

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. INFRASTRUTTURE NORD

## PROGETTO DEFINITIVO

### DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

### RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2

VIABILITA'  
NV20 – NUOVA VIABILITA' DI COLLEGAMENTO ROCCAPALUMBA-LERCARA

Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo

SCALA:

-

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

RS3Z 00 D 26 CL NV2005 006 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
B	1° agg. a consegna per CSSLP	V. Peisino	Giù. 2020	F. Coppini	Giù. 2020	A. Barreca	Giù. 2020	F. Sacchi Giugno 2020 
A	Emissione esecutiva	V. Peisino	Feb. 2020	F. Coppini	Feb. 2020	A. Barreca	Feb. 2020	

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2. NORMATIVA E RIFERIMENTI .....</b>	<b>6</b>
2.1 NORMATIVA .....	6
2.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	6
2.3 SOFTWARE UTILIZZATO .....	6
<b>3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>	<b>7</b>
3.1 ACCIAIO PER ARMATURE LENTE.....	7
3.2 CALCESTRUZZO.....	7
3.2.1 CALCESTRUZZO PER CORDOLO PARATIA.....	7
3.2.2 CALCESTRUZZO PER PALI.....	7
<b>4. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>9</b>
<b>5. INQUADRAMENTO SISMICO .....</b>	<b>11</b>
<b>6. COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>12</b>
6.1 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - SLU .....	13
6.2 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE.....	14
<b>7. CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA.....</b>	<b>15</b>
7.1 COLLASSO PER ROTAZIONE INTORNO AD UN PUNTO DELL'OPERA.....	15
7.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA.....	15
<b>8. CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE.....</b>	<b>17</b>
8.1 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI PER PRESSOFLESSIONE E TAGLIO .....	17
8.2 VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....	19
<b>9. ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>20</b>

9.1	PESO PROPRIO DELLA PARATIA.....	20
9.2	SPINTA DELLE TERRE .....	20
9.3	SPINTA DELL'ACQUA.....	22
9.4	AZIONE SISMICA .....	22
<b>10.</b>	<b>ANALISI DI CALCOLO.....</b>	<b>24</b>
10.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	24
10.2	STRATIGRAFIA DI CALCOLO .....	26
10.3	MODELLO DI CALCOLO .....	26
10.4	RISULTATI DELLE ANALISI .....	30
10.4.1	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	34
10.4.2	VERIFICHE STRUTTURALI .....	35

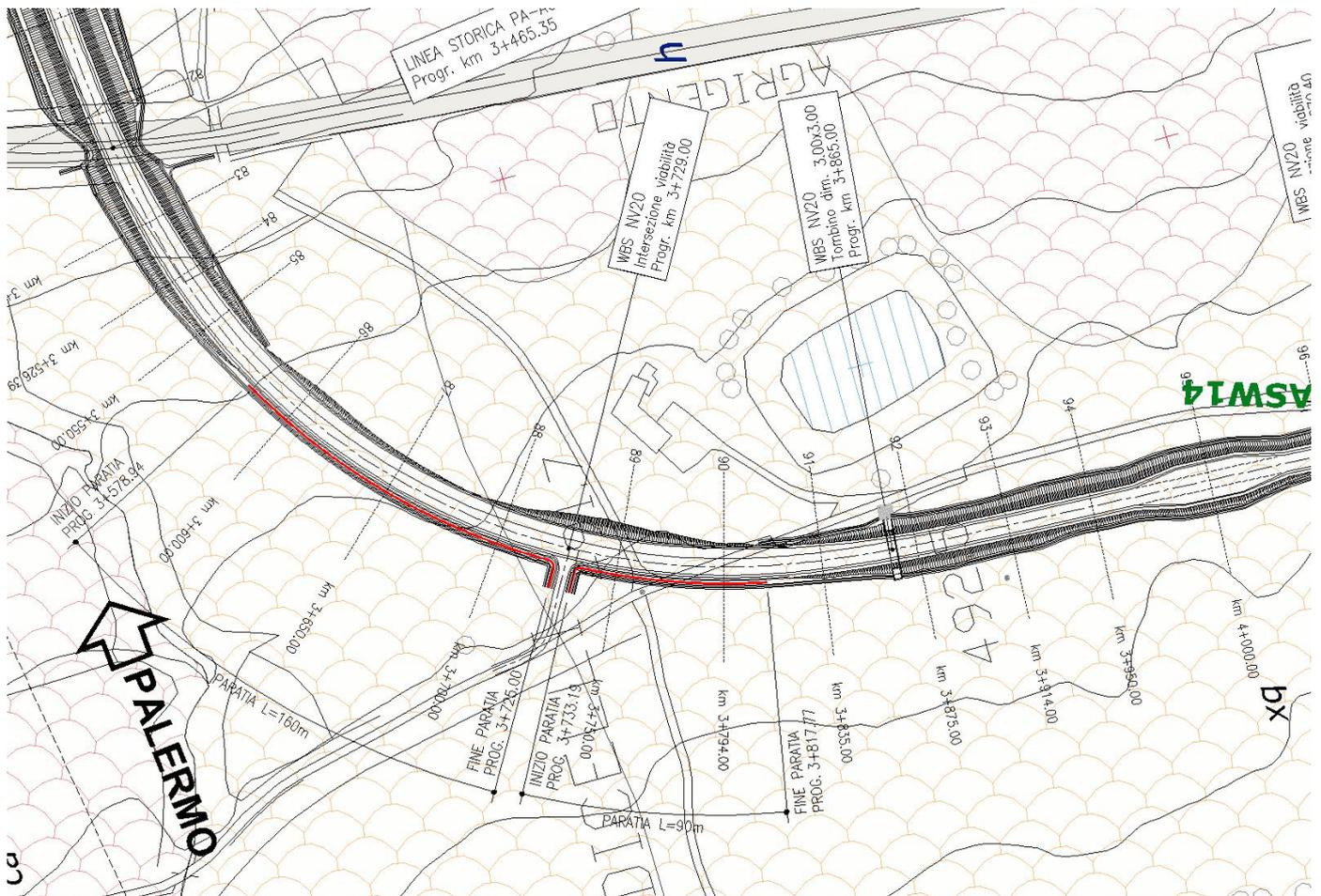
## ALLEGATI

- ALLEGATO 1: TABULATO DI CALCOLO PARATIA

## 1. PREMESSA

La presente relazione espone i criteri di dimensionamento e le verifiche adottate per il calcolo geotecnico e strutturale delle paratie di controripa previste nell'area in frana compresa tra la **pk 3+578.94** e la **pk 3+817.77** relativamente alla progettazione definitiva della "Direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo, Nuovo collegamento Palermo Catania. Raddoppio tratta Fiumetorto-Lercara diramazione – Lotto 1+2".

Di seguito si riporta uno stralcio planimetrico dell'ubicazione dell'opera oggetto di studio:



**FIGURA 1 STRALCIO PLANIMETRICO DELL'OPERA IN PROGETTO**



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1+2

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	5 di 38

La stabilizzazione/mitigazione della frana a monte è assicurata dalla realizzazione di una rete di drenaggi superficiali e profonde (trincee e paratie drenanti) e da pozzi strutturali drenanti. Per cui la paratia di controripa risulta necessaria a contenere la sola trincea e nel garantire la stabilità locale della stessa con materiale in condizioni residue.

La relazione si sviluppa dapprima con la descrizione dei materiali e dei terreni interessati dalle opere, successivamente si illustrano le azioni e le combinazioni di calcolo, i criteri di verifica e la modellazione dell'analisi, infine si riportano le risultanze delle calcolazioni.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE</b> <b>LOTTO 1+2</b>					
	<b>Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo</b>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D26 CL	DOCUMENTO NV2005 006	REV. B

## 2. NORMATIVA E RIFERIMENTI

### 2.1 NORMATIVA

- D.M. 17.01.2018 – “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l’applicazione delle “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- RFI – Manuale di progettazione delle opere civili – Documento n° RFI-DTC-SI-PS-MA-IFS-001-C del 21 Dicembre 2018

### 2.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Per il progetto dell'opera in esame si è fatto riferimento ai seguenti elaborati progettuali:

- RS3Z00D26RHGE0000001B – Relazione stabilità versanti in frana
- RS3Z00D26PZGE0000004B – Planimetria e sezioni geotecniche viabilità - Tav. 4/7
- RS3Z00D26F9GE0000004B – Profilo longitudinale geotecnico viabilità - Tav. 4/7
- RS3Z00D26PZGE0000011B – Interventi di stabilizzazione versanti in frana - Tav. 4/5
- RS3Z00D26BANV2005007B - Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m - Carpenteria - Pianta e sviluppata – Tav. 1/3
- RS3Z00D26BANV2005008B - Paratia (pk 3+578,94-3+817,77) L=250m - Carpenteria - Pianta e sviluppata – Tav. 2/3
- RS3Z00D26BANV2005009B - Paratia (pk 3+578,94-3+817,77) L=250m - Carpenteria - Pianta e sviluppata – Tav. 3/3
- RS3Z00D26BZNV20050010B - Paratia (pk 3+578,94-3+817,77) L=250m - Carpenteria – Sezioni e particolari

### 2.3 SOFTWARE UTILIZZATO

Per il calcolo delle opere in esame sono stati utilizzati:

- software di calcolo “Paratie Plus 2020 della CEAS S.r.l.”
- codici di calcolo interni (codici di calcolo in Excel e Visual Basic messi a punto e testati dallo studio nel corso degli anni).

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

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

#### 3.1 ACCIAIO PER ARMATURE LENTE

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

- tensione caratteristica di rottura ftk  $\geq$  540 MPa
- tensione caratteristica di snervamento fyk  $\geq$  450 MPa
- allungamento caratteristico  $\geq$  7.5 %
- rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento:  $1.15 \leq ftk/fyk < 1.35$

#### 3.2 CALCESTRUZZO

##### 3.2.1 Calcestruzzo per cordolo paratia

- Classe di resistenza: C28/35
- Resistenza caratteristica cubica a compressione: Rck = 35 N/mm<sup>2</sup>
- Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: fck = 29.05 N/mm<sup>2</sup>
- Resistenza media cilindrica a compressione: fcm = 37.05 N/mm<sup>2</sup>
- Modulo elastico: Ecm = 32588 N/mm<sup>2</sup>
- Resistenza di calcolo a compressione: fcd = 16.46 N/mm<sup>2</sup>
- Resistenza media a trazione semplice: fctm = 2.83 N/mm<sup>2</sup>
- Resistenza caratteristica a trazione: fctk = 1.98 N/mm<sup>2</sup>
- Resistenza di calcolo a trazione: fctd = 1.32 N/mm<sup>2</sup>

##### 3.2.2 Calcestruzzo per pali

- Classe di resistenza: C25/30

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	8 di 38

- Resistenza caratteristica cubica a compressione:  $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:  $f_{ck} = 24.90 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media cilindrica a compressione:  $f_{cm} = 32.90 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico:  $E_{cm} = 31447 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione:  $f_{cd} = 14.11 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a trazione semplice:  $f_{ctm} = 2.56 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a trazione:  $f_{ctk} = 1.79 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione:  $f_{ctd} = 1.19 \text{ N/mm}^2$

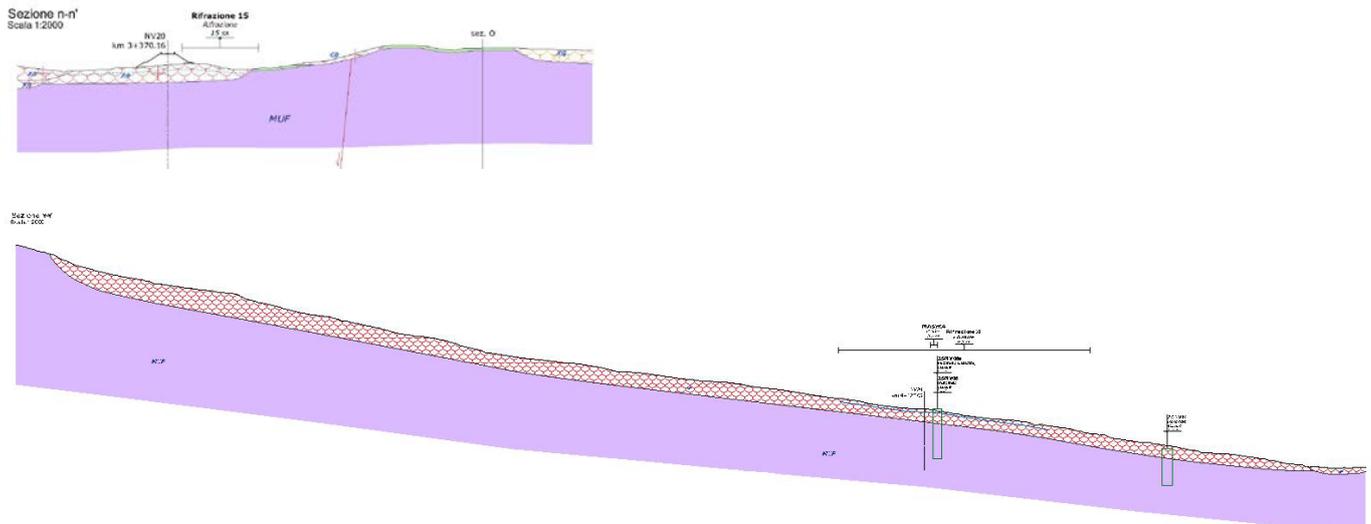
*Il calcestruzzo C25/30 è utilizzato per le verifiche strutturali delle paratie, mentre per la realizzazione si fa riferimento a quanto riportato nelle tabelle materiali dedicate.*

#### 4. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

La caratterizzazione geotecnica dei litotipi interessati dall'opera è stata condotta nella relazione di calcolo di stabilità di progetto, in quanto sulla base delle verifiche del versante è stato definito "l'angolo di attrito operativo", ovvero l'angolo a partire dal quale si sviluppano i movimenti franosi.

L'opera in esame ricade in prossimità delle sezioni geologiche n.n' e v-v' di seguito riportate:

**FIGURA 2 SEZIONI GEOLOGICHE DI RIFERIMENTO**



La paratia oggetto di studio è un'opera di contenimento della trincea che interessa lo strato superficiale in potenziale dissesto (frana ipotizzata quiescente) che è possibile assimilare come la coltre alterata della "Formazione di Mufara (MUF – Unità geotecnica 4)" che consta in depositi marini di scarpata costituiti da argilliti e argilliti marnose a struttura scagliosa o caotica, con sottili livelli di calcite.

Di seguito si riportano i parametri geotecnici caratteristici dell'Unità 4 (MUF):

- peso dell'unità di volume  $\gamma = 19 \div 21 \text{ kN/m}^3$
- coesione drenata  $c' = 10 \div 20 \text{ kPa}$
- angolo di resistenza a taglio  $\varphi' = 20 \div 25^\circ$
- angolo di resistenza a taglio residuo  $\varphi'_{\text{res}} = 11 \div 15^\circ$



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1+2

Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	10 di 38

- modulo di Young operativo

$E' = 5 \div 100$  MPa

L'angolo di attrito operativo determinato da una back analysis in sede di verifica di stabilità globale del versante è risultato pari a 12°, valore compreso nel range di valori residui del MUF.

Come si evince, lo spessore di frana risulta importante per cui ai fini della stabilizzazione/mitigazione della stessa è stata prevista a monte la realizzazione di una rete di drenaggi superficiali e profonde (trincee e paratie drenanti) e da pozzi strutturali drenanti. Pertanto alla paratia di controripa è stata assegnata la sola funzione di sostegno della trincea a monte della strada, procedendo ad un calcolo con pendio acclive e spessore di frana in condizioni residue (angolo di attrito operativo) pari alla massima altezza di scavo di 4.50 m. Al substrato sono stati assegnati i parametri caratteristici medi del litotipo MUF.

Infine, ai fini della caratterizzazione sismica il terreno di fondazione, sulla base di quanto evidenziato dalla caratterizzazione geotecnica delle indagini pregresse e di quelle integrative attuali, può essere classificato di **categoria "C"**.

*Le analisi e le verifiche illustrate nella presente relazione di calcolo fanno riferimento ad un modello di calcolo costruito sugli studi geomorfologici e su dati geognostici ad oggi disponibili rispetto ad una campagna geognostica in itinere e oggetto di integrazione (si è in attesa di ulteriori sondaggi con relative prove di laboratorio, di letture inclinometriche sui nuovi sondaggi e sui sondaggi già eseguiti e attrezzati).*

*Pertanto l'efficacia degli interventi di contenimento delle trincee previste in progetto potranno essere oggetto di integrazione e/o ottimizzazione sulla base delle risultanze sia della campagna geognostica in itinere che del monitoraggio post operam in sito. Qualora l'intervento così come previsto dovesse non rispondere alle ipotesi di calcolo effettuate, andrà tarato nuovamente il modello di calcolo con conseguente ricalibratura dell'intervento.*



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1+2

Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	11 di 38

## 5. INQUADRAMENTO SISMICO

Per la caratterizzazione dell'azione sismica del versante si è fatto riferimento alle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 37.75579°
- Longitudine: 13.64867°

Le analisi in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e dunque i parametri di calcolo sono i seguenti:

- Vita nominale 50 anni;
- Classe d'uso III;
- Categoria di suolo C;
- Categoria Topografica T1;
- Massima accelerazione orizzontale al suolo  $a_g/g = 0.104$ ;
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica:  $S_S = 1.500$ ;
- Coefficiente di amplificazione topografica:  $S_T = 1.000$ .



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
 LOTTO 1+2

Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	12 di 38

## 6. COMBINAZIONI DI CARICO

Il progetto e la verifica della paratia richiede la verifica dei seguenti stati limite:

1. SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - a. collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (moto rigido);
2. SLU di tipo strutturale (STR):
  - b. raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

Tutte le verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

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

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti parziali indicati dalla normativa (moltiplicativi per le azioni e riduttivi per i parametri di resistenza del terreno).

Combinazioni per analisi statiche SLU							
	Azioni ( $\gamma_F$ )				Proprietà del terreno ( $\gamma_M$ )		
	<i>Permanenti</i>		<i>Variabili</i>				
	Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli	$\tan \varphi'$	$c'$	$c_u$
A1 + M1	1.30	1.00	1.50	0.00	1.00	1.00	1.00
A2 + M2	1.00	1.00	1.30	0.00	1.25	1.25	1.40

I coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche relativamente ad ogni singolo SLU precedentemente analizzato sono di seguito indicati:

**Coefficienti parziali per le verifiche di paratie**

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia	$\gamma_R=1.0$	-	-
Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera	$\gamma_R=1.0$	-	-

Essendo la paratia in oggetto un'opera definitiva, essa viene verificata anche nei confronti degli effetti provocati dal sisma. L'analisi sismica viene effettuata secondo le seguenti combinazioni:

- **Combinazione 1 con coefficienti parziali M1 sui parametri e coefficienti unitari sulle azioni;**
- **Combinazione 2 con coefficienti parziali M2 sui parametri e coefficienti unitari sulle azioni.**

In condizioni sismiche valgono gli stessi coefficienti parziali  $\gamma_R$  del caso statico riportati nella precedente tabella.

## 6.1 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - SLU

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'effetto dell'azione:

$$E_d = \gamma_E \cdot E[F_k; X_k / \gamma_M; a_d]$$

e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnica:

$$R_d = 1 / \gamma_R \cdot R[\gamma_F \cdot F_k; X_k / \gamma_M; a_d]$$

Effetto delle azioni e della resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto  $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ , dei parametri di progetto  $X_k / \gamma_M$  e della geometria di progetto. Nella formulazione della resistenza compare esplicitamente il coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza.



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE</b> <b>LOTTO 1+2</b>					
	<b>Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo</b>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D26 CL	DOCUMENTO NV2005 006	REV. B

## 7. CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

### 7.1 COLLASSO PER ROTAZIONE INTORNO AD UN PUNTO DELL'OPERA

La verifica all'equilibrio globale alla rotazione viene implicitamente soddisfatta mediante l'analisi di interazione terreno struttura, condotta mediante il programma di calcolo Paratie Plus 2018 ver. 18.1 della CEAS S.r.l. di cui si dirà più avanti, che nell'analizzare il sistema di sollecitazioni e deformazioni verifica tutte le condizioni di equilibrio del sistema.

### 7.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Come già anticipato l'analisi della struttura nelle successive fasi di realizzazione è stata sviluppata mediante il programma Paratie Plus 2020 ver. 0.4 della CEAS S.r.l., che utilizza per il terreno un modello elasto-plastico e consente di seguire l'evoluzione di sforzi e deformazioni durante le successive fasi di scavo, posa e messa in tiro degli eventuali ancoraggi, applicazione delle azioni sismiche.

In tale codice la schematizzazione dell'interazione tra paratia e terreno avviene considerando:

- la paratia come una serie di elementi il cui comportamento è caratterizzato dalla rigidità flessionale EJ;
- il terreno come una serie di molle di tipo elasto-plastico connesse ai nodi della paratia.

Questo modello numerico consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali. In particolare vengono superate le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite, non idonei a seguire il comportamento della struttura al variare delle configurazioni di carico, delle fasi esecutive e di esercizio.

Nel caso in esame, in una generica fase di calcolo dell'analisi di interazione tra paratia e terreno, la soluzione dipende dal percorso tenso-deformativo seguito dagli elementi schematizzanti il terreno nelle fasi precedenti; dalle variazioni di spinta o reazione del terreno indotte dalla progressione degli scavi, dall'inserimento di tiranti, dalle variazioni delle condizioni idrostatiche e di sovraccarico, etc.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una paratia, nel caso in esame tirantata, 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).

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE</b> <b>LOTTO 1+2</b>					
	<b>Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo</b>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D26 CL	DOCUMENTO NV2005 006	REV. B

La legge costitutiva, rappresentativa del comportamento elasto–plastico del terreno, è identificata dai parametri di spinta e di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta del terreno sono:

- il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , corrispondente alla condizione iniziale indeformata, calcolato mediante l'espressione  $K_0 = 1 - \tan \varphi'$ ;
- i coefficienti di spinta attiva  $K_a$  e passiva  $K_p$ , corrispondenti alle condizioni di equilibrio limite attivo e passivo, calcolati rispettivamente mediante le espressioni di Coulomb, Caquot e Kerisel, tenendo conto di un angolo di attrito tra terreno e paratia pari a  $1/3 \div 2/3$  dell'angolo di attrito del terreno stesso.
- i parametri di deformabilità del terreno, che compaiono nella definizione della rigidità delle molle, sono assegnati sulla base dei valori di modulo di Young (E) dei vari strati, tenendo conto della diversa rigidità in fase di carico vergine oppure di scarico e ricarico. In particolare, il modulo di ricarico è assunto pari al doppio del modulo vergine.

Le componenti di sforzo verticale ed orizzontale vengono intese come sforzi principali. Viene introdotta una funzione di plasticità dipendente da esse, che definisce i confini di una regione entro la quale è determinato lo stato tensionale. A seconda dello stato in cui l'elemento si trova, questo reagisce con differenti caratteristiche di rigidità. Sono possibili tre situazioni:

- Fase elastica: l'elemento si comporta elasticamente; questa fase corrisponde ad una porzione di terreno in fase di scarico-ricarico, sollecitato a livelli di sforzo al di sotto dei massimi livelli precedentemente sperimentati e viene identificata con la sigla UL-RL (Unloading-Reloading).
- Fase incrudente: l'elemento viene sollecitato a livelli di tensione mai prima sperimentati; la fase incrudente è identificata dalla sigla V - C (Virgin Compression).
- Collasso: il terreno è sottoposto ad uno stato di sollecitazione coincidente con i limiti minimo o massimo dettati dalla resistenza del materiale; questa fase corrisponde a quelle che solitamente vengono chiamate condizioni di spinta attiva o passiva; il collasso viene identificato attraverso la parola Active o Passive.

Nel caso di applicazione di un tirante, lo step di installazione dello stesso viene preceduto da una fase nella quale lo scavo è approfondito appena al di sotto della quota di inserimento dell'ancoraggio. In questo modo il vero processo realizzativo è simulato in modo abbastanza fedele.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE</b> <b>LOTTO 1+2</b>					
	<b>Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo</b>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D26 CL	DOCUMENTO NV2005 006	REV. B

## 8. CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

Il presente capitolo illustra nel dettaglio i criteri generali di verifica adottati per le verifiche strutturali condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione ed a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio per la fessurazione.

### 8.1 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI PER PRESSOFLESSIONE E TAGLIO

Le verifiche a pressoflessione vengono condotte confrontando le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando il corrispondente fattore di sicurezza (FS) come rapporto tra la sollecitazione resistente e la massima agente.

Le verifiche flessionali allo SLU sono eseguite adottando le seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- Resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- Rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- Rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima;

Le tensioni nel calcestruzzo e nell'armatura sono state dedotte a partire dalle deformazioni utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione. Per quanto attiene la legge  $\sigma$ - $\epsilon$  del calcestruzzo si è utilizzata una curva parabola-rettangolo, considerando solo la porzione compressa e con  $\epsilon_{c2}=0,2\%$  ed  $\epsilon_{cu}=0,35\%$ .

Per quanto riguarda l'acciaio si è assunto un diagramma bilineare elastico-perfettamente plastico.

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 1992-1-1:2005, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento ai seguenti valori della resistenza di calcolo:

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$
 , resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio

$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \vartheta$ , valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento

$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \vartheta + \tan \vartheta}$ , valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse.

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  con d in mm
- $\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$
- $A_{sl}$  è l'area dell'armatura tesa
- $b_w$  è la larghezza minima della sezione in zona tesa
- $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \cdot f_{cd}$
- $N_{Ed}$  è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi
- $A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo
- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$
- $k_1 = 0,15$
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$
- $v = 0,5$  per calcestruzzi fino a C70/85
- $1 \leq \cot \vartheta \leq 2,5$
- $A_{sw}$  è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio
- s è il passo delle staffe

- $f_{ywd}$  è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio
- $\nu_1 = \nu$  è il coefficiente di riduzione della resistenza del calcestruzzo fessurato per taglio
- $\alpha_{cw}$  è un coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

## 8.2 VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Per lo stato limite di fessurazione, in conseguenza alla classe di esposizione per gli elementi posti controterra, occorre verificare che l'ampiezza delle fessure  $w_k$  sia al di sotto del valore limite fissato pari a 0.3 mm per gli elementi con armature lente.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
 LOTTO 1+2

Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	20 di 38

## 9. ANALISI DEI CARICHI

Nel seguito si riassumono le condizioni di carico considerate nell'analisi di verifica delle strutture.

### 9.1 PESO PROPRIO DELLA PARATIA

Il peso proprio per questo tipo di struttura può essere trascurato sia agli effetti delle azioni statiche che, come precisato dalla normativa vigente, ai fini della valutazione delle forze di inerzia sismiche.

### 9.2 SPINTA DELLE TERRE

La spinta delle terre viene determinata con la seguente espressione:

$$p'_a(z) = [\sigma'_v(z) + q] \cdot K_a - 2c' \sqrt{K_a}$$

$\sigma'_v(z)$  = tensione verticale efficace alla generica quota  $z$ ;

$K_a$  = coefficiente di spinta attiva;

$q$  = eventuale sovraccarico uniformemente distribuito.

Per il calcolo di  $K_a$  si utilizza la formula di Mueller-Breslau (1924), valida per superfici di rottura piane, e generalizzata per tener conto delle condizioni sismiche in base alla teoria di Mononobe ed Okabe riportata di seguito:

per  $\beta \leq \Phi - \theta$ :

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\phi + \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\phi + \theta - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

per  $\beta \geq \Phi - \theta$ :

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\phi + \theta - \delta)}$$

in cui:

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1+2

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	21 di 38

$\beta$  = inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale (positivo per terreno che sale allontanandosi dal muro)

$\psi$  = inclinazione della paratia rispetto all'orizzontale ( $>90^\circ$  per parete inclinata verso valle)

$\delta$  = angolo di attrito muro terreno

$\theta$  = angolo dipendente dalla accelerazione sismica e definito dalle seguenti espressioni:

$$\theta = \text{tg}^{-1} (k_h / (1 \pm k_v))$$

essendo  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente i coefficienti di accelerazione sismica orizzontale e verticale (si veda il successivo par. 9.4).

La spinta attiva risultante  $P_a$  risulta inclinata dell'angolo  $\delta$  sull'orizzontale. Pertanto il valore della spinta orizzontale  $P_{AH}$  è pari a:

$$P_{AH} = P_a \cdot \cos \delta$$

mentre la componente verticale  $P_{AV}$  risulta:

$$P_{AV} = P_a \cdot \sin \delta$$

Le componenti della spinta sono costituite in generale da due aliquote, l'una dovuta al peso proprio del terreno l'altra dovuta al sovraccarico, che avranno distribuzione diversa lungo l'altezza dell'opera: la prima di tipo triangolare l'altra di tipo rettangolare, se carico distribuito uniforme (permanente o accidentale che sia), o differente per aree di carico diverso (nastriforme, ....). Le diverse aliquote saranno considerate distintamente in fase di combinazione dei carichi a seconda che si tratti di azioni permanenti, strutturali o non strutturali, o variabili.

La spinta passiva viene valutata, ipotizzando la eventuale presenza della coesione, come:

$$P_p = \sigma'_v K_p + 2\sqrt{K_p c'}$$

Il coefficiente di spinta passiva  $K_p$  è stato valutato utilizzando le tabelle di Caquot e Kerisel, che fanno riferimento a superfici di rottura non piane.

Anche in questo caso la spinta agisce secondo una direzione inclinata di  $\delta$  rispetto alla perpendicolare al paramento.

La spinta delle terre, sia quella dovuta al peso proprio che ai sovraccarichi accidentali, viene valutata con riferimento alla stratigrafia ed ai valori di progetto dei parametri geotecnici, peso di volume, angolo di attrito, coesione, attrito paratia-terreno, e dei sovraccarichi accidentali ottenuti abbattendo/amplificando i valori caratteristici mediante i coefficienti riduttivi o amplificativi specifici del tipo di verifica condotta, secondo i criteri riportati nel capitolo 6.

Per tener conto nella valutazione della spinta la presenza del pendio a monte dell'opera, nel software "Paratie" è stato inserito l'andamento del pendio stesso ed il software ha provveduto al calcolo della spinta ricercando iterativamente il cuneo di spinta attiva che massimizza la spinta tramite il Metodo dei cunei.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE</b> <b>LOTTO 1+2</b>					
	<b>Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo</b>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D26 CL	DOCUMENTO NV2005 006	REV. B

### 9.3 SPINTA DELL'ACQUA

La presenza della falda è stata così considerata nel codice di calcolo:

- in fase provvisoria di scavo, essendo la paratia opera di sostegno permeabile e tenendo anche in considerazione la presenza del sistema di drenaggio, si abbatta la quota della falda al fondo scavo sia a monte che valle dell'opera;
- viene poi prevista una fase di calcolo finale con falda posta ad una quota intermedia fra fondo scavo ed il livello indisturbato a monte. In questo modo si simula la possibilità che nel lungo termine i dreni si possano intasare data la prevalente natura fine dei terreni interagenti con l'opera di sostegno.

### 9.4 AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata calcolata come differenza fra la spinta calcolata sulla parte fuori terra della paratia con riferimento ai coefficienti di spinta attiva in presenza di sisma ed i corrispondenti coefficienti di spinta attiva in condizioni statiche.

L'incremento di spinta dovuto al sisma (inteso come differenza fra la spinta totale in condizioni sismiche e la spinta pre-agente in condizioni statiche) viene applicato a metà dell'altezza fuori terra della paratia.

Il calcolo del coefficiente di spinta in condizioni sismiche viene effettuato come già indicato nel precedente paragrafo.

Il coefficiente di accelerazione sismica  $k_h$  viene valutato come:

$$k_h = \alpha \beta a_{\max}/g$$

dove:

$a_{\max}$  = accelerazione massima attesa al sito in considerazione

$g$  = accelerazione di gravità

$\alpha$  = coefficiente di deformabilità funzione dell'altezza complessiva  $H$  della paratia e della categoria di sottosuolo, si desume dal grafico della Figura 3 (figura 7.11.2 della normativa vigente qui di seguito riprodotto)

$\beta$  = coefficiente funzione dello spostamento massimo  $u_s$  tollerabile dall'opera e viene desunto dal grafico della Figura 4 (figura 7.11.3 della normativa vigente riprodotto qui di seguito)

FIGURA 3 DIAGRAMMA PER LA VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFORMABILITÀ  $\alpha$

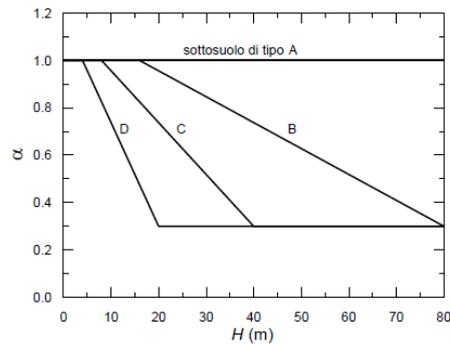
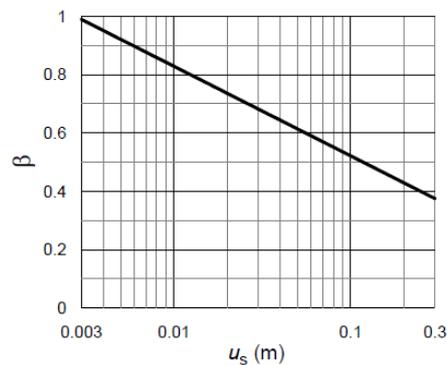


FIGURA 4 DIAGRAMMA PER LA VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI SPOSTAMENTO  $\beta$



Ai fini della valutazione di  $\beta$  lo spostamento deve comunque assumersi  $u_s \leq 0.005 H$ . Inoltre deve sempre risultare il prodotto  $\alpha \beta > 0.2$  altrimenti deve assumersi  $k_h = 0.20 a_{max}/g$ .

L'accelerazione massima è stata valutata come:

$$a_{max} = a_g \cdot S_S \cdot S_T$$

in cui:

- $a_g$  = accelerazione massima attesa al sito di riferimento sul substrato rigido
- $S_S$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica
- $S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica

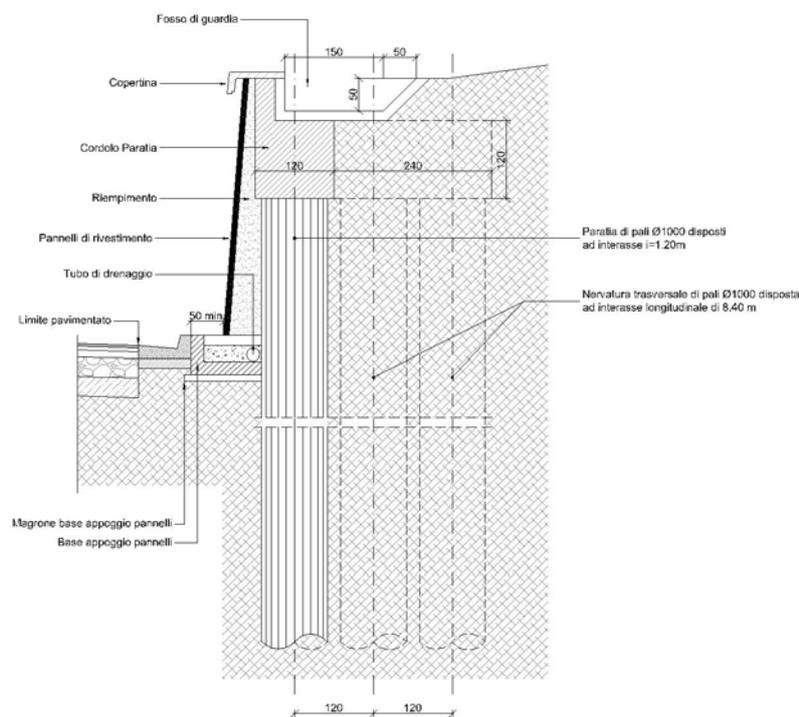
Come previsto dalla normativa si è posto  $k_v = 0$  e si sono trascurate le forze inerziali agenti sulla struttura della paratia.

## 10. ANALISI DI CALCOLO

### 10.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La paratia di sostegno si sviluppa per 250 m con una altezza massima del fondo scavo di 4.50 m ed è costituita da pali trivellati  $\varnothing 1000$  mm disposti ad interasse  $i = 1.20$  m di lunghezza variabile da  $15 \div 6$  m, in base all'altezza fuori terra, e collegati in testa da una trave di coronamento in c.a. avente dimensioni  $1.20 \times 1.20$  m con disposto in sommità un fosso di guardia trapezoidale:

**FIGURA 5 SEZIONE TRASVERSALE DELLA PARATIA**



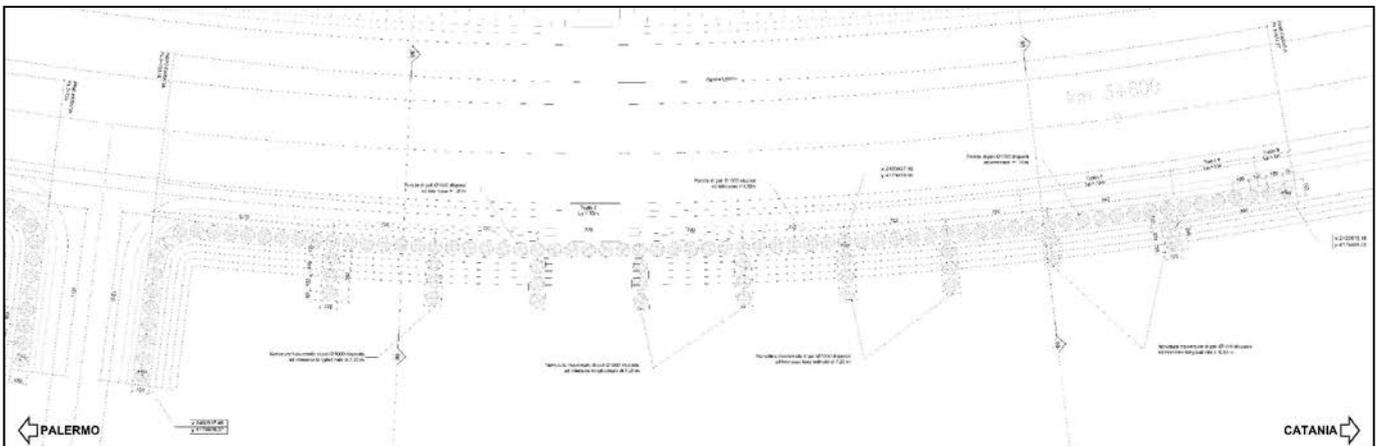
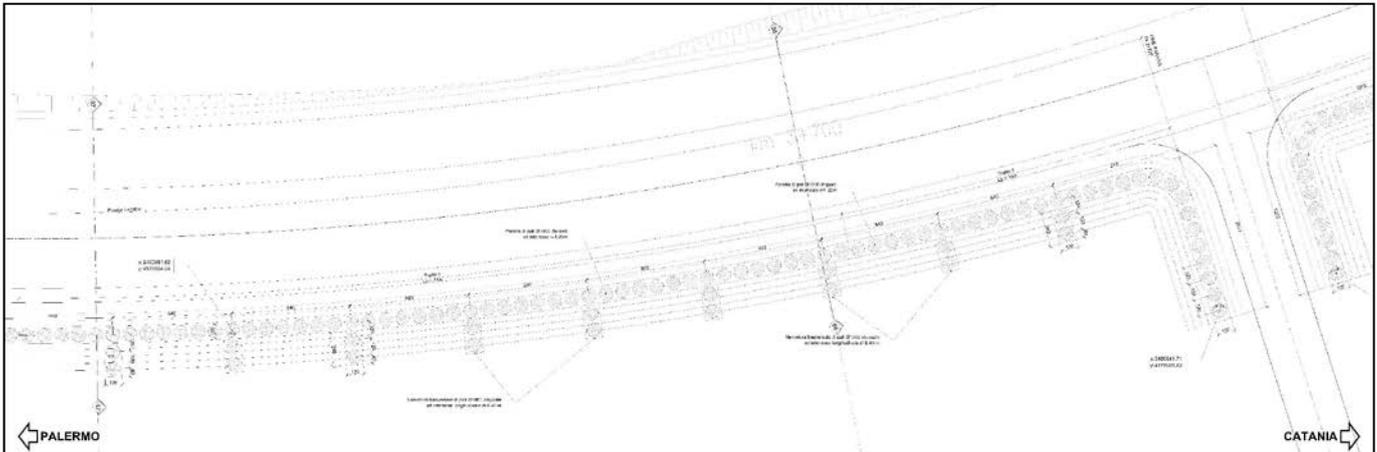
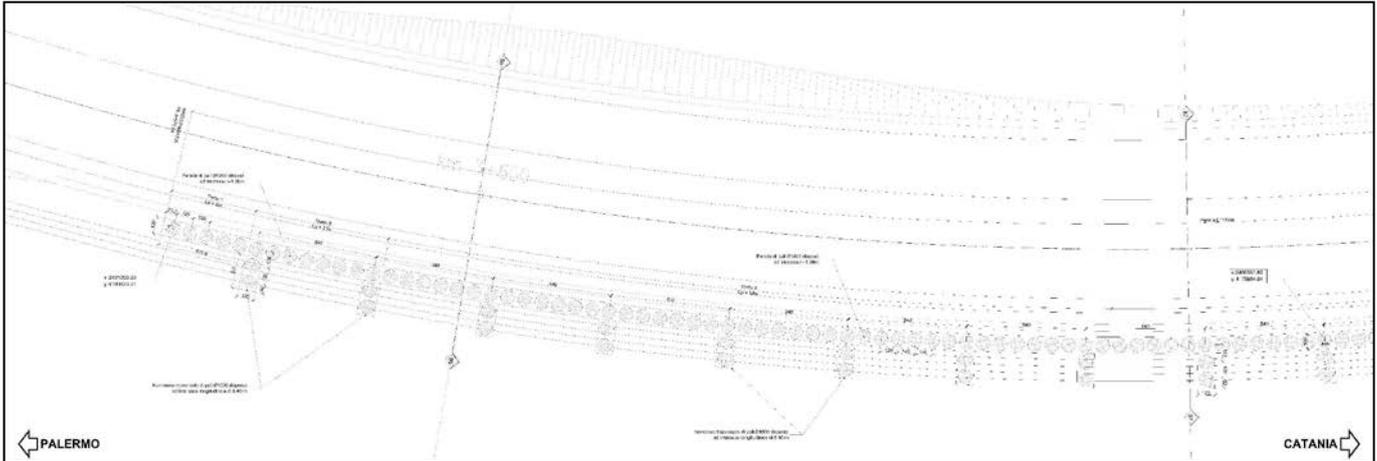
Successivamente allo scavo di sbancamento si realizza il manufatto di raccolta delle acque, la sovrastruttura stradale ed il rivestimento della paratia. Il tratto sveltante ultimato risulterà pari a circa 4 m.

Al fine di assicurare la stabilità dell'opera, anche in condizioni sismiche, è stata prevista la realizzazione di "nervature" sulla paratia, ovvero la realizzazione di pali trivellati  $\varnothing 1000$  mm disposti ad interasse  $i = 1.20$  m trasversalmente all'opera e collegati ad essa mediante lo stesso cordolo di coronamento.

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	25 di 38

**FIGURA 6 STRALCIO PLANIMETRICO DELLE NERVATURE**





DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1+2

Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	26 di 38

## 10.2 STRATIGRAFIA DI CALCOLO

Di seguito si riporta la stratigrafia di calcolo utilizzata in sede di progettazione:

### 1) Strato di dissesto (Unità 4 residua) da 0÷4.5 m dal p.c.

- peso dell'unità di volume  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- coesione drenata  $c' = 0 \text{ kPa}$
- angolo di resistenza a taglio residuo  $\varphi'_{\text{res}} = 12^\circ$
- modulo di Young operativo  $E' = 5 \text{ MPa}$

### 2) Strato di base (Unità 4) da > 4.5 m dal p.c.

- peso dell'unità di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- coesione drenata  $c' = 15 \text{ kPa}$
- angolo di resistenza a taglio  $\varphi' = 22^\circ$
- modulo di Young operativo  $E' = 40 \text{ MPa}$

La falda è stata posta cautelativamente a -7 m dal piano campagna.

## 10.3 MODELLO DI CALCOLO

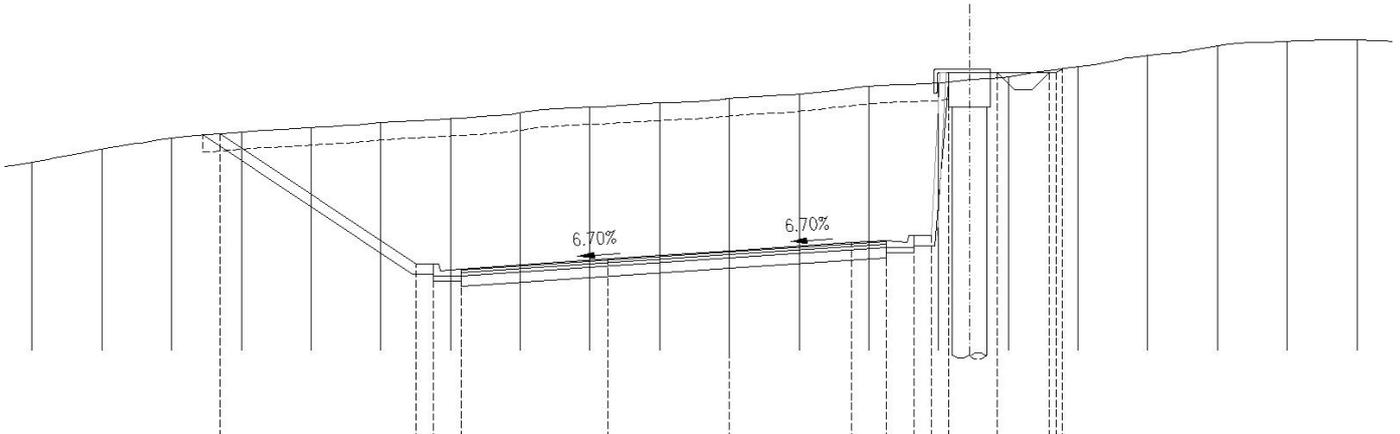
L'intera paratia, in relazione all'altezza di scavo è stata divisa in 8 tratti, e solo nel tratto 6 si prevede la realizzazione di nervature a 3 pali ad interasse di 7.20 m in quanto il tratto di maggiore scavo; in tutti gli altri casi la nervatura è costituita da 2 pali ad interasse di 8.40 m.

Il calcolo della paratia è stato condotto per tutte le casistiche che si presentano lungo il suo sviluppo e nella presente relazione, per brevità di trattazione, si riporta il calcolo della sezione più gravosa, ovvero la sezione n° 89 (tratto 6) in cui la massima altezza fuori terra in fase di scavo è di 4.50 m e la lunghezza dei pali è pari a 15 m:

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	27 di 38

FIGURA 7 SEZIONE STRADALE N° 89

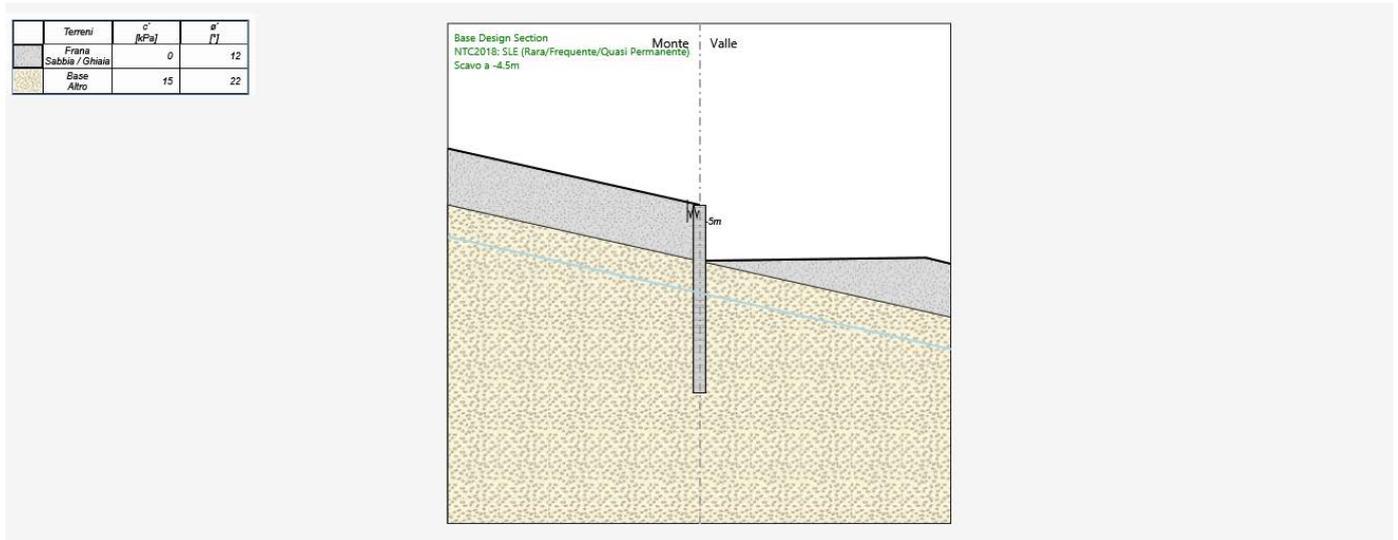


La modellazione della paratia è stata condotta considerando la seguente sequenza:

- condizione geostatica;
- realizzazione paratia e delle nervature (3 pali);
- scavo a -4.50 m, applicazione del vincolo elastico in testa paratia (simula la presenza delle nervature posteriori);
- applicazione del sisma.

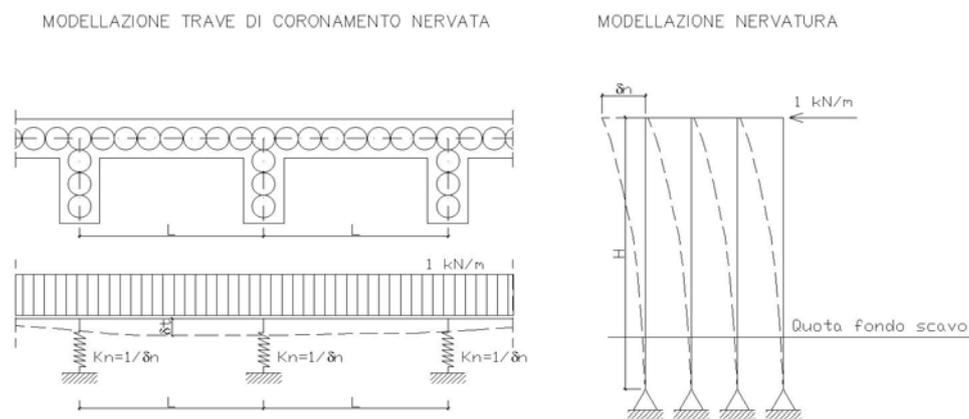
Di seguito si riporta una rappresentazione grafica della fase di massimo scavo della paratia:

**FIGURA 8 FASE DI MASSIMO SCAVO**



Per tener conto delle nervature nel calcolo della paratia, in testa alla stessa è stato applicato un vincolo elastico (molla) la cui rigidezza  $kt$  è assunta pari all'inverso della freccia  $\delta t$  determinata su una trave continua caricata da un carico uniformemente distribuito unitario che simula lo schema statico della trave di coronamento della paratia i cui appoggi cedevoli sono proprio le nervature della stessa:

**FIGURA 9 MODELLO DI CALCOLO TIPO DELLA NERVATURA**



Gli appoggi cedevoli della trave continua sono rappresentati da molle la cui rigidezza  $kn$  ( $1/\delta n$ ) è la rigidezza della nervatura modellata come un telaio a 3 piedritti (pali) caricata con un carico unitario e la cui altezza  $H$  è la lunghezza di inflessione dei pali della nervatura avendo supposto questi incernierati ad  $1/3$  della lunghezza di inflessione dal fondo scavo. La rigidezza della

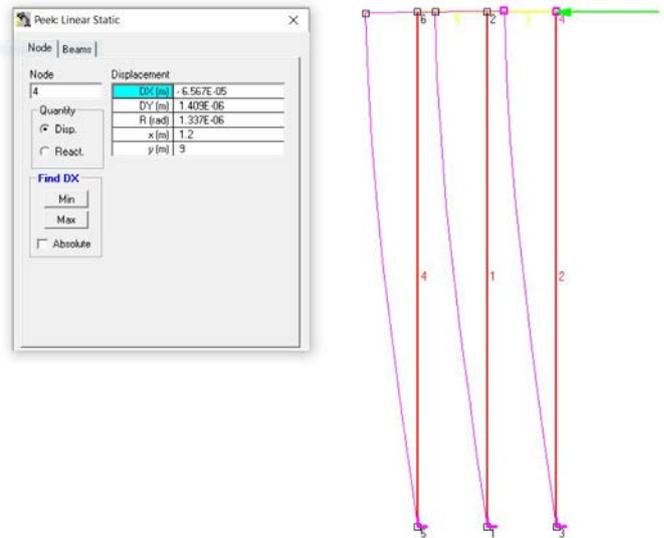
molla, che simula la presenza delle nervature risulta essere una rigidezza aggiuntiva a quella della paratia, avendo modellato un telaio a 3 piedritti, essendo 3 i pali costituenti la nervatura.

Di seguito si riportano le analisi di calcolo della rigidezza della molla:

**FIGURA 10 SCHEMA DI CALCOLO TELAIO 2D**

Le ipotesi di calcolo sono:

- Piedritti = pali  $\varnothing 1000$ , C25/30
- Traverso = cordolo 1.20x1.20 m, C28/35
- Interasse nervature = 7.20 m
- Distanza piedritti = 1.20 m
- Lunghezza piedritti = 9 m (tratto sveltante di 4.5 m + 1/3 del tratto di infissione)
- Vincolo base piedritti = cerniera
- Forza orizzontale applicata = 1kN



Come si evince, dalla risoluzione dello schema a telaio su esposto si determina una deformata massima in testa telaio pari a  $\delta_n = 0.0000657$  m, da cui una rigidezza pari a  $k_n = 15220$  kN/m.

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	30 di 38

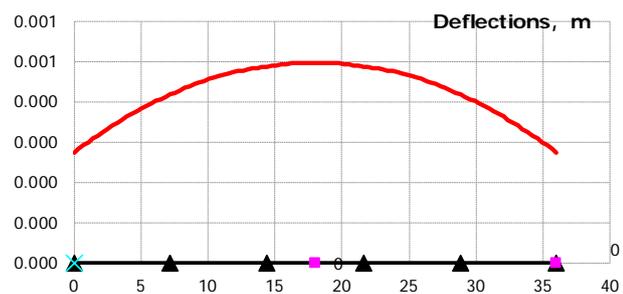
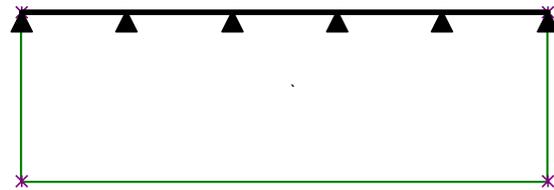
**FIGURA 11 CALCOLO TRAVE CONTINUA**

Span N°	1	2	3	4	5
Length, m	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
Moment of Inertia, m <sup>4</sup>	0.1728	0.1728	0.1728	0.1728	0.1728

Support N°	1	2	3	4	5	6
Support coordinate, m	0	7.2	14.4	21.6	28.8	36
Vertical spring constant, kN/m	15220	15220	15220	15220	15220	15220
Support type or hinge	Roller	Roller	Roller	Roller	Roller	Roller
<i>Column under</i>						
Length, m						
Moment of Inertia, m <sup>4</sup>						
<i>Column above</i>						
Length, m						
Moment of Inertia, m <sup>4</sup>						
Induced support displacements, m						

Positive loads:	Load case:	Carico 1			
↑ ↻		WA	WB	LA	LB
Comment	Load Type	kN or kN/m	kN/m	m	m
Unit	Linear	1.00	1.00	0.00	36.00



Considerando un interasse delle nervature di 7.20 m e vincoli elastici con rigidezza pari a  $k_n$  si determina una freccia della trave continua (cordolo di coronamento della paratia) pari a  $\delta_t = 0.000498$  m, da cui una rigidezza pari a  $k_t = 2008$  kN/m.

Pertanto, in sede di calcolo della paratia si applica una molla in testa opera con valore di rigidezza pari a  **$k_t = 2000$  kN/m**.

#### 10.4 RISULTATI DELLE ANALISI

Si riporta un tabulato delle risultanze di calcolo per ciascuna combinazione previste da normative, ivi compresa quella sismica.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
 LOTTO 1+2

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	31 di 38

Come si evince dai successivi tabulati di sintesi, il massimo tasso di sfruttamento del palo, armato longitudinalmente con  $16\varnothing 24$  e trasversalmente con spirale  $\varnothing 12/20$ , a momento e taglio risulta rispettivamente pari a **0.547 e 0.833** mentre il massimo rapporto tra le spinte (Efficace/Passiva) è pari a 0.54. Per quanto concerne lo stato deformativo della paratia, il massimo spostamento orizzontale (combinazione SLE) si determina a quota -4.50 m (testa dell'opera) con valore pari a  $\delta = 17.75$  mm, valore assolutamente compatibili con la stabilità e la funzionalità dell'opera.

Di seguito si riporta il tabulato di sintesi delle verifiche.

#### Riepilogo per la DA <NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)>

##### Parete <Left Wall>

Min. spostamento laterale [mm]	-0.26	Z = -19.5 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Sisma)
Max. spostamento laterale [mm]	17.75	Z = -4.5 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Sisma)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.17		D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Paratia)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.3		D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Sisma)

##### Risultati Elementi parete (Beam)

Paratia Max. momento (assoluto) [kNm/m]	373.61	Z = -11.8 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Scavo a -4.5m)
Max. taglio [kN/m]	158.79	Z = -9.2 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Scavo a -4.5m)
Caver: max. sfruttamento a flessione (SLU)	0	Z = -18.6 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Sisma)
Caver: max. sfruttamento a taglio (SLU)	0	Z = -18.6 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Sisma)
SLS Max. sfruttamento calcestruzzo (SLS)	0.754	Z = -11.8 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Scavo a -4.5m)
SLS Max. sfruttamento barre acciaio (SLS)	0.602	Z = -11.8 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Scavo a -4.5m)
Caver: massima ampiezza fessure [mm]	0.369	Z = -11.8 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Scavo a -4.5m)

##### Risultati elementi mono-dimensionali (Spring)

Nervatura Max. forza (ass.) [kN/m]	33.5	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Sisma)
Max. momento (ass.) [kNm/m]	0	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Sisma)

#### Riepilogo per la DA <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)>

##### Parete <Left Wall>

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.17	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Paratia)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.3	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Sisma)

##### Risultati Elementi parete (Beam)



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
 LOTTO 1+2

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	32 di 38

Paratia Max. momento (assoluto) [kNm/m] 485.7 Z = -11.8 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -4.5m)  
 Max. taglio [kN/m] 206.42 Z = -9.2 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -4.5m)  
 Caver: max. sfruttamento a flessione (SLU) 0.547 Z = -11.8 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -4.5m)  
 Caver: max. sfruttamento a taglio (SLU) 0.833 Z = -9.2 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -4.5m)  
 SLS Max. sfruttamento calcestruzzo (SLS) 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Sisma)  
 SLS Max. sfruttamento barre acciaio (SLS) 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Sisma)  
 Caver: massima ampiezza fessure [mm] 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Sisma)

#### Risultati elementi mono-dimensionali (Spring)

Nervatura Max. forza (ass.) [kN/m] 43.55 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Sisma)  
 Max. momento (ass.) [kNm/m] 0 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Sisma)

#### Riepilogo per la DA <NTC2018: A2+M2+R1>

##### Parete <Left Wall>

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.23 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Paratia)  
 Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.45 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -4.5m)

#### Risultati Elementi parete (Beam)

Paratia Max. momento (assoluto) [kNm/m] 388.11 Z = -12.2 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -4.5m)  
 Max. taglio [kN/m] 149.64 Z = -9.2 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -4.5m)  
 Caver: max. sfruttamento a flessione (SLU) 0.437 Z = -12.2 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -4.5m)  
 Caver: max. sfruttamento a taglio (SLU) 0.604 Z = -9.2 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -4.5m)  
 SLS Max. sfruttamento calcestruzzo (SLS) 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Sisma)  
 SLS Max. sfruttamento barre acciaio (SLS) 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Sisma)  
 Caver: massima ampiezza fessure [mm] 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Sisma)

#### Risultati elementi mono-dimensionali (Spring)

Nervatura Max. forza (ass.) [kN/m] 45.66 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Sisma)  
 Max. momento (ass.) [kNm/m] 0 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Sisma)

#### Riepilogo per la DA <NTC2018: SISMICA STR>

##### Parete <Left Wall>

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.24 D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)  
 Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.54 D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)

#### Risultati Elementi parete (Beam)

Paratia Max. momento (assoluto) [kNm/m] 441.93 Z = -12.2 m D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)  
 Max. taglio [kN/m] 172.32 Z = -9.2 m D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)  
 Caver: max. sfruttamento a flessione (SLU) 0.497 Z = -12.2 m D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
 LOTTO 1+2

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	33 di 38

Caver: max. sfruttamento a taglio (SLU) 0.695 Z = -9.2 m D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)  
 SLS Max. sfruttamento calcestruzzo (SLS) 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)  
 SLS Max. sfruttamento barre acciaio (SLS) 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)  
 Caver: massima ampiezza fessure [mm] 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)

#### Risultati elementi mono-dimensionali (Spring)

Nervatura Max. forza (ass.) [kN/m] 52.33 D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)  
 Max. momento (ass.) [kNm/m] 0 D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)

#### Riepilogo per la DA <NTC2018: SISMICA GEO>

##### Parete <Left Wall>

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.24 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)  
 Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.54 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)

#### Risultati Elementi parete (Beam)

Paratia Max. momento (assoluto) [kNm/m] 441.93 Z = -12.2 m D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)  
 Max. taglio [kN/m] 172.32 Z = -9.2 m D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)  
 Caver: max. sfruttamento a flessione (SLU) 0.497 Z = -12.2 m D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)  
 Caver: max. sfruttamento a taglio (SLU) 0.695 Z = -9.2 m D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)  
 SLS Max. sfruttamento calcestruzzo (SLS) 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)  
 SLS Max. sfruttamento barre acciaio (SLS) 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)  
 Caver: massima ampiezza fessure [mm] 0 Z = -18.6 m D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)

#### Risultati elementi mono-dimensionali (Spring)

Nervatura Max. forza (ass.) [kN/m] 52.33 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)  
 Max. momento (ass.) [kNm/m] 0 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)

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

##### Parete <Left Wall>

Min. spostamento laterale [mm] -0.26 Z = -19.5 m D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Sisma)  
 Max. spostamento laterale [mm] 27.41 Z = -4.5 m D.A. Nominal (Sisma)  
 Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.24 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)  
 Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.54 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)

#### Risultati Elementi parete (Beam)

Paratia Max. momento (assoluto) [kNm/m] 485.7 Z = -11.8 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -4.5m)  
 Max. taglio [kN/m] 206.42 Z = -9.2 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -4.5m)  
 Caver: max. sfruttamento a flessione (SLU) 0.547 Z = -11.8 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -4.5m)  
 Caver: max. sfruttamento a taglio (SLU) 0.833 Z = -9.2 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -4.5m)

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	34 di 38

SLS Max. sfruttamento calcestruzzo (SLS) 0.754 Permanente) (Scavo a -4.5m)	Z = -11.8 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi
SLS Max. sfruttamento barre acciaio (SLS) 0.602 Permanente) (Scavo a -4.5m)	Z = -11.8 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi
Caver: massima ampiezza fessure [mm] 0.369 Permanente) (Scavo a -4.5m)	Z = -11.8 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi

#### Risultati elementi mono-dimensionali (Spring)

Nervatura	Max. forza (ass.) [kN/m] 52.33	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)
	Max. momento (ass.) [kNm/m] 0	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)

#### 10.4.1 Verifiche geotecniche

Di seguito si riporta l'andamento degli spostamenti in combinazione SLE e l'involuppo dell'andamento delle spinte:

**FIGURA 12 SPOSTAMENTO**

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]
Frana Sabbia / Ghiaia	0	12
Base Altro	15	22

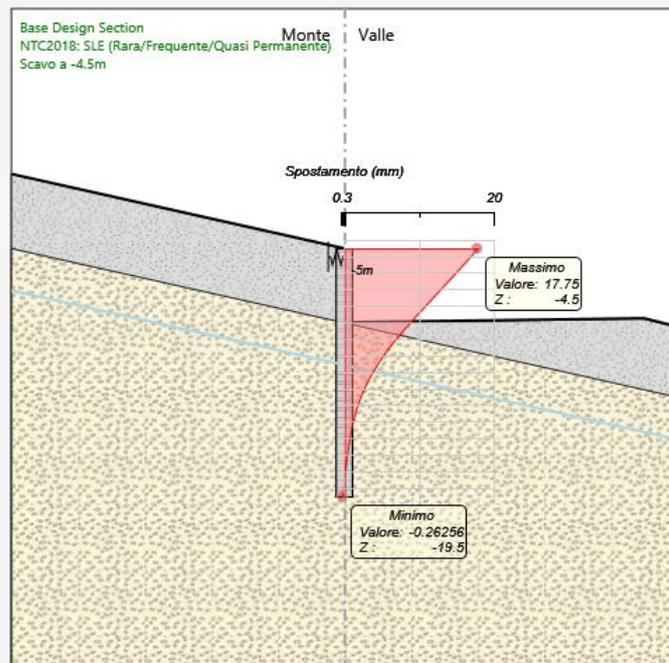
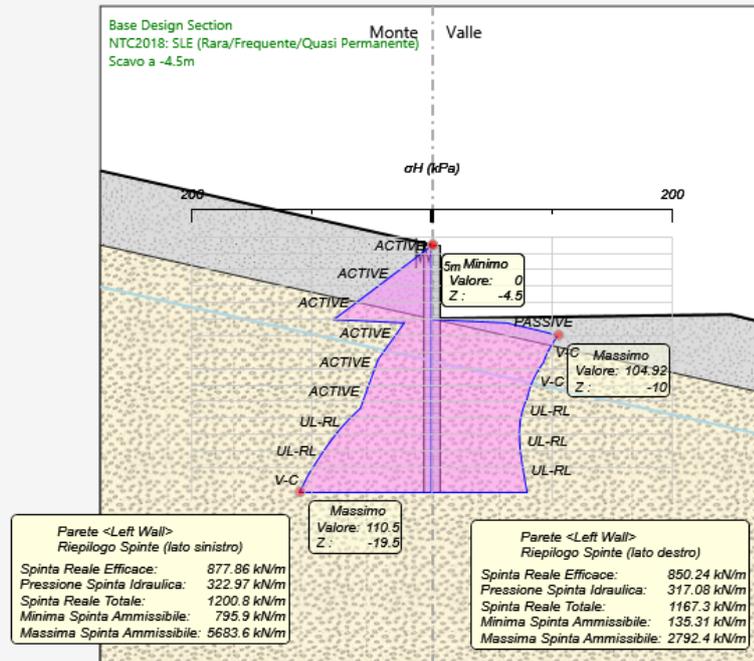


FIGURA 13 TENSIONI ORIZZONTALI

Terreni	c' [kPa]	$\alpha'$ [°]
Frana Sabbia / Ghiaia	0	12
Base Altro	15	22

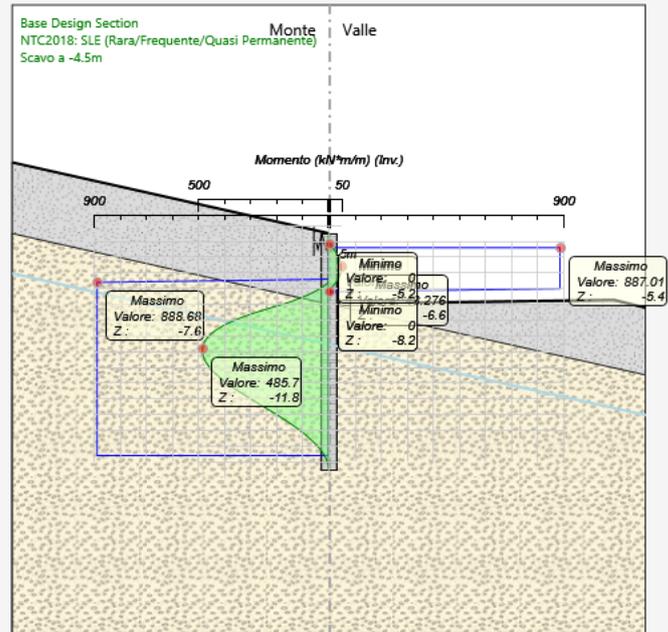


#### 10.4.2 Verifiche strutturali

Di seguito si riporta l'involuppo dell'andamento del momento e del taglio lungo la paratia in tutte le combinazioni di calcolo previste confrontato con l'andamento delle resistenze:

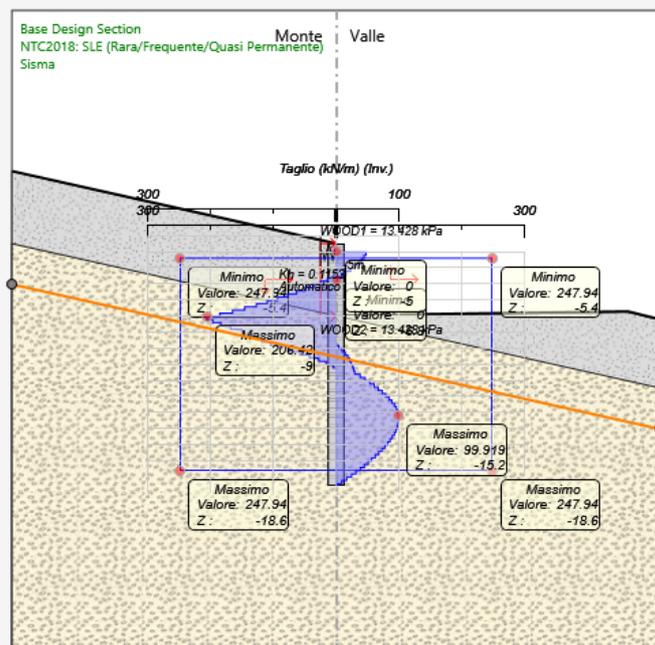
**FIGURA 14 MOMENTO FLETTENTE**

Terreni	c' [kPa]	α' [°]
Frana Sabbia / Ghiaia	0	12
Base Altro	15	22



**FIGURA 15 TAGLIO**

Terreni	c' [kPa]	α' [°]
Frana Sabbia / Ghiaia	0	12
Base Altro	15	22





DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1+2

**Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione  
di Calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	37 di 38

Il palo è un  $\varnothing 1000$ , realizzato con cls C25/30, armato con 16 $\varnothing 24$  e staffe a spirale  $\varnothing 12/20$ , presenta un momento ed un taglio resistente pari rispettivamente a  $M_{Rd} = 886.68$  kNm e  $V_{Rd} = 247.94$  kN. Le massime sollecitazioni agenti ultime sono  $M_{Ed} = 485.7$  kNm e  $V_{Ed} = 206.42$  kN. Pertanto le verifiche strutturali risultano soddisfatte.

Per maggiori dettagli si rimanda ai tabulati di calcolo allegati.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1+2

Paratia (pk 3+578.94-3+817.77) L=250m – Relazione  
di Calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D26 CL	NV2005 006	B	38 di 38

**ALLEGATI**



***Report di Calcolo: Paratia pk 3+578.94-3+817.77***

## ***Descrizione del Software***

ParatiePlus è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

## Descrizione della Stratigrafia e degli Strati di Terreno

Tipo : POLYLINE

Punti

(-20;0)  
(20;0)  
(20;-30)  
(-20;-30)

OCR : 1

Tipo : POLYLINE

Punti

(-20;-4.5)  
(20;-13.5)  
(20;-30)  
(-20;-30)

OCR : 1

Strato di Terreno	Terreno	$\gamma$ dry	$\gamma$ sat	$\phi'$	$\phi$	$c_v$	$\phi_p$	$c'$	Su	Modulo Elastico	Eu	Evc	Eur	Ah	Av	exp Pa	Rur/Rvc	Rvc	Ku	Kvc	Kur	
		kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	°	°	°	°	kPa	kPa			kPa	kPa			kPa		kPa	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	
1	Frana	19	19	12				0		Constant		5000	8000									
2	Base	20	20	22				15		Constant		40000	64000									

## Descrizione Pareti

X : 0 m

Quota in alto : -4.5 m

Quota di fondo : -19.5 m

Muro di sinistra

Armatura Lunghezza segmenti : 1 m

Rinforzo longitudinale 1

Lunghezza : 15 m

Materiale : B450C

Quota iniziale : -4.5 m

Barre 1

Numero di barre : 16

Diametro : 0.024 m

Distanza dal bordo : 0.084 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.06 m

Diametro : 0.012 m

Lunghezza : 15 m

Quota iniziale : -4.5 m

Passo : 0.2 m

Sezione : Palo D1000

Area equivalente : 0.654498469497874 m

Inerzia equivalente : 0.0409 m<sup>4</sup>/m

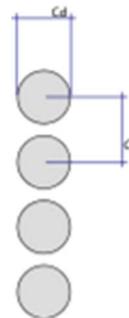
Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 1.2 m

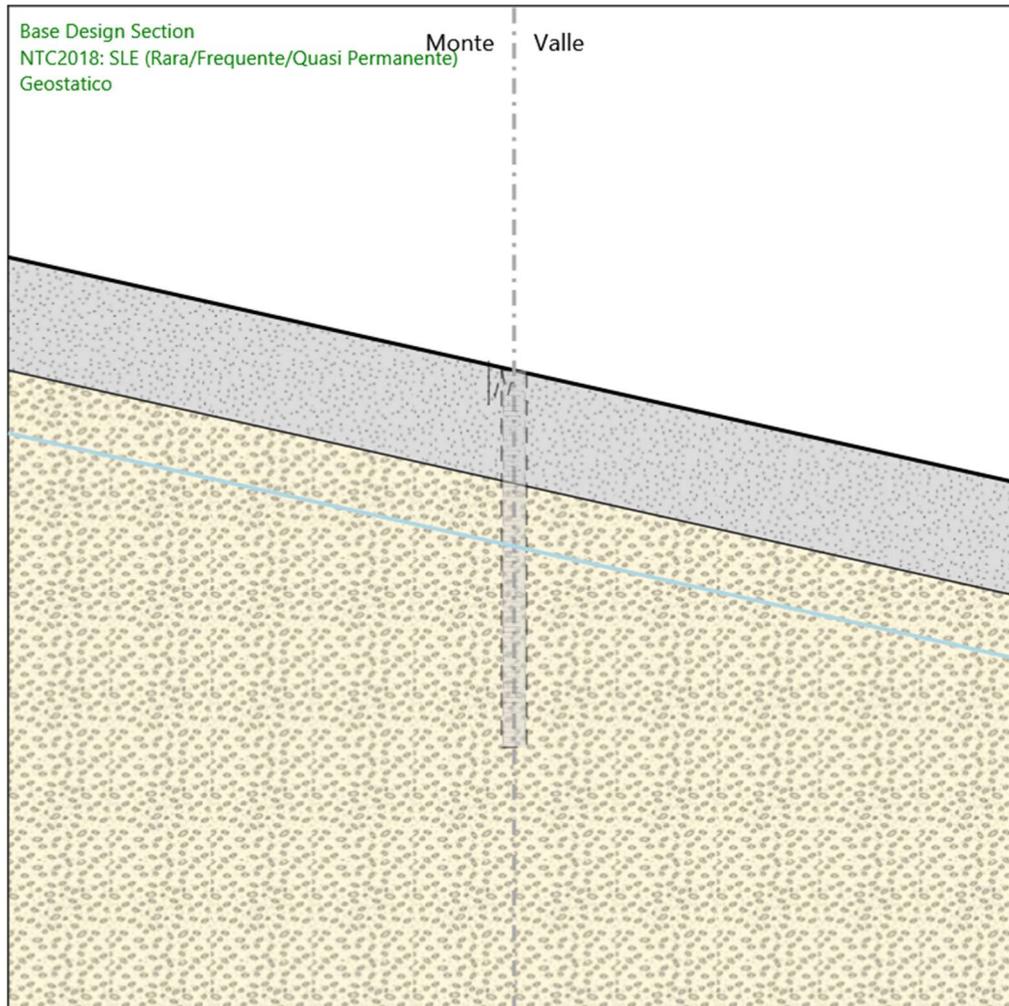
Diametro : 1 m

Efficacia : 1



## Fasi di Calcolo

### Geostatico



Geostatico

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : -4.5 m

Lato valle : -4.5 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-20;0)

(-10;-2.25)

(0;-4.5)

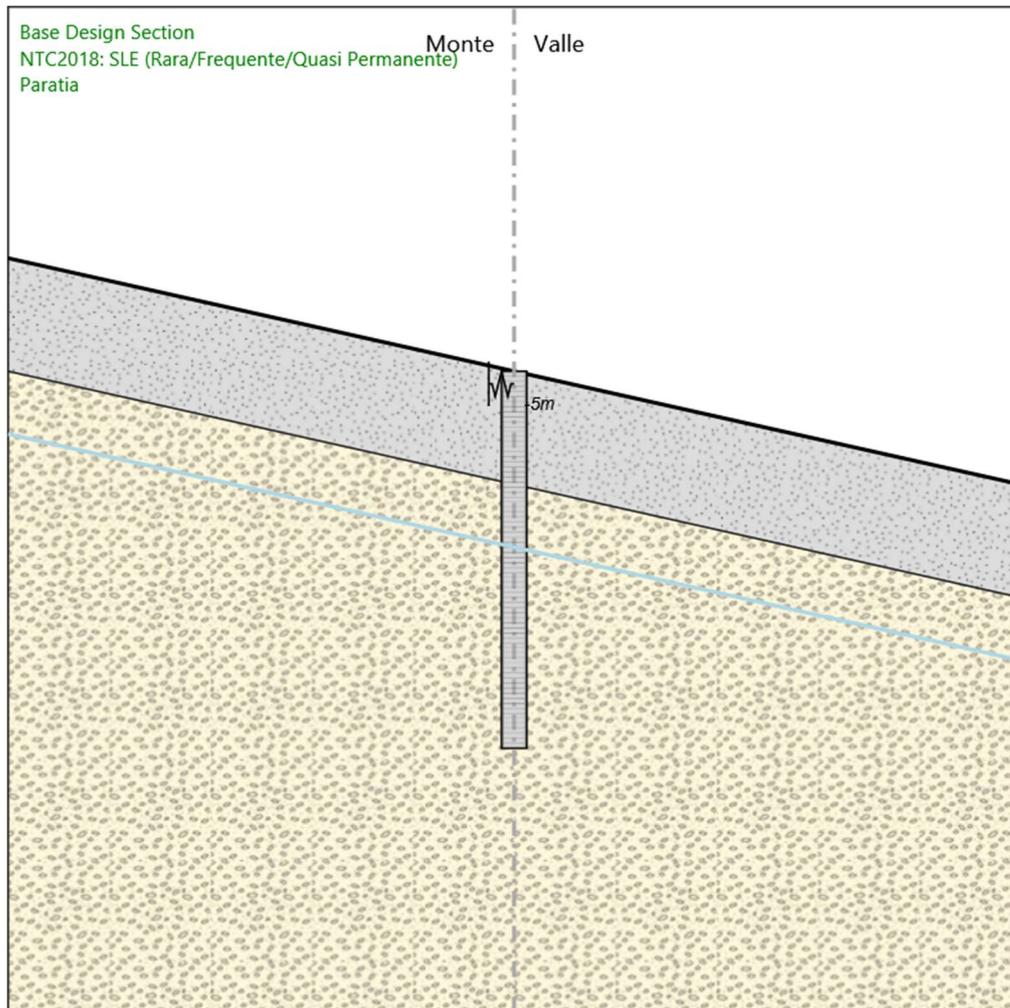
Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;-4.5)

(10;-6.75)

(20;-9)

# Paratia



Paratia

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : -4.5 m

Lato valle : -4.5 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-20;0)

(-10;-2.25)

(0;-4.5)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;-4.5)

(10;-6.75)

(20;-9)

Elementi strutturali

Paratia : Paratia

X : 0 m

Quota in alto : -4.5 m

Quota di fondo : -19.5 m

Sezione : Palo D1000

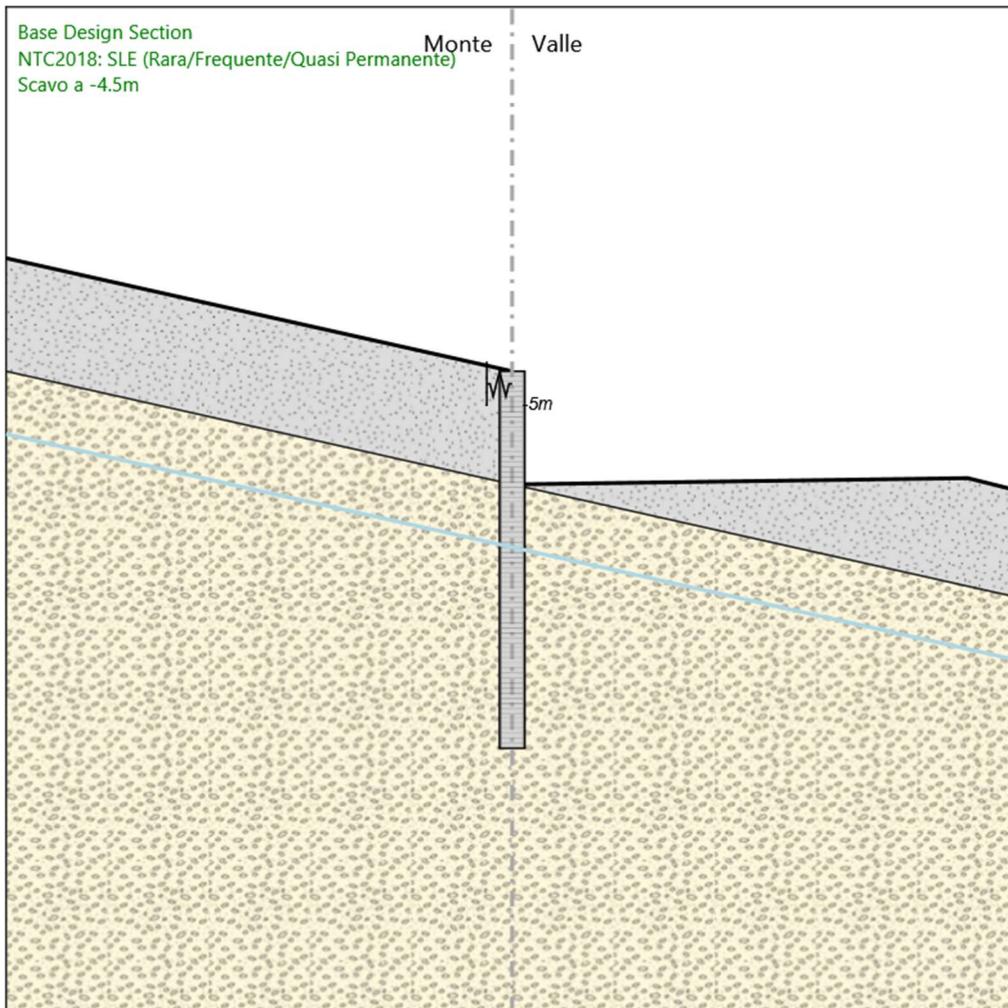
Vincolo elastico : Nervatura

X : 0 m

Z : -5 m

Angolo : 0 °

## Scavo a -4.5m



Scavo a -4.5m

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : -4.5 m

Lato valle : -9 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-20;0)

(-10;-2.25)

(0;-4.5)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;-9)

(18;-8.75)

(20;-9.25)

Elementi strutturali

Paratia : Paratia

X : 0 m

Quota in alto : -4.5 m

Quota di fondo : -19.5 m

Sezione : Palo D1000

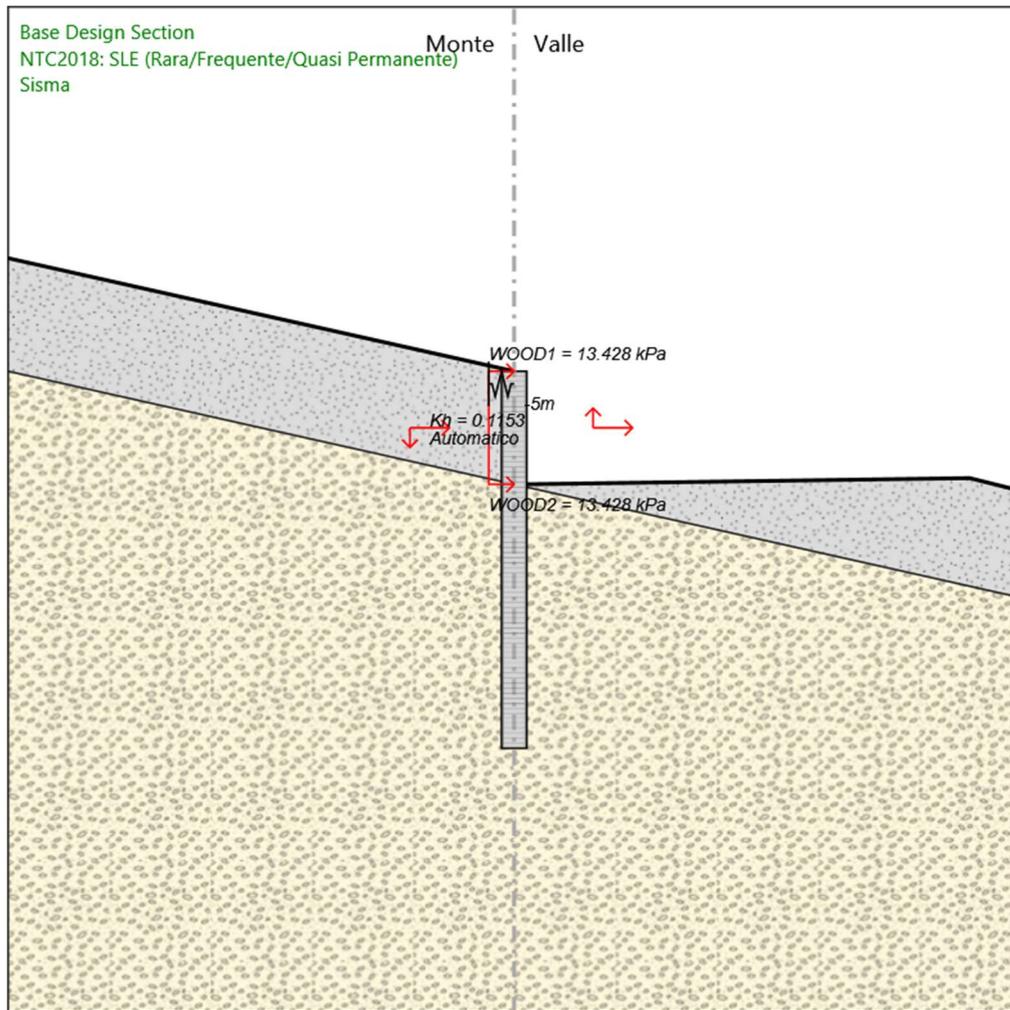
Vincolo elastico : Nervatura

X : 0 m

Z : -5 m

Angolo : 0 °

# Sisma



Sisma

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : -4.5 m

Lato valle : -9 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-20;0)

(-10;-2.25)

(0;-4.5)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;-9)

(18;-8.75)

(20;-9.25)

Elementi strutturali

Paratia : Paratia

X : 0 m

Quota in alto : -4.5 m

Quota di fondo : -19.5 m

Sezione : Palo D1000

Vincolo elastico : Nervatura

X : 0 m

Z : -5 m

Angolo : 0 °

## Descrizione Coefficienti Design Assumption

Nome	Carichi Per- manenti Sfavorevoli (F_dead_lo ad_unfa- vour)	Carichi Per- manenti Favorevoli (F_dead_lo ad_favour)	Carichi Va- riabili Sfa- vorevoli (F_live_loa d_unfa- vour)	Carichi Va- riabili Fa- vorevoli (F_live_loa d_favour)	Carico Si- smico (F_seism_ load)	Pres sioni Lato Mon te (F_ Wa- terD R)	Pres sioni Lato Vall e (F_ Wa- ter Res)	Carichi Perma- nenti De- stabiliz- zanti (F_UPL_G DStab)	Carichi Perma- nenti Sta- bilizzanti (F_UPL_G Stab)	Carichi Va- riabili De- stabiliz- zanti (F_UPL_Q DStab)	Carichi Perma- nenti De- stabiliz- zanti (F_HYD_G DStab)	Carichi Perma- nenti Sta- bilizzanti (F_HYD_G Stab)	Carichi Va- riabili De- stabiliz- zanti (F_HYD_Q DStab)
Simbolo	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_Q$	$\gamma_Q$	$\gamma_{QE}$	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_{Gdst}$	$\gamma_{Gstb}$	$\gamma_{Qdst}$	$\gamma_{Gdst}$	$\gamma_{Gstb}$	$\gamma_{Qdst}$
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018 : SLE (Rara/Fr equente /Quasi Perma- nente)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018 : A1+M1+ R1 (R3 per ti- ranti)	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1.3	0.9	1
NTC2018 : A2+M2+ R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1
NTC2018 : SI- SMICA STR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018 : SI- SMICA GEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

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	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_{qu}$	$\gamma_\gamma$
Nominal	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1	1	1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1	1	1	1

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	$\gamma_{Re}$	$\gamma_{p}$	$\gamma_{t}$	
Nominal	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Fre- quente/Quasi Permanente)	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1.2	1.1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1.2	1.1	1

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	$\gamma_{Re}$	$\gamma_{ap}$	$\gamma_{at}$	
NTC2018: SISMICA GEO	1	1.2	1.1	1

## Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo

Design Assumption	Geostatico Paratia Scavo a -4.5m Sisma			
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	V	V	V	V
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	V	V	V	V
NTC2018: A2+M2+R1	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA STR	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA GEO	V	V	V	V

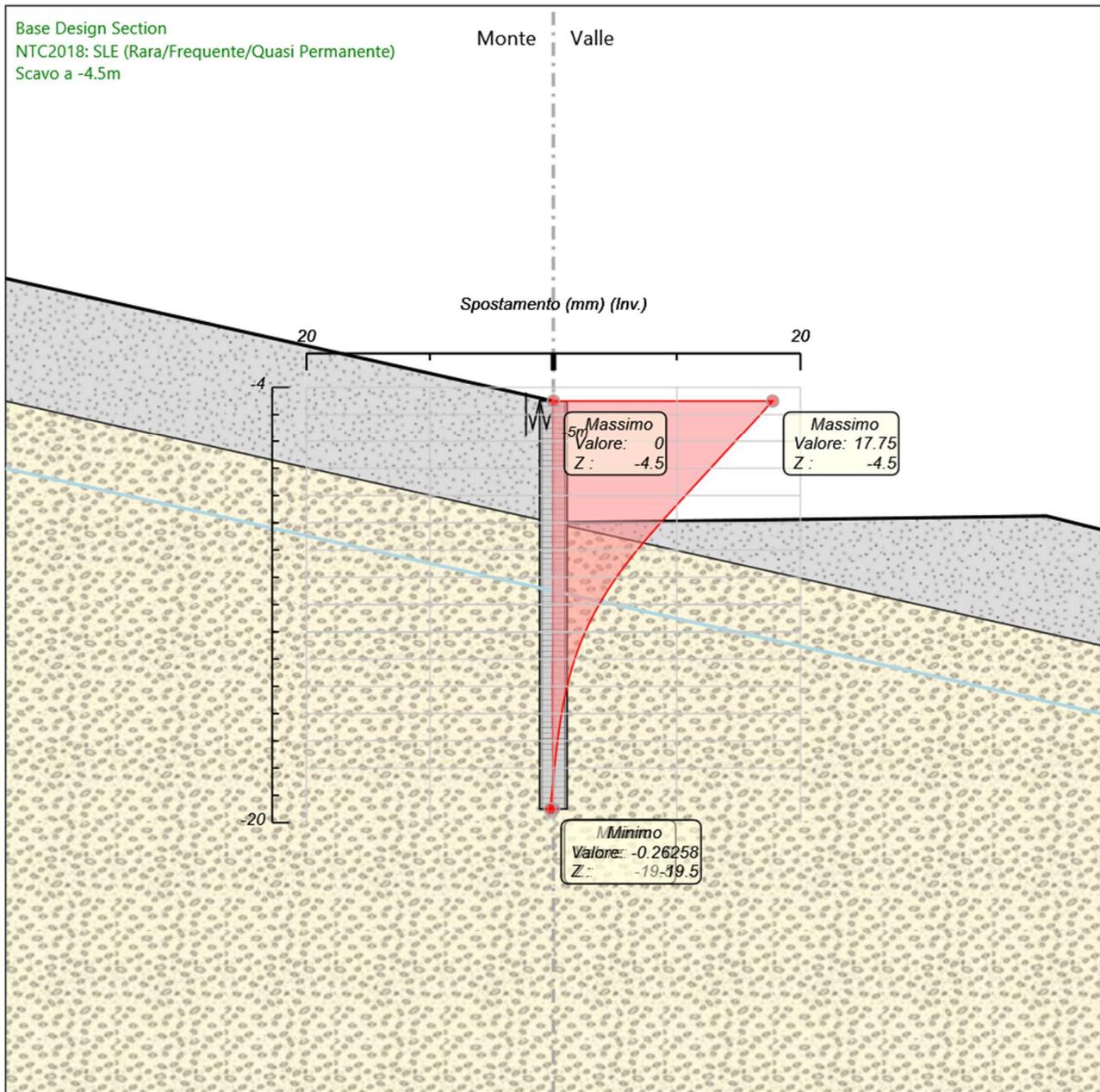
## Descrizione sintetica dei risultati delle Design Assumption (Inviluppi)

### Tabella Inviluppi Spostamento Left Wall

Selected Design Assumptions Inviluppi: Spostamento		Muro: LEFT
Z (m)	Lato sinistro (mm)	Lato destro (mm)
-4.5	0	17.75
-4.7	0	17.349
-4.9	0	16.949
-5	0	16.749
-5.2	0	16.348
-5.4	0	15.948
-5.6	0	15.547
-5.8	0	15.145
-6	0	14.743
-6.2	0	14.34
-6.4	0	13.937
-6.6	0	13.532
-6.8	0	13.127
-7	0	12.721
-7.2	0	12.315
-7.4	0	11.908
-7.6	0	11.501
-7.8	0	11.093
-8	0	10.687
-8.2	0	10.281
-8.4	0	9.877
-8.6	0	9.475
-8.8	0	9.075
-9	0	8.679
-9.2	0	8.288
-9.4	0	7.902
-9.6	0	7.522
-9.8	0	7.149
-10	0	6.785
-10.2	0	6.429
-10.4	0	6.082
-10.6	0	5.745
-10.8	0	5.419
-11	0	5.103
-11.2	0	4.799
-11.4	0	4.505
-11.6	0	4.233
-11.8	0	3.962
-12	0	3.703
-12.2	0	3.456
-12.4	0	3.22
-12.6	0	2.995
-12.8	0	2.782
-13	0	2.58
-13.2	-0.006	2.389
-13.4	-0.019	2.209
-13.6	-0.03	2.038
-13.8	-0.039	1.878
-14	-0.047	1.728
-14.2	-0.053	1.587
-14.4	-0.059	1.455
-14.6	-0.062	1.331
-14.8	-0.065	1.215
-15	-0.067	1.107
-15.2	-0.068	1.006
-15.4	-0.068	0.912
-15.6	-0.068	0.823
-15.8	-0.067	0.741
-16	-0.066	0.664
-16.2	-0.064	0.591
-16.4	-0.062	0.523
-16.6	-0.059	0.458
-16.8	-0.056	0.397

Selected Design Assumptions Involuppi: Spostamento		Muro: LEFT
Z (m)	Lato sinistro (mm)	Lato destro (mm)
-17	-0.053	0.339
-17.2	-0.05	0.284
-17.4	-0.047	0.231
-17.6	-0.043	0.18
-17.8	-0.039	0.13
-18	-0.036	0.082
-18.2	-0.032	0.034
-18.4	-0.029	0.001
-18.6	-0.058	0.001
-18.8	-0.104	0.001
-19	-0.149	0.001
-19.2	-0.195	0
-19.4	-0.24	0
-19.5	-0.263	0

# Grafico Involuppi Spostamento



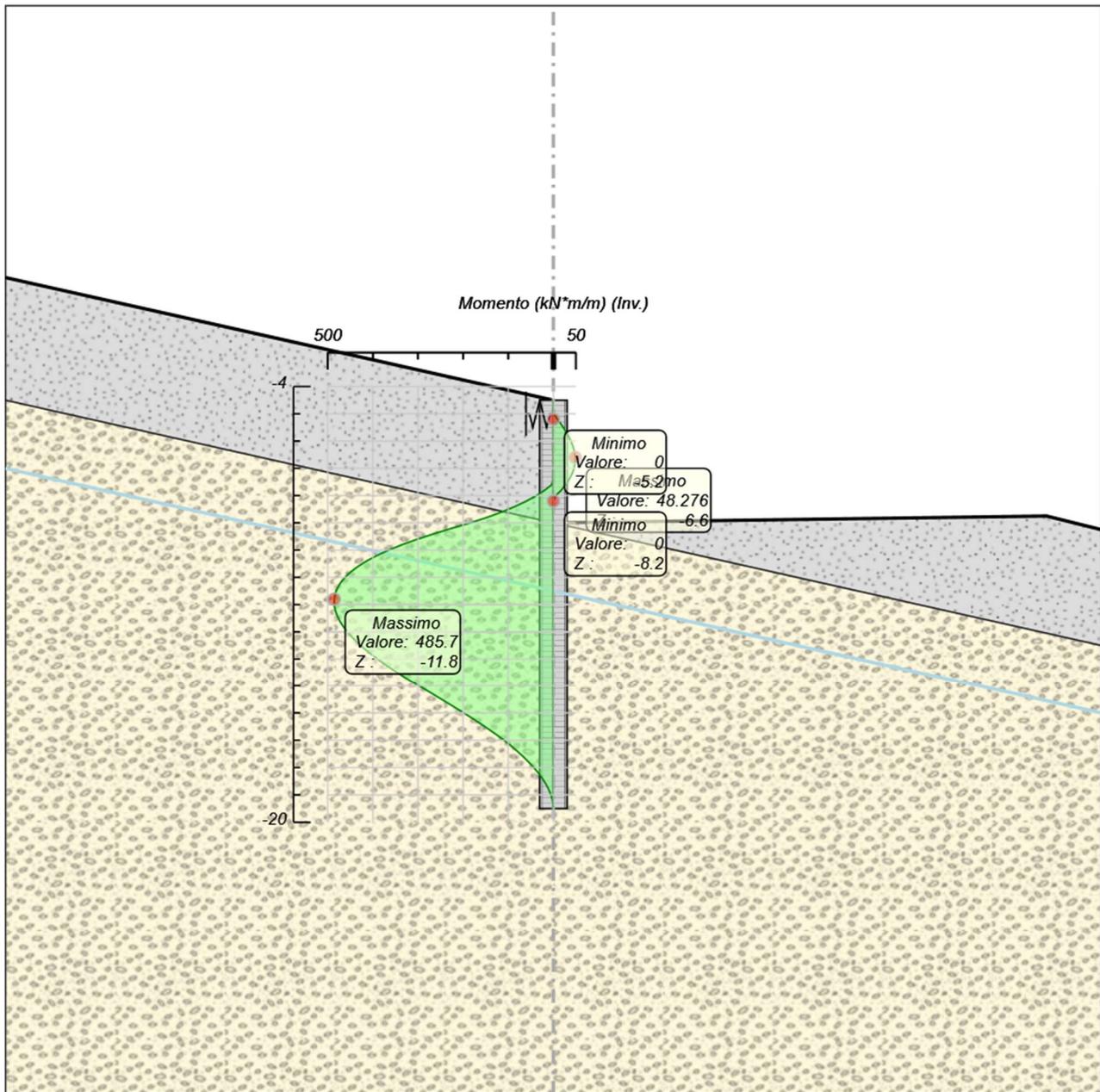
Spostamento

## Tabella Involuppi Momento Paratia

Selected Design Assumptions Z (m)	Involuppi: Momento	
	Lato sinistro (kN*m/m)	Muro: Paratia Lato destro (kN*m/m)
-4.5	0	0
-4.7	0.038	0
-4.9	0.315	0.004
-5	0.605	0.008
-5.2	0	8.918
-5.4	0	17.794
-5.6	0	25.857
-5.8	0	32.945
-6	0	38.894
-6.2	0	43.542
-6.4	0	46.724
-6.6	0	48.276
-6.8	0	48.036
-7	0	45.841
-7.2	0	41.525
-7.4	0	34.927
-7.6	3.668	27.391
-7.8	19.14	17.63
-8	37.733	5.431
-8.2	59.634	0
-8.4	85.034	0
-8.6	114.122	0
-8.8	147.086	0
-9	184.116	0
-9.2	225.401	0
-9.4	264.638	0
-9.6	301.33	0
-9.8	334.98	0
-10	365.093	0
-10.2	391.359	0
-10.4	413.975	0
-10.6	433.136	0
-10.8	449.03	0
-11	461.841	0
-11.2	471.744	0
-11.4	478.91	0
-11.6	483.502	0
-11.8	485.699	0
-12	485.653	0
-12.2	483.509	0
-12.4	479.401	0
-12.6	473.458	0
-12.8	465.799	0
-13	456.539	0
-13.2	445.783	0
-13.4	433.63	0
-13.6	420.171	0
-13.8	405.493	0
-14	389.671	0
-14.2	372.826	0
-14.4	355.065	0
-14.6	336.492	0
-14.8	317.305	0
-15	297.686	0
-15.2	277.807	0
-15.4	257.823	0
-15.6	237.88	0
-15.8	218.11	0
-16	198.638	0
-16.2	179.578	0
-16.4	161.035	0
-16.6	143.109	0
-16.8	125.89	0
-17	109.466	0
-17.2	94.235	0
-17.4	80.113	0
-17.6	66.851	0

Selected Design Assumptions Z (m)	Involuppi: Momento		Muro: Paratia
	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)	
-17.8	54.533	0	0
-18	43.248	0	0
-18.2	33.081	0	0
-18.4	24.272	0	0
-18.6	16.682	0	0
-18.8	10.377	0	0
-19	5.463	0	0
-19.2	2.048	0	0
-19.4	0.249	0	0
-19.5	0	0	0

# Grafico Involuppi Momento



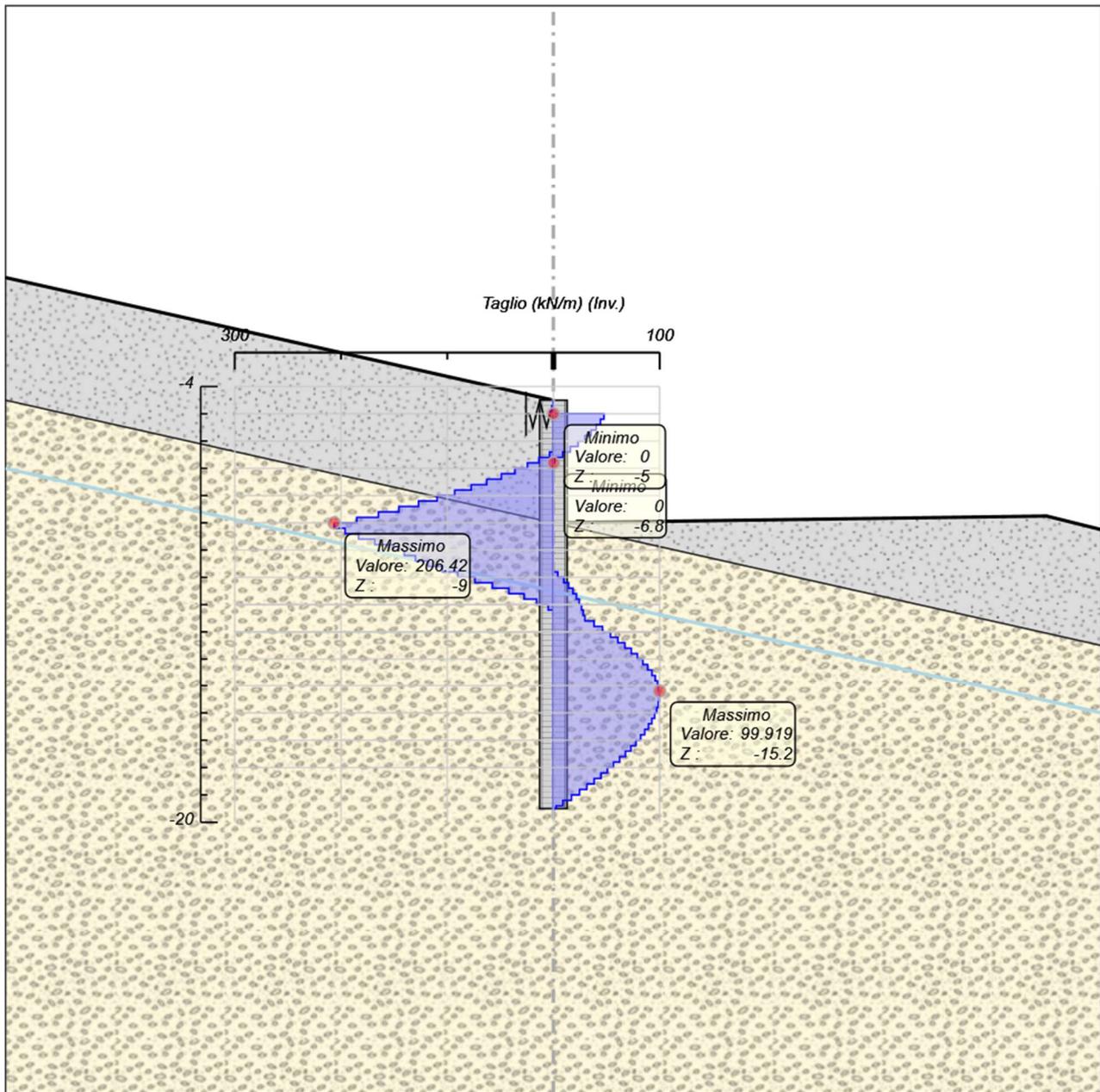
Momento

## Tabella Involuppi Taglio Paratia

Selected Design Assumptions Z (m)	Involuppi: Taglio	
	Muro: Paratia Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
-4.5	0.189	0
-4.7	1.386	0.019
-4.9	2.898	0.047
-5	2.898	47.616
-5.2	0	47.616
-5.4	0	44.375
-5.6	0	40.317
-5.8	0	35.441
-6	0	29.748
-6.2	0	23.237
-6.4	3.611	15.909
-6.6	13.539	8.816
-6.8	24.412	1.059
-7	36.231	0
-7.2	48.996	0
-7.4	62.706	0
-7.6	77.361	0
-7.8	92.962	0
-8	109.509	0
-8.2	127.001	0
-8.4	145.438	0
-8.6	164.821	0
-8.8	185.15	0
-9	206.424	0
-9.2	206.424	0
-9.4	196.184	0
-9.6	183.46	0
-9.8	168.253	0
-10	150.562	0
-10.2	140.371	0
-10.4	129.841	0
-10.6	117.929	0
-10.8	104.636	4.168
-11	89.964	9.705
-11.2	73.912	14.435
-11.4	57.443	18.419
-11.6	41.971	21.718
-11.8	27.611	24.39
-12	15.823	26.492
-12.2	4.968	28.078
-12.4	0	29.72
-12.6	0	38.295
-12.8	0	46.305
-13	0	53.786
-13.2	0	60.772
-13.4	0	67.299
-13.6	0	73.397
-13.8	0	79.106
-14	0	84.228
-14.2	0	88.803
-14.4	0	92.866
-14.6	0	95.937
-14.8	0	98.091
-15	0	99.396
-15.2	0	99.919
-15.4	0	99.919
-15.6	0	99.717
-15.8	0	98.848
-16	0	97.361
-16.2	0	95.302
-16.4	0	92.713
-16.6	0	89.632
-16.8	0	86.092
-17	0	82.122
-17.2	0	77.748
-17.4	0	72.992
-17.6	0	67.872

Selected Design Assumptions	Inviluppi: Taglio	Muro: Paratia
Z (m)	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
-17.8	0	62.406
-18	0	56.606
-18.2	0	50.837
-18.4	0	44.831
-18.6	0	38.408
-18.8	0	31.568
-19	0	24.57
-19.2	0	17.075
-19.4	0	8.995
-19.5	0	2.49

# Grafico Inviluppi Taglio



Taglio

## Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva %
NTC2018: SISMICA STR Sisma Left Wall		LEFT		24.1
NTC2018: SISMICA STR Sisma Left Wall		RIGHT		54.49

## Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva %
NTC2018: A2+M2+R1 Geostatico Left Wall		LEFT		92.75
NTC2018: A2+M2+R1 Geostatico Left Wall		RIGHT		154.87

## ***Normative adottate per le verifiche degli Elementi Strutturali***

### **Normative Verifiche**

Calcestruzzo	NTC
Acciaio	NTC
Tirante	NTC

### **Coefficienti per Verifica Tiranti**

GEO FS	1
$\xi_{a3}$	1.8
$\gamma_s$	1.15

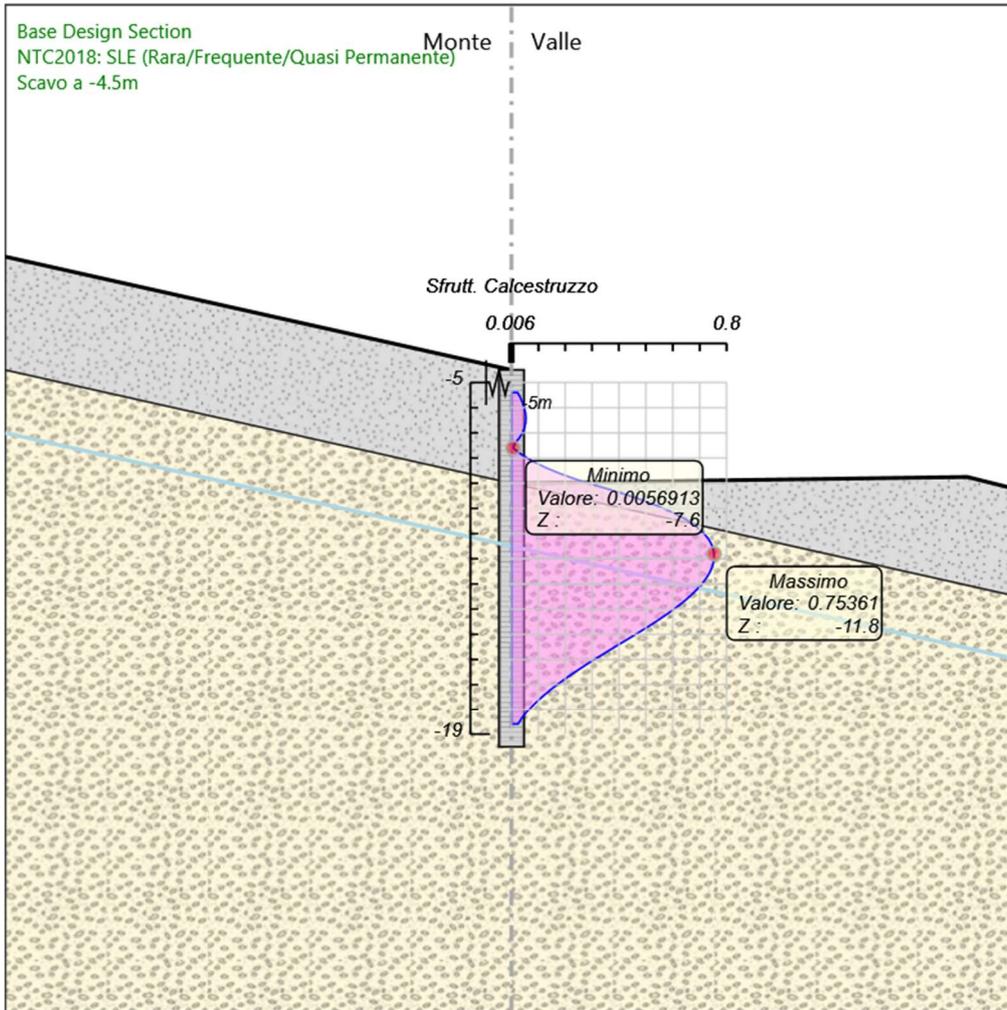
## Risultati Caver

Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver
-5.4	0.023
-5.6	0.033
-5.8	0.041
-6	0.048
-6.2	0.052
-6.4	0.053
-6.6	0.052
-6.8	0.048
-7	0.041
-7.2	0.029
-7.4	0.014
-7.6	0.006
-7.8	0.03
-8	0.059
-8.2	0.093
-8.4	0.132
-8.6	0.177
-8.8	0.228
-9	0.286
-9.2	0.35
-9.4	0.411
-9.6	0.468
-9.8	0.52
-10	0.566
-10.2	0.607
-10.4	0.642
-10.6	0.672
-10.8	0.697
-11	0.717
-11.2	0.732
-11.4	0.743
-11.6	0.75
-11.8	0.754
-12	0.754
-12.2	0.75
-12.4	0.744
-12.6	0.735
-12.8	0.723
-13	0.708
-13.2	0.692
-13.4	0.673
-13.6	0.652
-13.8	0.629
-14	0.605
-14.2	0.578
-14.4	0.551
-14.6	0.522
-14.8	0.492
-15	0.462
-15.2	0.431
-15.4	0.4
-15.6	0.369
-15.8	0.338
-16	0.308
-16.2	0.279
-16.4	0.25
-16.6	0.222
-16.8	0.195
-17	0.17
-17.2	0.146
-17.4	0.123
-17.6	0.102
-17.8	0.083
-18	0.065

Involuppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver		LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver	
-18.2		0.049
-18.4		0.036
-18.6		0.024

# Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver

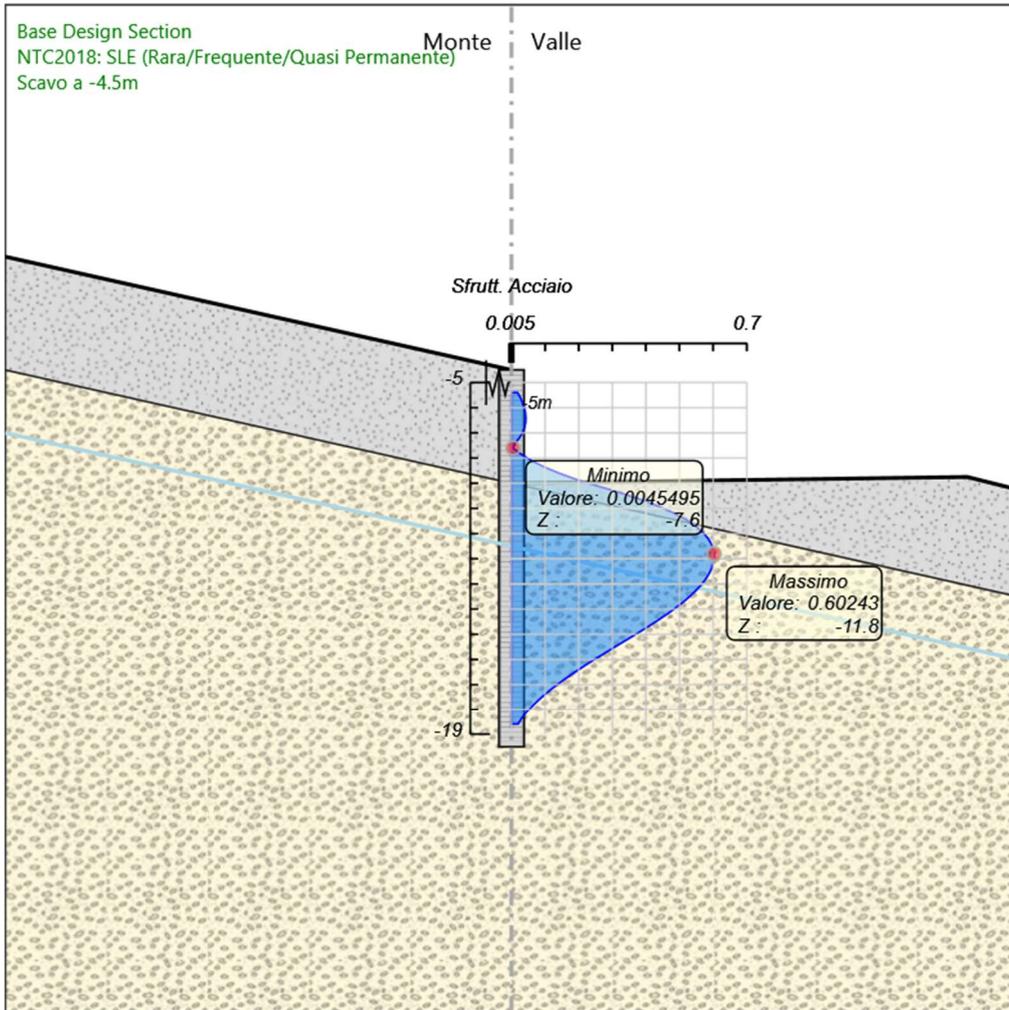


Inviluppi  
Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver

## Tabella Involuppi Tasso di Sfruttamento Armature - Cover : LEFT

Involuppi Tasso di Sfruttamento Armature - Cover	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Armature - Cover
-5.4	0.018
-5.6	0.026
-5.8	0.033
-6	0.038
-6.2	0.041
-6.4	0.043
-6.6	0.042
-6.8	0.038
-7	0.032
-7.2	0.023
-7.4	0.011
-7.6	0.005
-7.8	0.024
-8	0.047
-8.2	0.074
-8.4	0.105
-8.6	0.142
-8.8	0.182
-9	0.228
-9.2	0.28
-9.4	0.328
-9.6	0.374
-9.8	0.415
-10	0.453
-10.2	0.485
-10.4	0.513
-10.6	0.537
-10.8	0.557
-11	0.573
-11.2	0.585
-11.4	0.594
-11.6	0.6
-11.8	0.602
-12	0.602
-12.2	0.6
-12.4	0.595
-12.6	0.587
-12.8	0.578
-13	0.566
-13.2	0.553
-13.4	0.538
-13.6	0.521
-13.8	0.503
-14	0.483
-14.2	0.462
-14.4	0.44
-14.6	0.417
-14.8	0.394
-15	0.369
-15.2	0.345
-15.4	0.32
-15.6	0.295
-15.8	0.271
-16	0.246
-16.2	0.223
-16.4	0.2
-16.6	0.178
-16.8	0.156
-17	0.136
-17.2	0.116
-17.4	0.098
-17.6	0.082
-17.8	0.066
-18	0.052
-18.2	0.039
-18.4	0.029
-18.6	0.019

# Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento Armature - Caver

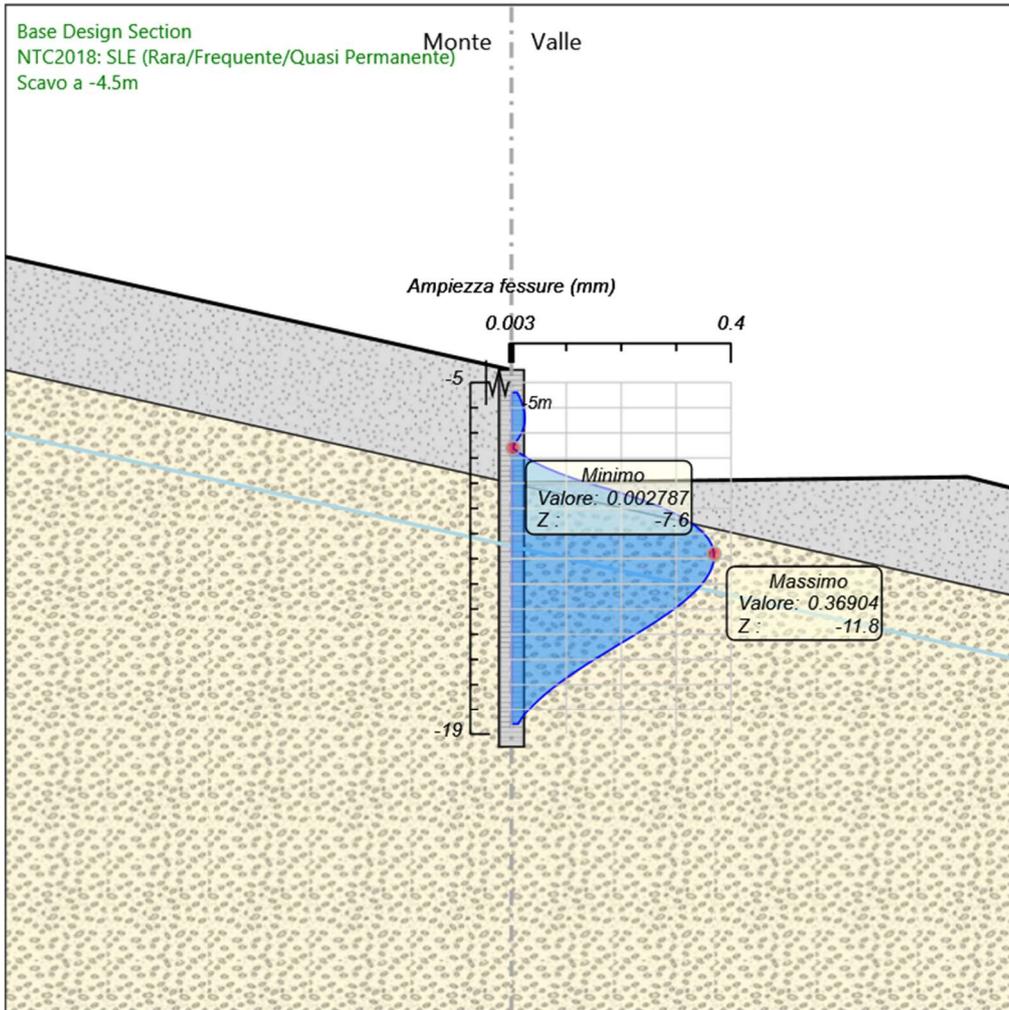


Inviluppi  
Tasso di Sfruttamento Armature - Caver

## Tabella Inviluppi Apertura Fessure - Caver : LEFT

Inviluppi Apertura Fessure - Caver	LEFT
Z (m)	Apertura Fessure - Caver (mm)
-5.4	0.01
-5.6	0.015
-5.8	0.019
-6	0.022
-6.2	0.024
-6.4	0.024
-6.6	0.024
-6.8	0.022
-7	0.019
-7.2	0.013
-7.4	0.006
-7.6	0.003
-7.8	0.015
-8	0.029
-8.2	0.045
-8.4	0.065
-8.6	0.087
-8.8	0.112
-9	0.14
-9.2	0.171
-9.4	0.201
-9.6	0.229
-9.8	0.255
-10	0.277
-10.2	0.297
-10.4	0.315
-10.6	0.329
-10.8	0.341
-11	0.351
-11.2	0.358
-11.4	0.364
-11.6	0.367
-11.8	0.369
-12	0.369
-12.2	0.367
-12.4	0.364
-12.6	0.36
-12.8	0.354
-13	0.347
-13.2	0.339
-13.4	0.329
-13.6	0.319
-13.8	0.308
-14	0.296
-14.2	0.283
-14.4	0.27
-14.6	0.256
-14.8	0.241
-15	0.226
-15.2	0.211
-15.4	0.196
-15.6	0.181
-15.8	0.166
-16	0.151
-16.2	0.136
-16.4	0.122
-16.6	0.109
-16.8	0.096
-17	0.083
-17.2	0.071
-17.4	0.06
-17.6	0.05
-17.8	0.04
-18	0.032
-18.2	0.024
-18.4	0.018
-18.6	0.012

# Grafico Involuppi Apertura Fessure - Caver

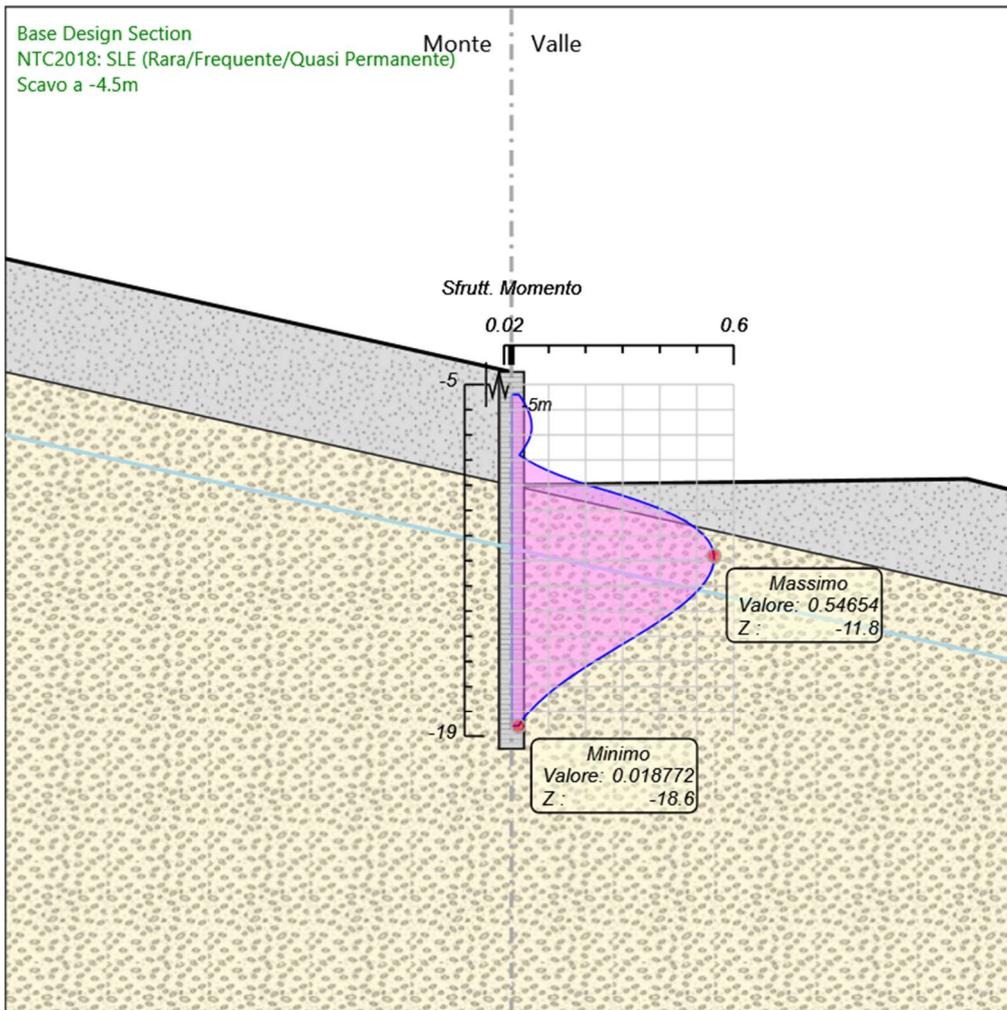


Involuppi  
Apertura Fessure - Caver

## Tabella Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver : LEFT

Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver
-5.4	0.02
-5.6	0.029
-5.8	0.037
-6	0.044
-6.2	0.049
-6.4	0.053
-6.6	0.054
-6.8	0.054
-7	0.052
-7.2	0.047
-7.4	0.039
-7.6	0.031
-7.8	0.022
-8	0.042
-8.2	0.067
-8.4	0.096
-8.6	0.128
-8.8	0.166
-9	0.207
-9.2	0.254
-9.4	0.298
-9.6	0.339
-9.8	0.377
-10	0.411
-10.2	0.44
-10.4	0.466
-10.6	0.487
-10.8	0.505
-11	0.52
-11.2	0.531
-11.4	0.539
-11.6	0.544
-11.8	0.547
-12	0.546
-12.2	0.544
-12.4	0.539
-12.6	0.533
-12.8	0.524
-13	0.514
-13.2	0.502
-13.4	0.488
-13.6	0.473
-13.8	0.456
-14	0.438
-14.2	0.42
-14.4	0.4
-14.6	0.379
-14.8	0.357
-15	0.335
-15.2	0.313
-15.4	0.29
-15.6	0.268
-15.8	0.245
-16	0.224
-16.2	0.202
-16.4	0.181
-16.6	0.161
-16.8	0.142
-17	0.123
-17.2	0.106
-17.4	0.09
-17.6	0.075
-17.8	0.061
-18	0.049
-18.2	0.037
-18.4	0.027
-18.6	0.019

# Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver

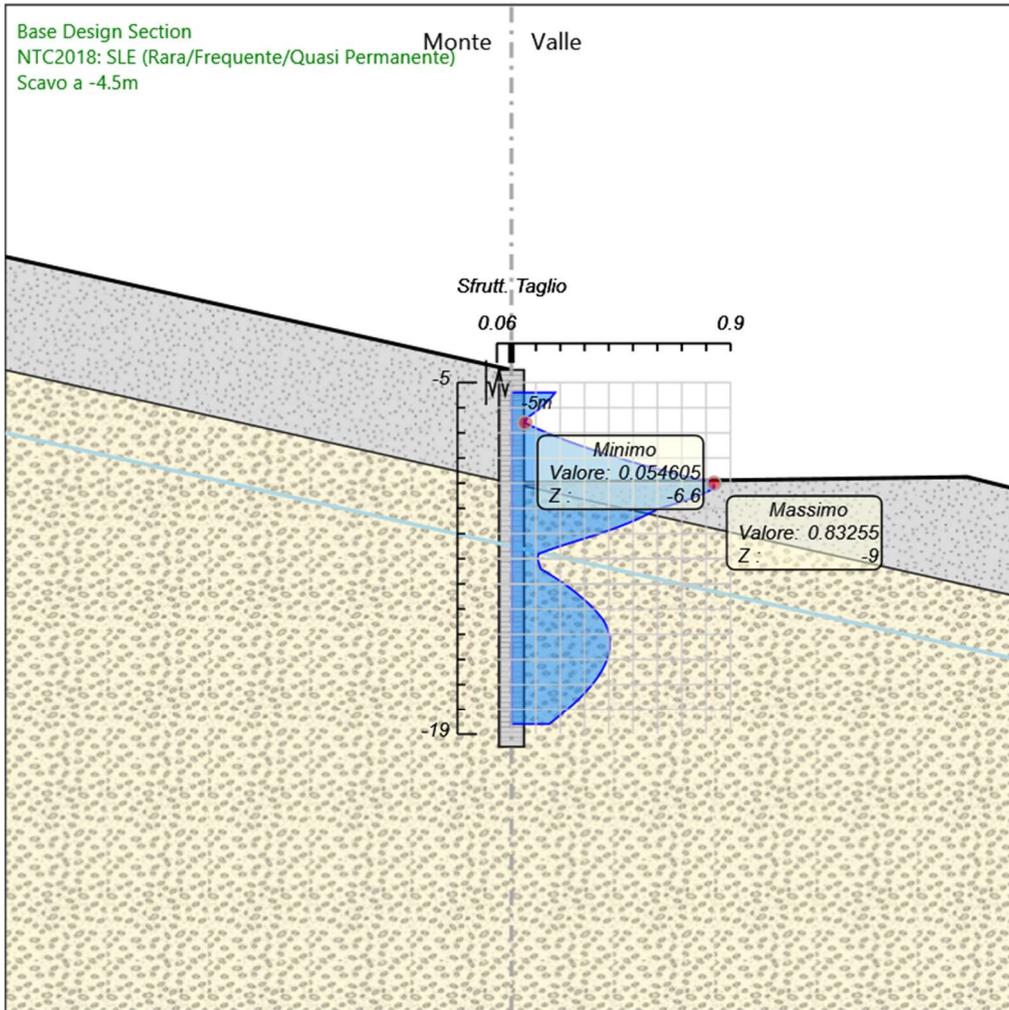


Inviluppi  
Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver

## Tabella Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver : LEFT

Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver
-5.4	0.179
-5.6	0.163
-5.8	0.143
-6	0.12
-6.2	0.094
-6.4	0.064
-6.6	0.055
-6.8	0.098
-7	0.146
-7.2	0.198
-7.4	0.253
-7.6	0.312
-7.8	0.375
-8	0.442
-8.2	0.512
-8.4	0.587
-8.6	0.665
-8.8	0.747
-9	0.833
-9.2	0.833
-9.4	0.791
-9.6	0.74
-9.8	0.679
-10	0.607
-10.2	0.566
-10.4	0.524
-10.6	0.476
-10.8	0.422
-11	0.363
-11.2	0.298
-11.4	0.232
-11.6	0.169
-11.8	0.111
-12	0.107
-12.2	0.113
-12.4	0.12
-12.6	0.154
-12.8	0.187
-13	0.217
-13.2	0.245
-13.4	0.271
-13.6	0.296
-13.8	0.319
-14	0.34
-14.2	0.358
-14.4	0.375
-14.6	0.387
-14.8	0.396
-15	0.401
-15.2	0.403
-15.4	0.403
-15.6	0.402
-15.8	0.399
-16	0.393
-16.2	0.384
-16.4	0.374
-16.6	0.362
-16.8	0.347
-17	0.331
-17.2	0.314
-17.4	0.294
-17.6	0.274
-17.8	0.252
-18	0.228
-18.2	0.205
-18.4	0.181
-18.6	0.155

# Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver



Involuppi  
Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver

