di scavi sotto falda a valle di opere di sostegno

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	38 di 41

In prima approssimazione, nell'ipotesi di mezzo omogeneo, il valore della sovrappressione  $H_c$  al piede del diaframma si può ipotizzare sia costante per una larghezza  $D/2$  e pari ad  $\gamma_w \cdot H_c$ , dove  $H_c$  si ricava dall'equazione:  $H_c = i_e D$  essendo  $i_e$  il gradiente idraulico medio lungo il percorso di filtrazione, valutabile in via semplificata come di seguito:  $i_e = \Delta H / (\Delta H + 2D)$  e quindi:

$$H_c = (\Delta H D) / (\Delta H + 2D).$$

In questa condizione, il fattore di sicurezza "al sollevamento", può essere espresso, a meno dei coefficienti parziali da applicare alle azioni stabilizzanti ed destabilizzanti prescritte dalla normativa come già definiti, può essere espresso come segue:

$$FS = \frac{W'}{S_w} = \frac{\gamma' \cdot D \cdot D / 2}{\gamma_w \cdot H_c \cdot D / 2} = \frac{\gamma' \cdot D}{\gamma_w \cdot H_c}$$

Ovvero, tenendo conto delle espressioni precedenti, in termini di gradienti idraulici :  $Fs = i_c / i_e$ , avendo posto:

$$i_c = \gamma' / \gamma_w \text{ (gradiente idraulico critico)}$$

$$i_e = H_c / D \text{ (gradiente idraulico medio)}$$

In aggiunta al meccanismo di sollevamento, la normativa prescrive di effettuare verifiche specifiche nei riguardi del rischio di "sifonamento", che riguarda specificamente le condizioni di filtrazione che si innescano a valle degli scavi, per effetto dei quali, a seguito dell'incremento delle pressioni interstiziali nella zona di valle, si può determinare un annullamento delle tensioni verticali efficaci e quindi la completa perdita di resistenza del terreno che determina un trasporto delle particelle da parte dell'acqua in movimento, dando origine ad un fenomeno progressivo di erosione che conduce al collasso della struttura del terreno.

Si definisce fattore di sicurezza globale nei confronti del sifonamento il rapporto tra il gradiente idraulico critico e quello che si ha in esercizio ossia:  $FS = i_c / i_e$ , dove  $i_c$  ed  $i_e$  assumono le espressioni già definite in precedenza.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	GA0503001	B	39 di 41

## VERIFICA A SIFONAMENTO FONDO SCAVO

In condizioni di flusso prevalentemente verticale:

- a) nel caso di frontiera di efflusso libera, la verifica a sifonamento si esegue controllando che il gradiente idraulico i risulti non superiore al gradiente idraulico critico  $i_c$  diviso per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 3$ , se si assume come effetto delle azioni il gradiente idraulico medio, e per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$  nel caso in cui si consideri il gradiente idraulico di efflusso;
- b) in presenza di un carico imposto sulla frontiera di efflusso, la verifica si esegue controllando che la pressione interstiziale in eccesso rispetto alla condizione idrostatica risulti non superiore alla tensione verticale efficace calcolata in assenza di filtrazione, divisa per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$ .

In tutti gli altri casi il progettista deve valutare gli effetti delle forze di filtrazione e garantire adeguati livelli di sicurezza, da pre-fissare e giustificare esplicitamente.

Essendo il livello di falda situato al di sotto del fondo scavo le verifiche idrauliche sono state omesse.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>GA05 – Galleria Artificiale</b>					
	<i>Progetto definitivo</i>  <i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	COMMESSA  <b>RS3T</b>	LOTTO  <b>30</b>	CODIFICA  <b>D09CL</b>	DOCUMENTO  <b>GA0503001</b>	REV.  <b>B</b>

## 10. STIMA DEI CEDIMENTI A TERGO DELL'OPERA DI SOSTEGNO (PILA P1)

Considerato che nel presente caso a monte dell'opera di sostegno è presente un binario della linea storica in esercizio, si è provveduto ad eseguire una valutazione dell'entità dei cedimenti indotti dagli scavi per non verificando che gli stessi non ne compromettessero la sicurezza e la funzionalità.

Perché la funzionalità del binario possa considerarsi mantenuta è necessario che i cedimenti a piano campagna indotti dallo spostamento della paratia siano contenuti entro i seguenti limiti (documento di riferimento: RFI TCAR ST AR 01 001 D – Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per velocità fino a 300 km/h):

Livello di qualità 3 e  $120 \leq V \leq 160$  km/h

- Livello longitudinale (L)  $\leq 17$  mm
- Livello trasversale (XL)  $\leq 20$  mm
- Sghembo su base 3 m (Y3m)  $\leq 5.8$  mm

Per il calcolo dei cedimenti indotti a piano campagna si è utilizzato il metodo di Boone e Westland (2006) implementato nel codice di calcolo Paratie Plus. Tale metodo consente una stima indiretta di prima approssimazione dei cedimenti verticali, e si basa su valutazioni di tipo volumetrico: i cedimenti della superficie libera del terreno a monte e a valle possono essere stimati calcolando il volume di terreno che subisce uno spostamento orizzontale a seguito della deformata dell'opera di sostegno.

Nel caso specifico poiché lo scavo avverrà sui due lati della linea esistente, i cedimenti sull'armamento saranno indotti da entrambe gli scavi per sovrapposizione degli effetti. Le curve di subsidenza sono relative alla paratia considerata per il dimensionamento geotecnico-strutturale (vedi paragrafi precedenti) e a quella sul lato opposto della quale si riportano, per ovvi motivi, esclusivamente le deformazioni al livello della linea storica.

Nelle immagini riportate di seguito sono riportati i profili di cedimento ottenuti a piano campagna. Il cedimento calcolato in corrispondenza dei binari più vicini all'opera di sostegno è pari a:

- Ascissa  $x_1 = -9.50$  m;  $w_1 = 5.1$  mm

Progetto definitivo

Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali

COMMESSA

RS3T

LOTTO

30

CODIFICA

D09CL

DOCUMENTO

GA0503001

REV.

B

FOGLIO

41 di 41

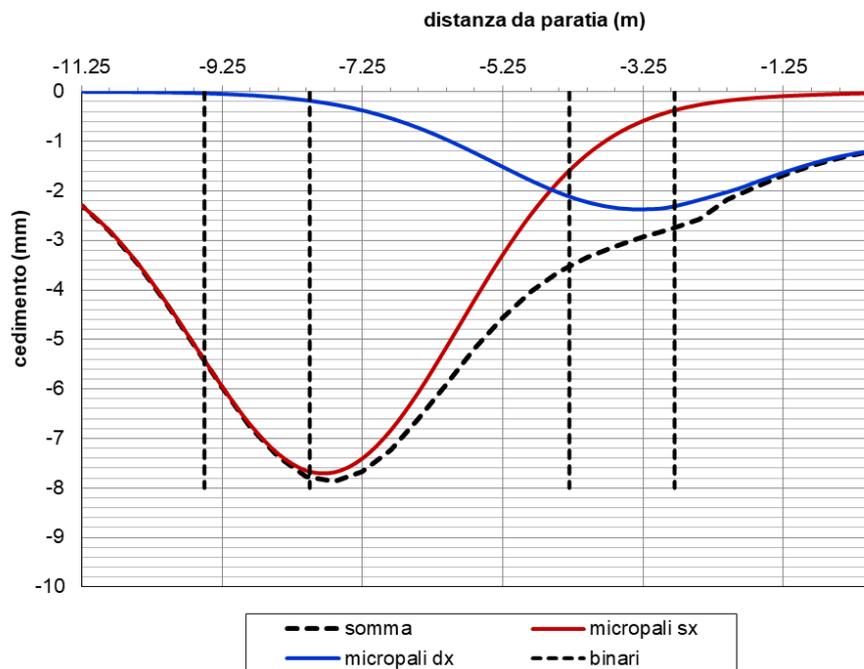


Figura 8: andamento dei cedimenti a tergo dell'opera di sostegno

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche le quali sono soddisfatte.

(valutato il binario più vicino all'opera di sostegno con fondo scavo maggiore)

<b>scavi sovrapposti</b>			
cedimento bin. sx=	5.1	mm	
cedimento bin. dx=	7.8	mm	
<b>scavo dx</b>			
cedimento bin. sx=	0.0	mm	
cedimento bin. dx=	0.2	mm	
<b>scavo sx</b>			
cedimento bin. sx=	5.1	mm	
cedimento bin. dx=	7.6	mm	
LIVELLO TRASVERSALE MAX (XL)=	2.7	mm	ok<=20 mm
LIVELLO LONGITUDINALE (XL)=	5.07	mm	ok<=17 mm
SGHEMBO su base 3 m ( $\gamma_{3m}$ ) =	2.3	mm	ok<=5.8 mm