

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA FIUMETORTO - LERCARA DIRAMAZIONE (Lotto 1+2)**

**Muri di Linea**

Relazione di calcolo paratia

SCALA:

-
---

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

RS90    00    Y    78    CL    MU2000    001    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	S. Di Francia	Luglio 2023	V. Marcaroni	Luglio 2023	A. Barreca	Luglio 2023	F. Faccin	Luglio 2023

ITALFERR S.p.A.  
 Gruppo Ferrovie dello Stato  
 Direzione Tecnica  
 S.O. Progettazione Integrata e Field Engineering  
 Dott. Ing. Francesco Sacchi  
 Ordine degli Ingegneri Prov. di Roma n. 231/254

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	DESCRIZIONI DELLE OPERE.....	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
4	MATERIALI.....	8
4.1	CALCESTRUZZO RIEMPIMENTO MICROPALI E CORDOLI DI COLLEGAMENTO .....	8
4.2	ACCIAIO DA CARPENTERIA PER TUBOLARI MICROPALI .....	8
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	9
5.1	MODELLO GEOTECNICO DI PROGETTO.....	10
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	11
7	APPROCCI NORMATIVI.....	13
8	VERIFICHE .....	14
9	MODELLO DI CALCOLO .....	16
10	RISULTATI .....	22
10.1	VERIFICHE STRUTTURALI PARATIA.....	22
10.2	VERIFICHE SLU-GEO .....	25
10.3	VERIFICHE STABILITÀ GLOBALE .....	26
11	INCIDENZE.....	27

Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	3 di 27

## **1 PREMESSA**

Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici riguardanti la "Progettazione Definitiva del Raddoppio della Linea Ferroviaria Messina – Catania - Palermo nella tratta Fiumetorto - Lercara", in relazione agli interventi di potenziamento delle infrastrutture nazionali previste dalla legge n. 443/2001.

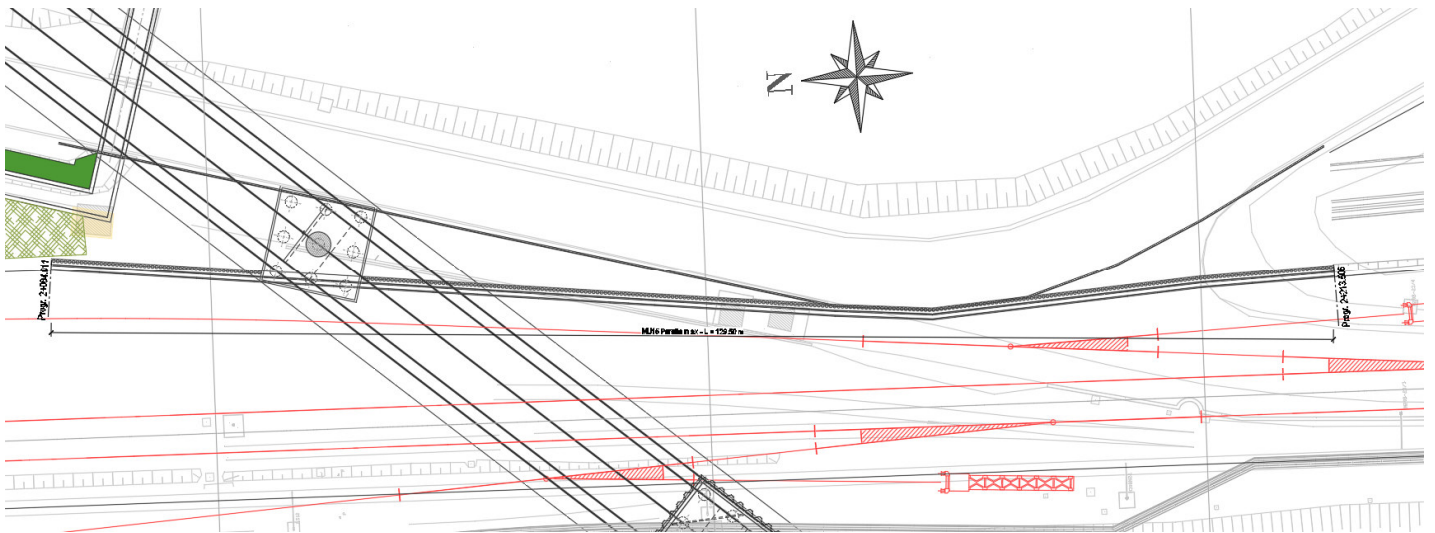
Nei paragrafi seguenti si procederà pertanto, dopo una breve descrizione delle opere in progetto, all'esposizione di tutti i criteri generali ed ipotesi alla base dei dimensionamenti effettuati, e quindi a seguire i risultati di tutte le verifiche strutturali e geotecniche eseguite.

L'opera in esame è costituita da una paratia di micropali identificata come MU20, con lunghezza di 120.00m circa.

## 2 DESCRIZIONI DELLE OPERE

Le opere oggetto di verifica consistono in una paratia di pali  $\phi$  300 ad interasse di 0.40 m armata con un tubolare in acciaio  $\phi$  219.1 s=12mm. La lunghezza dei micropali è pari a  $L=8.0m$ . L'opera è ubicata tra le pk. 2+048.011 e 2+213.506 per uno sviluppo complessivo di 120.0m.

Nel seguito si riportano alcune immagini rappresentative dell'opera in esame rimandando agli elaborati grafici di riferimento per ulteriori approfondimenti.



**Fig. 1 – Inquadramento planimetrico**

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 78 CL	NG 01 00 003	A	5 di 27

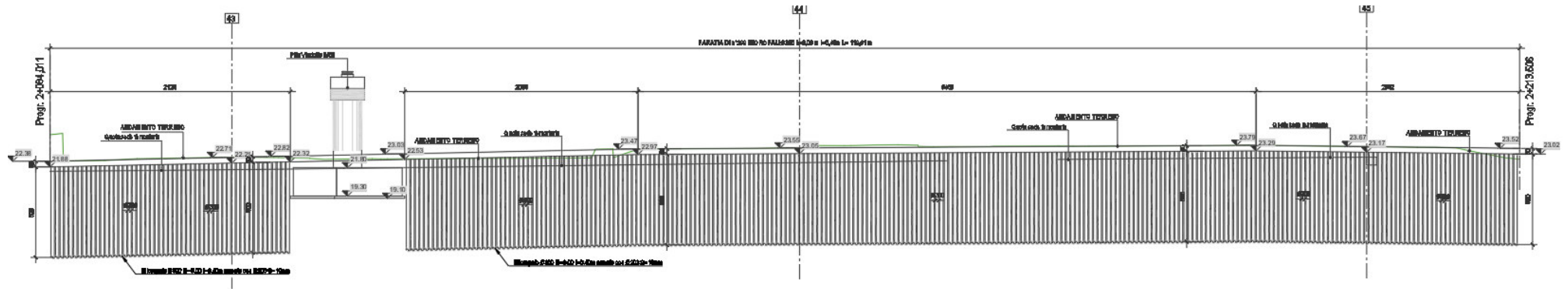


Fig. 2 – Sviluppo longitudinale

Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	6 di 27

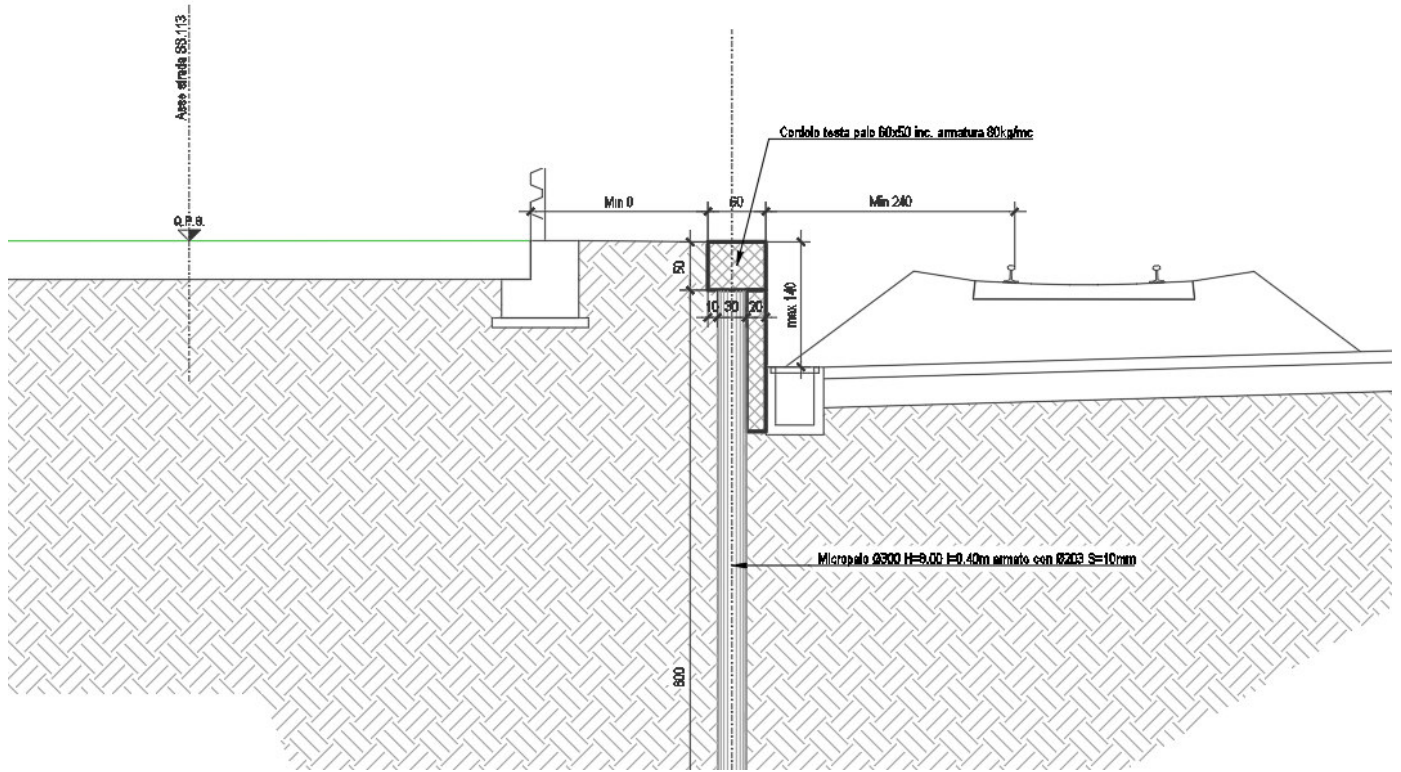


Fig. 3 – Sezione Tipo Paratia

Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	7 di 27

### 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale eprecompresso, ed a struttura metallica”.
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- Ministero delle Infrastrutture dei Trasporti, DM 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni» (GU n. 42 del 20 febbraio 2018)
- Circolare Applicativa n 7 del 21 gennaio 2019 (GU n.35 del 11-2-2019 – Suppl. Ordinario n. 5.)
- UNI EN 1992-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Regole generali”.
- UNI EN 1992-2 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Ponti”.
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- UNI EN 206-1:2014: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI 11104: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1”.
- “Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.”.
- RFI DTC SI SP IFS 001: "Capitolato generale tecnico di appalto OOCC RFI"
- RFI DTC SI MA IFS 001: "Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e strutture" e Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale";

Nella presente relazione si è fatto riferimento ai seguenti elaborati:

- RS3Z00D78RHOC0001001B - Relazione generale geotecnica
- RS9000Y78GEGE0006001A - Addendum relazione geotecnica generale - Viabilità NV02
- RS9000Y78F7GE0006001A – Profilo geotecnico NV02
- RS3Z00D78F6OC0001002C - Profilo geotecnico
- RS9000Y78BZMU2000001A - Pianta, profilo e Sezione Tipo Paratia

Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	8 di 27

## 4 MATERIALI

### 4.1 Calcestruzzo riempimento micropali e cordoli di collegamento

Classe di resistenza:	C25/30		
Resistenza a compressione cubica caratteristica	$R_{ck} =$	30	$N/mm^2$
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	24.9	$N/mm^2$
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} =$	32.9	$N/mm^2$
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} =$	2.56	$N/mm^2$
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} =$	3.07	$N/mm^2$
Modulo elastico secante medio	$E_{cm} =$	31447	$N/mm^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} =$	1.79	$N/mm^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} =$	3.33	$N/mm^2$
<i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i>	$\gamma_c =$	1.5	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU:	$f_{cd} =$	14.1	$N/mm^2$
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU:	$f_{ctd} =$	1.19	$N/mm^2$
<i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i>	$\gamma_c =$	1.0	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE:	$f_{cd} =$	24.9	$N/mm^2$
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE:	$f_{ctd} =$	1.79	$N/mm^2$
Massime tensioni di compressione in esercizio:			
Combinazione rara	$\sigma_{c,ad} =$	14.94	$N/mm^2$
Combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,ad} =$	11.21	$N/mm^2$
Classe di esposizione		XC2	

### 4.2 Acciaio da carpenteria per tubolari micropali

Tensione di snervamento	$f_{yk} \leq 275 N/mm^2;$
Tensione di rottura	$f_{tk} \leq 430 N/mm^2;$
Modulo elastico	$E = 210.000 N/mm^2;$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3;$
Modulo di elasticità trasversale	$G = E / [2 (1 + \nu)] = 80769.23 N/m^2;$
Coefficiente di espansione termica lineare	$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ per } ^\circ C^{-1} \text{ (per T fino a } 100 \text{ } ^\circ C);$
Densità	$\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3.$



Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	9 di 27

## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

La definizione del modello geotecnico di sottosuolo di riferimento per il dimensionamento delle strutture di fondazione dell'opera è trattata diffusamente nei seguenti documenti di progetto:

Relazione geotecnica generale linea ferroviaria - RS3Z00D78RHOC0001001B;

Addendum relazione geotecnica generale - Viabilità NV02 - RS9000Y78GEGE0006001A

I valori delle caratteristiche fisico meccaniche definiti per ciascuna unità di cui in riferimento, a seguito dell'interpretazione delle diverse prove in sito e di laboratorio effettuate nell'ambito delle diverse campagne di indagini geotecniche eseguite a supporto della progettazione, sono quelle di seguito riportate:

descrizione	ALLUVIONI Sabbie e ghiaie	ALLUVIONI Limi sabbiosi, sabbie limose	ALLUVIONI Argille limose, limi argillosi	ARGILLE VARICOLORI Argilla mamosa	ARGILLE VARICOLORI Argilla limosa
GRUPPO GEOTECNICO	<b>b1</b>	<b>b2</b>	<b>b3</b>	<b>AVF/1</b>	<b>AVF/2</b>
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.5-21	19-21	19-22	23-25	22.5
Dr (%)	50-70	30-50			
c' (kPa)	0	7-30	10-60		20-30
c'res (KPa)			12-30		
$\phi'$ (°)picco	35-38	32-36	26		
$\phi'$ cv (°)	30-33	22-27	20-24		20
$\phi'$ res (°)			7-13		10
Ip (%)	10-16	10-25	18-30		12
Ic (-)	1.1	1-1.8	1-2		1.3-1.5
Cu (kPa)		138	z=0-25m → c <sub>u</sub> (z)=50+1.67z C <sub>u,lim</sub> =150		100-250
EO (MPa) (modulo dinamico)	z=10-40m → 150-260	z=0-10 → 80-130 z=10-30 → 130-200	z=0 → 50-80 → 150-180 z=15	500	230
E'op (MPa) = Eo/5	30-50	z=0-10 → 15-25 z=10-30 → 25-40	z=0 → 10-15 z=15 → 30-35	100	
v' (-)	0.25-0.3	0.25-0.3	0.25-0.3	0.25-0.3	0.25-0.3
$\sigma_p'$ (kPa)		200-300	200-300		
OCR (-)		z=0-3 → 3-4 z>8 → 1	z=0-5 → 3-5 z>8 → 1		1
e <sub>o</sub>	0,47-0,6	z=0-10 → 0.55-0.80 z=10-30 → 0.32-45	z=0-10 → 0.50-0.72 z=10-25 → 0.30-50		0.4
Cc (-)		0.13-0.18	0.18-0.19		0.2
Cs (-)		0.04-0.07	0,07-0,09		0.07
Eed (MPa)		6-10	4-10		6-14
Cv (m <sup>2</sup> /s)		E-6 ÷ E-8	E-6 ÷ E-8		E-7 ÷ E-8
GSI (-)					
mi (-)					
$\sigma_c$ (MPa)				20	1-4
Em (MPa)					
K0 (-)	1-sen( $\phi'_{cv}$ )	(1-sen( $\phi'_{cv}$ ))*(OCR) <sup>0,5</sup>	(1-sen( $\phi'_{cv}$ ))*(OCR) <sup>0,5</sup>		1-sen( $\phi'_{cv}$ )
k (m/s)	E-3 ÷ E-5	E-5 ÷ E-7	E-8 ÷ E-7	E-7	E-8 ÷ E-10
JRC				8-14	

Tabella 1: Parametri geotecnici di progetto

### 5.1 Modello Geotecnico di progetto

Le caratteristiche geotecniche del volume di terreno che interagisce con l'opera sono state desunte tenendo conto di quanto risultante nel profilo geologico e dalla caratterizzazione dei litotipi riportati nella relazione geotecnica generale.

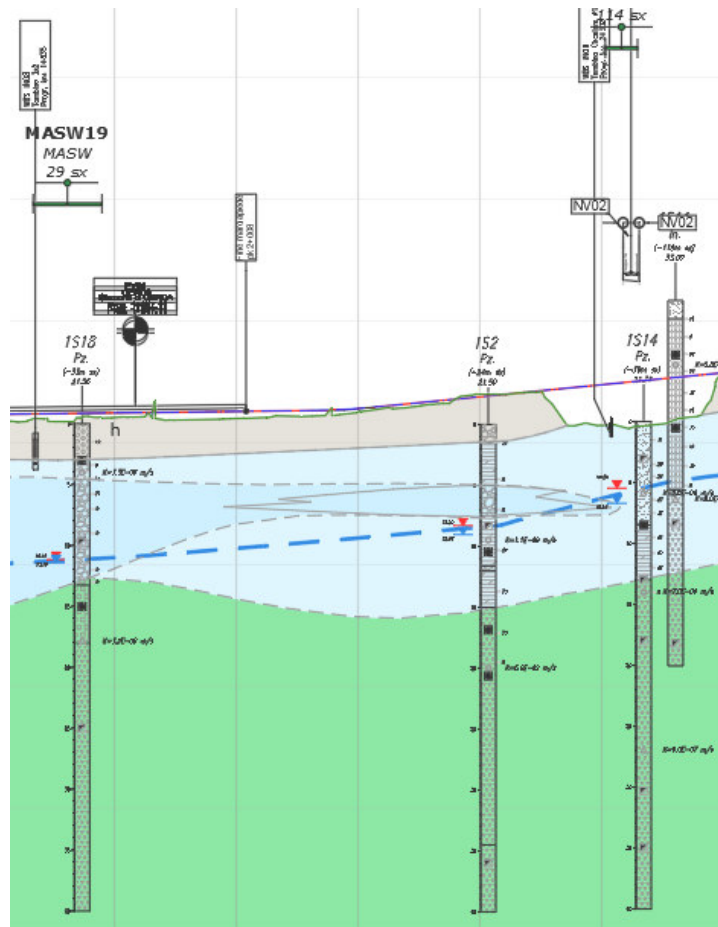


Fig. 4 – Stralcio profilo geologico

In via cautelativa, per il calcolo della paratia in oggetto, è stata considerata la sola Unità b1 avente le seguenti caratteristiche meccaniche:

Unità	$\gamma$	$c'$	$\varphi'$	$\nu$	$E'$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[°]	[-]	[MPa]
<b>b1</b>	20	0	33*	0.25	30

\* per l'angolo di attrito si è utilizzato l'angolo a volume costante

La quota di falda è assunta ad una profondità di circa 11m dal p.c.locale.

Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	11 di 27

## 6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Per tutte le opere d'arte di progetto vengono utilizzati, a vantaggio di sicurezza, i seguenti valori: VN=75 anni e classe d'uso III a cui corrisponde un coefficiente d'uso CU = 1.50. La vita di riferimento VR è quindi pari a 112.5 anni.

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

Classe d'uso: III

Coefficiente d'uso CU=1.5

Vita Nominale VN=75 anni

Categoria di suolo: B

Condizione topografica: T1

Fattore di comportamento: q=1

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATTITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

**Elaborazioni grafiche**

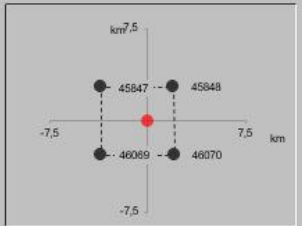
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri


**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

**Nodi del reticolo intorno al sito**



**Reticolo di riferimento**



Controllo sul reticolo:

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione:

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

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

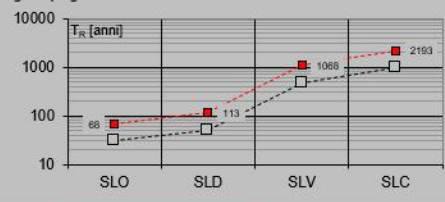
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="68"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="113"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1068"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2193"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato  info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo  info  $S_B = 1,358$   $C_C = 1,546$  info

Categoria topografica  info  $h/H = 0,000$   $S_T = 1,000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%)   $\eta = 1,000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_s$   Regol. in altezza  info

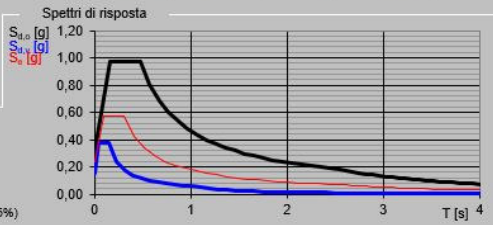
Compon. verticale

Spettro di progetto Fattore  $q_v$    $\eta = 1,000$  info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



STATO LIMITE	SLV
$a_{gs}$	0,235 g
$F_0$	2,428
$T_C^*$	0,310 s
$S_S$	1,358
$C_C$	1,546
$S_T$	1,000

## 7 APPROCCI NORMATIVI

Le verifiche delle strutture di sostegno sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

- collasso del complesso opera-terreno;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza elementi strutturali parete;
- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi.

Come prescritto dal DM 17/01/2018 per le strutture di sostegno flessibili, è stato adottato l'Approccio Progettuale 1 con le due combinazioni di coefficienti parziali (tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I del DM 17/01/2018):

- combinazione 1:  $A1 + M1 + R1$
- combinazione 2:  $A2 + M2 + R1$ .

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto con la verifica di stati limite ultimi GEO, applicando la Combinazione 2 ( $A2+M2+R1$ ). Per le verifiche di stati limite ultimi STR l'analisi è stata condotta la combinazione 1 ( $A1+M1+R1$ ), applicando i coefficienti parziali  $A1$  ( $\gamma = 1.3$ ) all'effetto delle azioni.

Il corretto dimensionamento nei confronti degli SLU assicura che gli spostamenti dell'opera siano compatibili con le esigenze di funzionalità della stessa; pertanto, trattandosi di opere provvisoriale, in assenza di fabbricati o altre opere da salvaguardare a ridosso delle stesse, non si ritengono necessarie ulteriori valutazioni di verifica nei confronti degli SLE.

Per le verifiche di stabilità globale è stato applicato l'Approccio 1- Combinazione 2 ( $A2+M2+R2$  – tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I del DM 17/01/2018).

Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	14 di 27

## 8 VERIFICHE

### VERIFICHE STRUTTURALI

#### 8.1.1 Verifiche strutturali paratia

Le verifiche strutturali della paratia sono state eseguite con riferimento alle caratteristiche geometriche della sezione e dei materiali utilizzati.

In particolare, per le verifiche sezionali della parete sono state utilizzate le seguenti relazioni:

$$M_{Res} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} \cdot W_{EL} = f_{yd} \cdot W_{EL}$$

$$T_{Res} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} \cdot A_V = f_{yd} \cdot A_V$$

dove:

$f_{yk}$  = tensione a snervamento caratteristica dell'acciaio utilizzato;

$\gamma_M$  = coefficiente riduttivo resistenza del materiale (1.05);

$f_{yd}$  = tensione a snervamento di progetto dell'acciaio  
utilizzato;  $W_{EL}$  = modulo di resistenza elastico;

$A_V$  = area di taglio.

## VERIFICHE GEOTECNICHE

### 8.1.2 Verifiche collasso complesso terreno-opera

Per quello che riguarda le verifiche di collasso terreno - opera, l'analisi di interazione terreno struttura permette di valutare l'aliquota di mobilitazione della resistenza passiva nel terreno a valle dell'opera di sostegno.

Supponendo che a monte venga completamente attinta la resistenza attiva, ipotesi ragionevole per le opere considerate, il margine di sicurezza nei confronti di un meccanismo di collasso viene esplicitato dimostrando che, durante tutte le fasi di scavo, il rapporto di mobilitazione della resistenza passiva si mantenga minore dell'unità, ovvero che non venga completamente attinta tale resistenza nel terreno di valle.

### 8.1.3 Verifiche instabilità globale terreno-opera

La verifica di stabilità globale terreno-opera, ovvero la verifica che non si instauri un meccanismo di collasso nel terreno che incorpori l'opera di sostegno, viene eseguita numericamente a mezzo di un'applicazione dei metodi dell'equilibrio limite e, in particolare, mediante il cosiddetto "Metodo delle Strisce". Il modello utilizzato per il calcolo è quello di Bishop nel quale viene studiato l'equilibrio di una superficie di scorrimento circolare mediante considerazioni di natura statica. Il coefficiente di sicurezza nei riguardi della specifica superficie di scorrimento considerata, viene definito come il rapporto tra la tensione tangenziale agente e la tensione tangenziale resistente. Il criterio di resistenza utilizzato, mediante il quale si stima la resistenza sulla superficie di scorrimento, è quello di Mohr Coulomb:

$$\tau_{RES} = c'_d + \sigma'_N \tan \varphi'_d$$

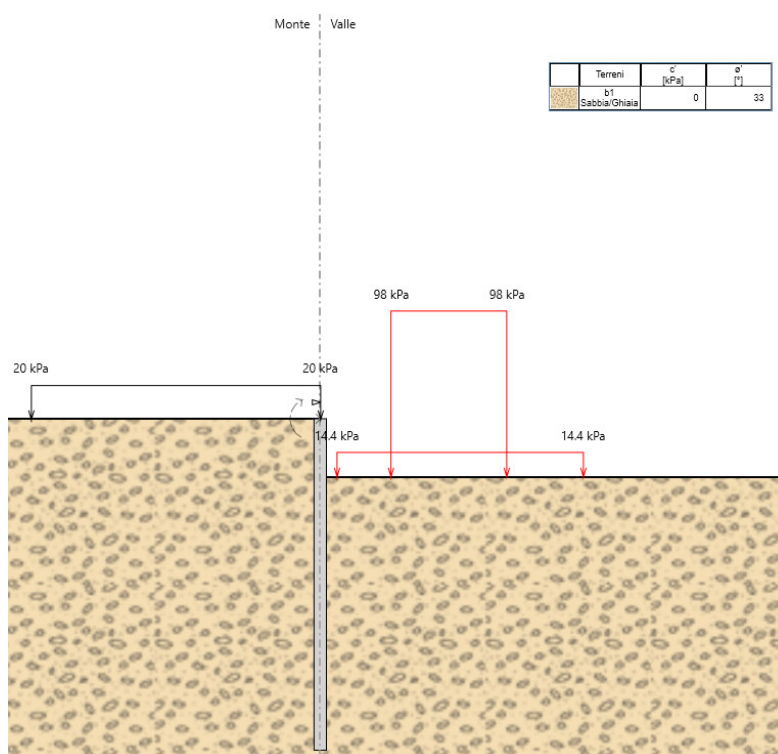
## 9 MODELLO DI CALCOLO

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o inserimento degli elementi di contrasto) è opportuno l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia. Allo scopo si impiega il programma di calcolo "PARATIEPLUS" Versione 23.0 della HarpaCeas s.r.l. di Milano. 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 vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

Con tale metodo, si può quindi seguire analiticamente la successione delle fasi di costruzione, di carico e di contrasto, consentendo di fornire informazioni attendibili sull'entità delle deformazioni e sugli effetti che esse inducono sul diagramma delle pressioni esercitate dal terreno sulla paratia.





Relazione di calcolo paratia

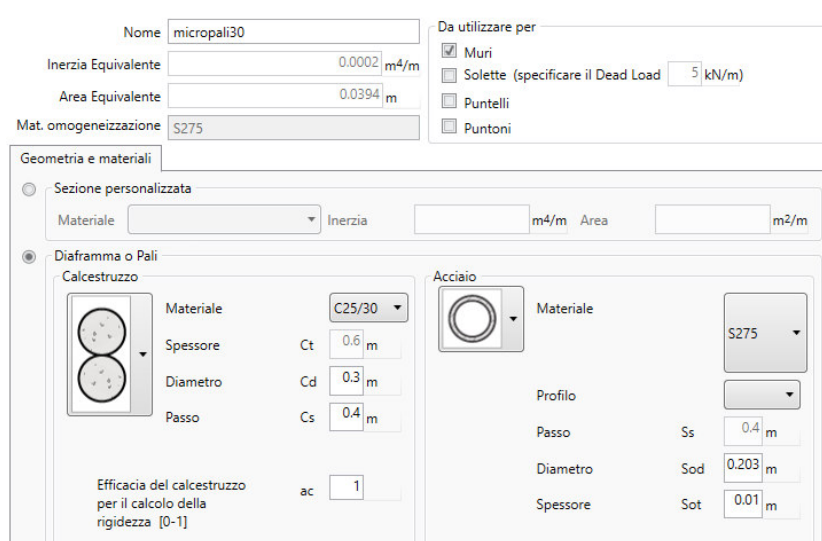
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	17 di 27

## GEOMETRIA DEL MODELLO DI CALCOLO

Nel seguito si riportano le caratteristiche geometriche del modello di calcolo:

PARATI ADI MICROPALI	
Tipologia struttura di sostegno	Micropali $\phi 300$ interasse 0.40 m
Materiali	C25/30
Lunghezza pali	$L_{\text{palo}} = 8.00\text{m}$
Tubolare	D/s (mm) 219.1/12
Cordolo (bxh)	0.60m x 0.50m

**Tabella – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo**



The screenshot shows a software interface for defining the geometry and materials of a paratia section. Key input fields include:

- Nome:** micropali30
- Inerzia Equivalente:** 0.0002 m<sup>4</sup>/m
- Area Equivalente:** 0.0394 m
- Mat. omogeneizzazione:** S275
- Da utilizzare per:** Muri (checked), Solette (specificare il Dead Load 5 kN/m), Puntelli, Puntoni.
- Geometria e materiali:**
  - Sezione personalizzata:** Materiale, Inerzia (m<sup>4</sup>/m), Area (m<sup>2</sup>/m).
  - Diaframma o Pali:**
    - Calcestruzzo:** Materiale (C25/30), Spessore (Ct: 0.6 m), Diametro (Cd: 0.3 m), Passo (Cs: 0.4 m), Efficacia del calcestruzzo (ac: 1).
    - Acciaio:** Materiale (S275), Profilo, Passo (Ss: 0.4 m), Diametro (Sod: 0.203 m), Spessore (Sot: 0.01 m).

**Figura 1 – Input Caratteristiche geometriche paratia**

Le analisi eseguite sono di tipo sequenziale, riproducendo in successione tutte le principali fasi operative previste per la realizzazione dell'opera. Quindi, il termine di ciascuna analisi rappresenta la condizione iniziale della la fase successiva. Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione, nell'ambito delle analisi effettuate

**Stage 1.** Condizione geostatica;

**Stage 2.** Attivazione sovraccarico accidentale stradale a monte della paratia e scavo fino ad una profondità di 1.40m dal piano campagna;

**Stage 3.** Attivazione sovraccarico accidentale ferroviario a valle della paratia;

**Stage 4.** Fase finale +sisma.

## DATI GEOTECNICI DI INPUT

I parametri che caratterizzano il modello possono essere distinti in due classi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno che compaiono nella definizione della rigidità delle molle.

### Parametri di spinta a riposo:

Il coefficiente di spinta a riposo è stato calcolato mediante la ben nota formula di Jaky:

$$k_0 = 1 - \sin \varphi$$

### Parametri di spinta attiva e passiva:

I coefficienti di spinta attiva e passiva vengono calcolati automaticamente dal software di calcolo in dipendenza dei seguenti parametri:

- angolo d'attrito del terreno ( $\varphi$ );
- angolo del paramento del muro ( $\psi$ );
- angolo d'attrito terra-muro ( $\delta$  – pari al 50% dell'angolo d'attrito del terreno);
- angolo d'inclinazione del pendio a monte ( $\varepsilon$ ) posto pari a  $0^\circ$  per la parete.

PARATIE PLUS tiene conto dell'attrito terra-muro (angolo  $\delta$ ) solo nel calcolo di  $k_P$ , che viene valutato tramite la correlazione di Lancellotta (2007)). Il coefficiente  $k_A$  viene sempre valutato con le formule di Coulomb, ignorando, di default, l'effetto di  $\delta$ .

$$k_A = \frac{\sin^2(\psi + \varphi)}{\sin^2\psi \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\psi - \delta) \cdot \sin(\psi + \varepsilon)}}\right]^2}$$

$$k_P = \frac{\cos \delta}{1 - \sin \varphi} \cdot \frac{(\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \delta}) e^{2\varphi \tan \varphi}}{\sin \delta} = \arccos\left(\frac{\sin \delta}{\sin \varphi}\right) + \delta$$

### Parametri di deformabilità del terreno:

Per la definizione del modulo di Young si utilizza il modello Elasto-plastico inserendo il valore di E manualmente. Il programma provvede automaticamente a calcolare le costanti di sottofondo per ogni fase di scavo come:

$$K_{monte} = \frac{E_m \cdot \Delta}{B_m} \quad e \quad K_{valle} = \frac{E_v \cdot \Delta}{B_v}$$

Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	19 di 27

Dove  $\Delta$  è il valore fornito dalla schematizzazione agli elementi finiti e  $B_m$  e  $B_v$  sono rispettivamente le estensioni laterali del cuneo di spinta attiva e passiva del terreno alla quota del baricentro del cuneo stesso, per ogni fase di scavo:

$$B_m = \frac{2}{3} \cdot A \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right)$$

$$B_v = \frac{2}{3} \cdot (A - H) \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

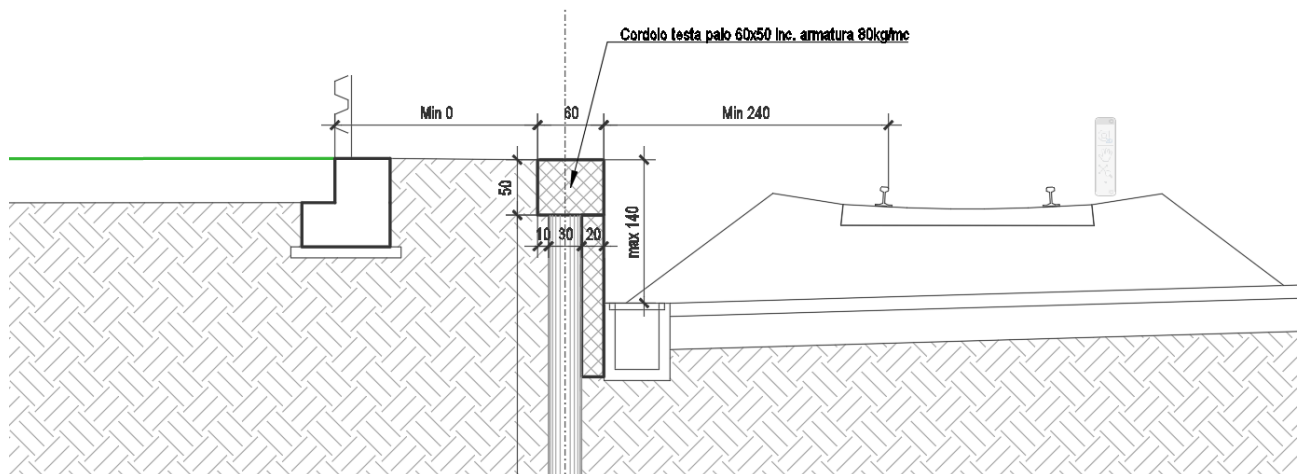
$$\text{con } A = \min(2H_{scavo}; H_{paratia})$$

Il calore del modulo in fase incrudente si assume pari a due volte il modulo di primo carico:

$$E_{ur} = 1.5 \cdot E_{vc}$$

#### ANALISI DEI CARICHI

I carichi agenti nel modello di calcolo, e considerati direttamente dal software, sono quelli dovuti alle spinte del terreno.



Altri carichi considerati sono:

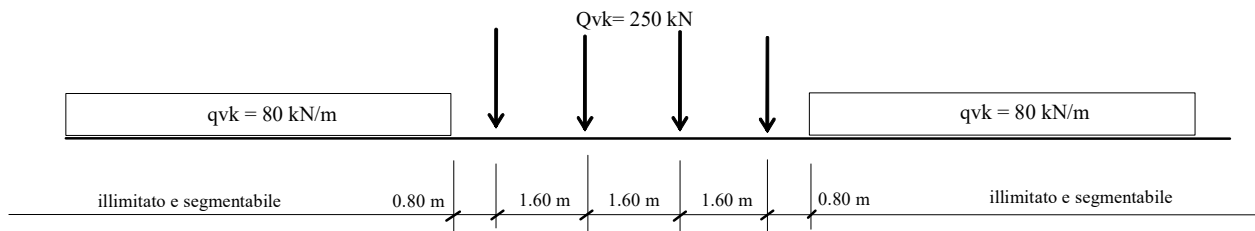
- Sul piano campagna, a monte dell'opera, è applicato un carico distribuito di 20kPa rappresentativo del carico stradale;
- A valle dell'opera, a quota pari a -1.40m, è applicato un carico permanente non strutturale corrispondente al peso del ballast pari a 14.4 kPa

$$q_{ballast} = h_{ballast} \times \gamma_{ballast} = 0.80 \times 18.0 = 14.40 \text{ kN/m}$$

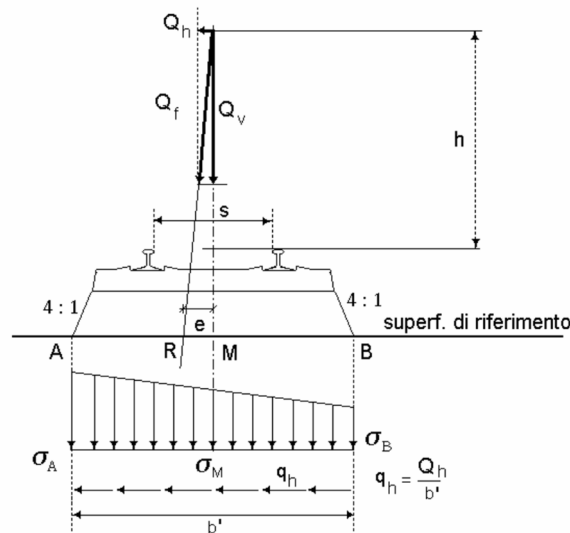
Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	20 di 27

- A valle dell'opera, a quota pari a -1.40m , è applicato un carico variabile rappresentativo del traffico ferroviario calcolato come di seguito:



Nel caso in esame, in senso trasversale e su ogni traverso e in asse binario, è presente una forza concentrata di 250kN distribuita poi, con una pendenza di 4:1.



A tale carico bisogna applicare il coefficiente  $\alpha$  secondo quanto dichiarato nel manuale di progettazione RFI, considerando che il carico più gravoso è quello dell'LM71:

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " $\alpha$ "
LM71	1,10
SW/0	1,10
SW/2	1,00

Tab. 2.5.1.4.1-1 Coefficiente " $\alpha$ "

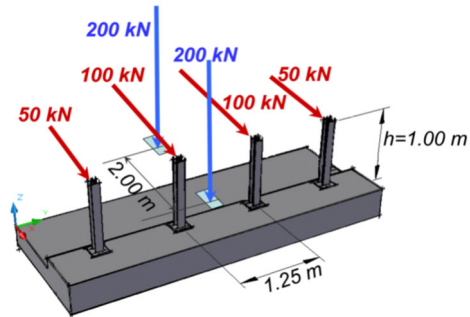
Per cui:

$$q_{LM71} = Q_v / L_{diff} * \alpha = (1000/6.4/2.80)*1.10 \approx 60 \text{ kPa}$$

Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	21 di 27

- In testa alla paratia, lato monte, essendo presente la strada con annessa barriera, è stato considerato l'urto stradale calcolato come di seguito:



$$Q_{Urto} = (50+100+100+50)kN/10m = 30kN/m$$

$$M_{Urto} = Q_{Urto} * b = 30 * 1 = 30kN * m$$

## 10 RISULTATI

In questa sezione vengono presentati i risultati in termini di verifiche strutturali e geotecniche secondo i criteri esposti in precedenza.

### 10.1 Verifiche strutturali paratia

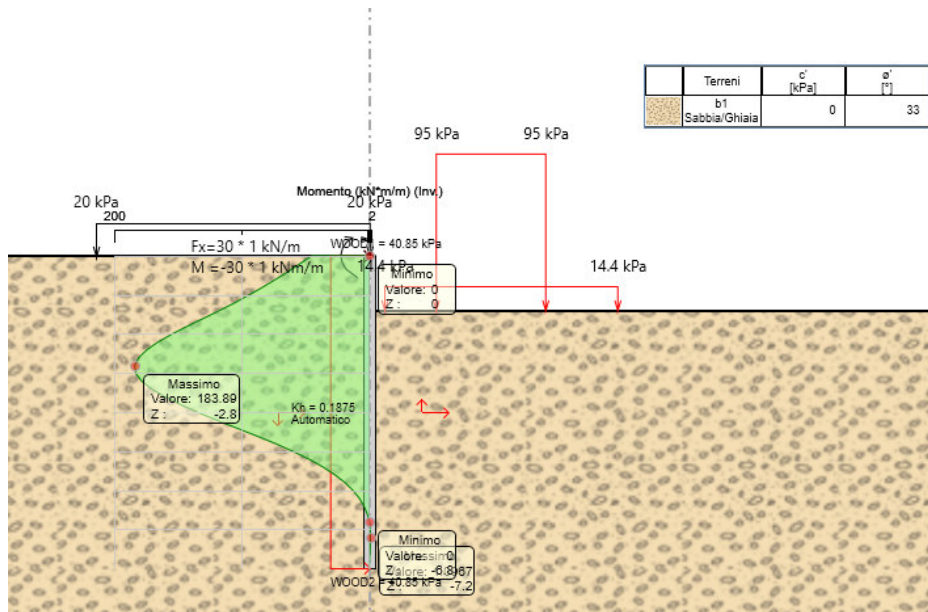


Fig. 5 – Involuppo momento flettente paratia – Comb A1+M1+R1

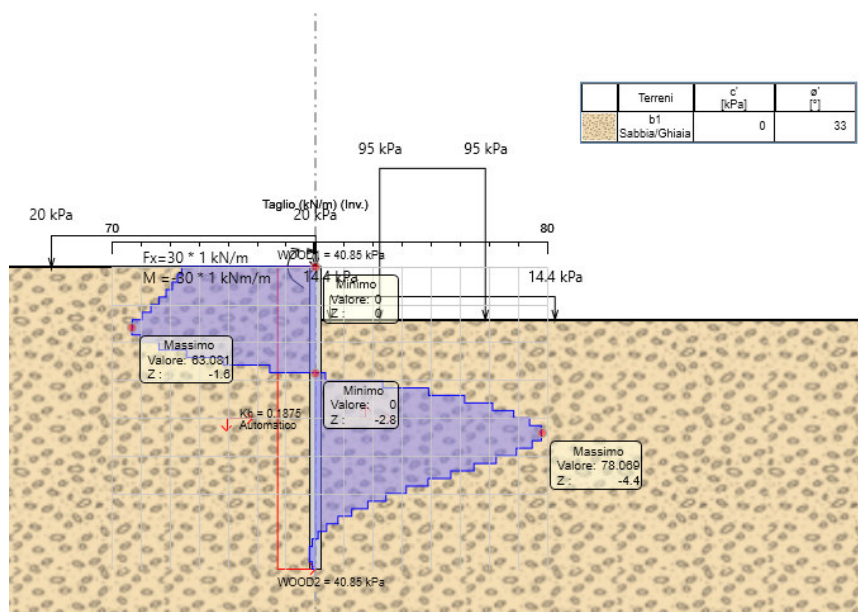


Fig. 6 – Involuppo taglio paratia – Comb A1+M1+R1

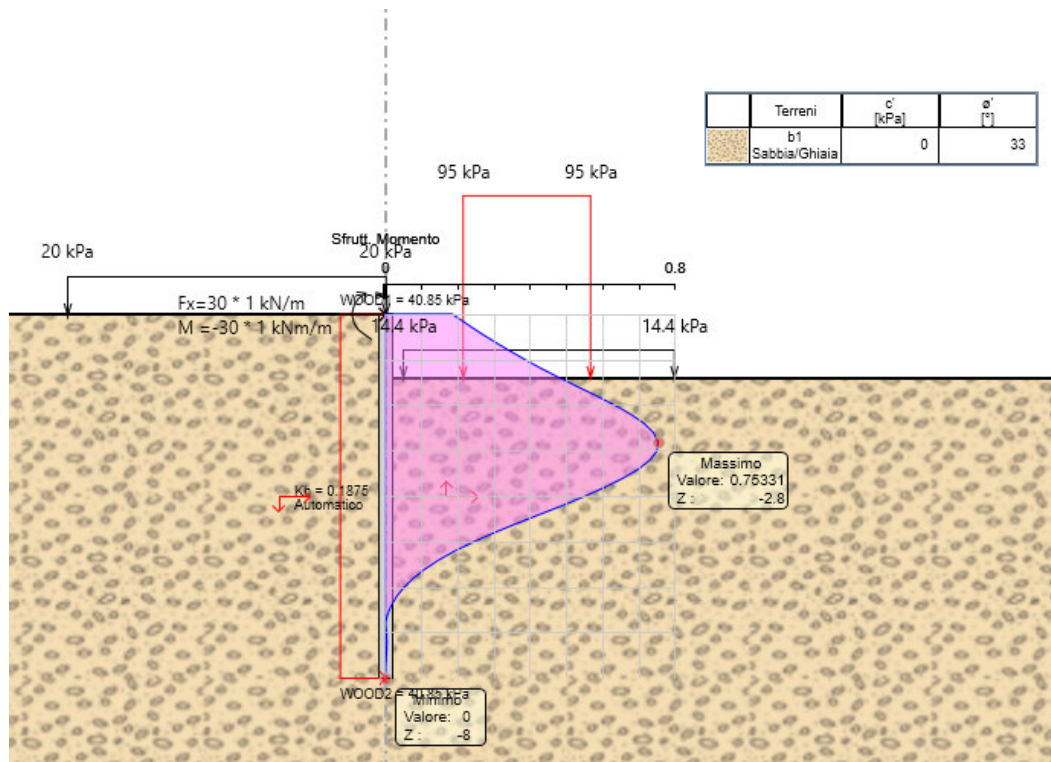


Fig. 7 – Involuppo tasso di sfruttamento momento paratia– Comb A1+M1+R1

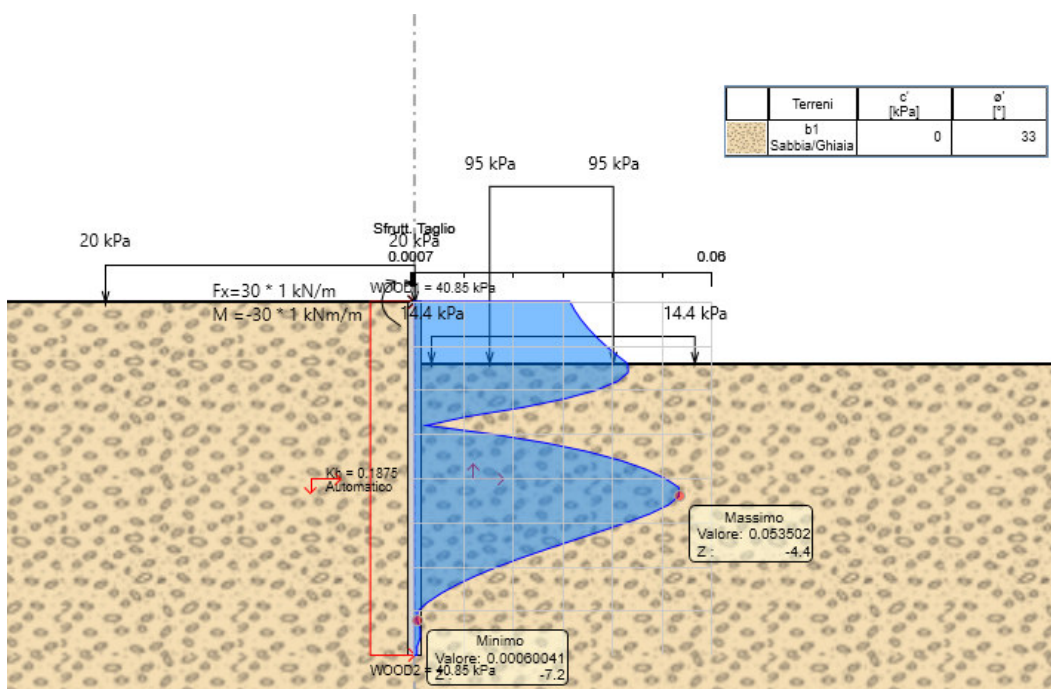
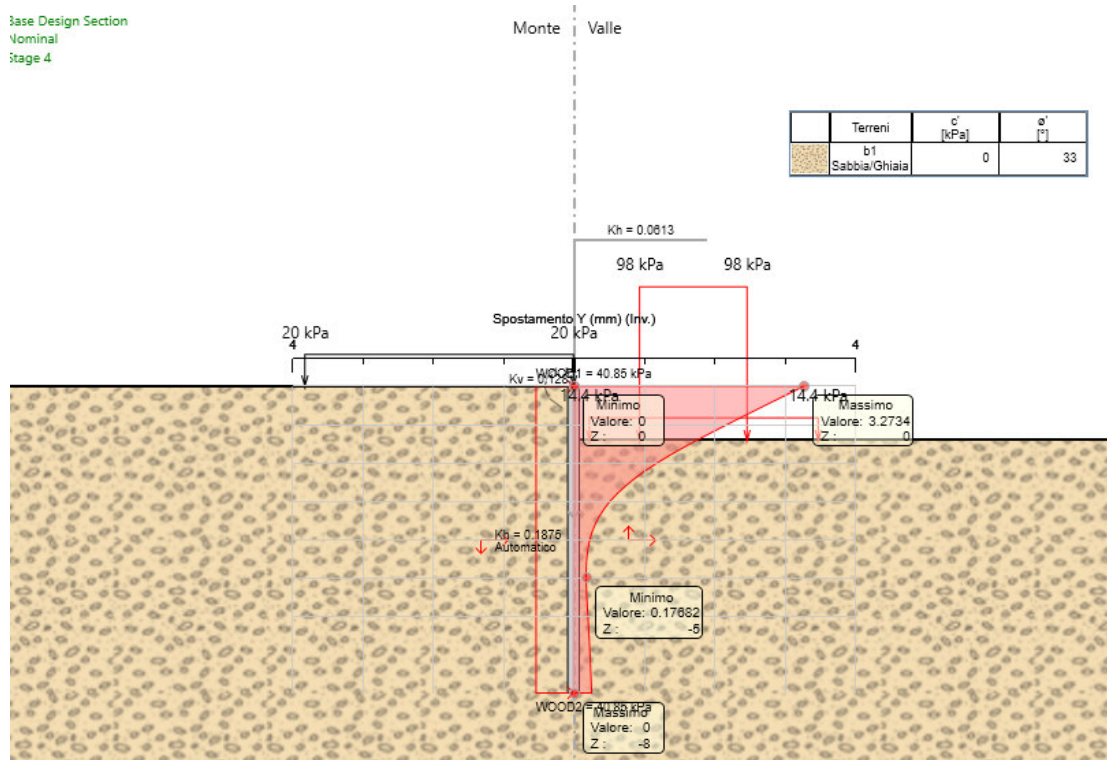


Fig. 8 – Involuppo tasso di sfruttamento taglio paratia– Comb A1+M1+R1



**Fig. 9 – Massimo spostamento orizzontale paratia – SLE**

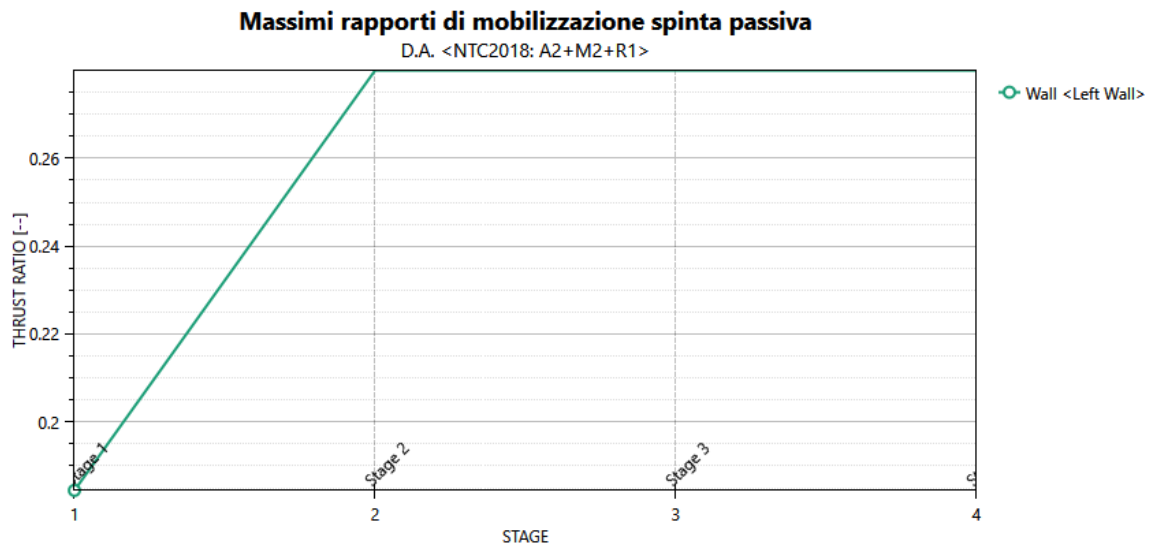


Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	25 di 27

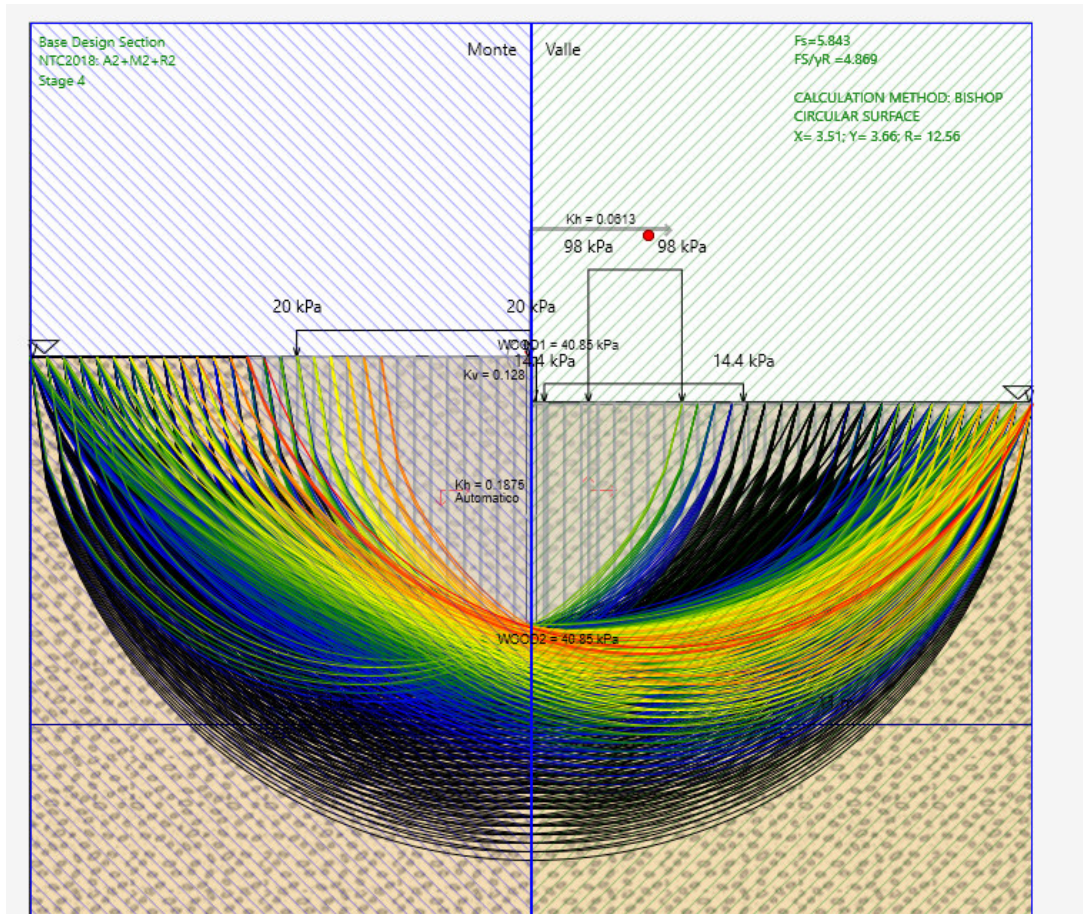
## 10.2 Verifiche SLU-GEO

Nel grafico seguente si riporta il fattore di mobilitazione della resistenza passiva a valle dell'opera di sostegno che rappresenta un indicatore sintetico della stabilità del complesso terreno-opera. La combinazione di riferimento in questo caso è la A2+M2+R1.



Nella fase finale si osserva un fattore di mobilitazione della resistenza passiva pari a 0.28. La verifica risulta soddisfatta.

### 10.3 Verifiche stabilità globale



La verifica è stata eseguita mediante il software di calcolo GeoStudio 2018, introducendo nel calcolo i valori dei parametri di resistenza ridotti secondo i coefficienti parziali del gruppo M2.

Relazione di calcolo paratia

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00	Y 78 CL	MU 20 00 001	A	27 di 27

## 11 INCIDENZE

Per i cordoli in ca si prevede un'incidenza di 80 kg/mc.