

**E 78 GROSSETO - FANO  
TRATTO SELCI - LAMA (E 45) - S.STEFANO DI GAIFA  
Adeguamento a 2 corsie del tratto Mercatello sul Metauro Ovest -  
Mercatello sul Metauro Est (Lotto 4°)**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**AN 245**

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111 Settore a-b-c</p> <p><i>Ing. Moreno Panfili</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. David Crenca</i> Ordine Ingegneri Provincia di Frosinone n. A1762</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p><b>GPI INGEGNERIA</b> GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p> cooprogetti</p> <p> engeko</p> <p> Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> ORDINE INGEGNERI ROMA N° 14035</p>
<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

**OPERE D'ARTE MAGGIORI**

Galleria Mercatello 2

Imbocco est

Relazione tecnica e di calcolo paratie imbocco

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG	ANNO	T00GA04OSTRE01B.			
<b>D</b>	<b>D</b>	<b>22</b>	<b>T00GA04OSTRE01</b>			<b>B</b>
<b>D</b>						
<b>C</b>						
<b>B</b>	Revisione a seguito istruttoria U.0030221 del 16.01.2023		Febbraio '23	Amoruso	Signorelli	Guiducci
<b>A</b>	Emissione		Ottobre '22	Amoruso	Signorelli	Guiducci
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b>1.</b>	<b><u>PREMESSA</u></b> .....	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b><u>NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE DI RIFERIMENTO</u></b> .....	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b><u>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</u></b> .....	<b>5</b>
3.1.	CALCESTRUZZO CORDOLO E TRAVI DI RIPARTIZIONE .....	5
3.2.	MALTA CEMENTIZIA PER GETTO MICROPALI .....	5
3.3.	SPRITZ BETON CONFORME UNI EN 206-1 .....	5
3.4.	MISCELE CEMENTIZIE PER INIEZIONE TIRANTI .....	5
3.5.	CALCESTRUZZO MAGRO .....	5
3.6.	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO B450C .....	5
3.7.	RETE ELETTROSALDATA .....	6
3.8.	ACCIAIO PER PROFILATI E PIASTRE S355 JR.....	6
3.9.	ACCIAIO ARMONICO PER TIRANTI IN TREFOLI DA 0.6" .....	6
<b>4.</b>	<b><u>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</u></b> .....	<b>7</b>
<b>5.</b>	<b><u>CRITERI DI VERIFICA</u></b> .....	<b>8</b>
<b>6.</b>	<b><u>METODO DI ANALISI</u></b> .....	<b>10</b>
6.1.	METODO DI CALCOLO .....	10
6.2.	FASI DI CALCOLO.....	10
6.3.	AZIONI E CARICHI AGENTI.....	10
6.3.1	<i>Carichi permanenti</i> .....	10
6.3.2	<i>Azione sismica</i> .....	11
6.4.	ELEMENTI STRUTTURALI .....	11
1.1.1	<i>Rigidità equivalente delle paratie</i> .....	11
6.4.1.	<i>Ancoraggi</i> .....	12
6.5.	VERIFICHE .....	12
6.5.1.	<i>Micropali</i> .....	12
1.1.2	<i>Ancoraggi</i> .....	13
6.5.2.	<i>Verifica della trave di ripartizione</i> .....	16
<b>7.</b>	<b><u>PARETE FRONTALE</u></b> .....	<b>17</b>
7.1.	VERIFICHE STRUTTURALI .....	22
7.1.1.	<i>Micropali</i> .....	26
7.1.2.	<i>Ancoraggi</i> .....	27
7.1.3.	<i>Travi di ripartizione</i> .....	27
7.2.	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	28
7.3.	STABILITÀ GLOBALE.....	29
<b>8.</b>	<b><u>ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE DI CALCOLO</u></b> .....	<b>31</b>

PROGETTAZIONE ATI:

8.1.	AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO .....	31
8.2.	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI .....	31
<b>9.</b>	<b><u>ALLEGATO – TABULATI DI CALCOLO.....</u></b>	<b><u>32</u></b>

PROGETTAZIONE ATI:



## 2. NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE DI RIFERIMENTO

- [ 1 ] Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»
- [ 2 ] Circolare 21 gennaio 2019, Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018
- [ 3 ] UNI EN 1997-1:2005, Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali
- [ 4 ] UNI EN 1998:2005, Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [ 5 ] Raccomandazioni AGI-AICAP "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce" Ed. AGI, 2012
- [ 6 ] AGI - Associazione Geotecnica Italiana (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica"

PROGETTAZIONE ATI:

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1. CALCESTRUZZO CORDOLO E TRAVI DI RIPARTIZIONE

C28/35	classe di resistenza a compressione
$f_{ck} = 28 \text{ MPa}$	resistenza cilindrica caratteristica a compressione
$f_{cd} = 0.85 \times 28 / 1.50 = 15.87 \text{ MPa}$	resistenza di calcolo a compressione
$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 36 \text{ MPa}$	resistenza media cilindrica
$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.77 \text{ MPa}$	resistenza media a trazione assiale
$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 1.94 \text{ MPa}$	resistenza a trazione
$f_{ctm} = 1.2 \times f_{ctm} = 3.32 \text{ MPa}$	resistenza media a trazione per flessione
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.29 \text{ MPa}$	resistenza a trazione di calcolo
$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 32300 \text{ MPa}$	modulo elastico istantaneo
$\gamma_{cls} = 25.0 \text{ kN/mc}$	peso per unità di volume

Confezionato in modo tale da garantire le prestazioni minime richieste per le classi di esposizione XC2 (come definite dalla Norma ENV 206-1 UNI 11104/04); la classe di consistenza è S4. Lo spessore minimo del copriferro è stato determinato in accordo alle indicazioni fornite dall'EUROCODICE 2-UNI ENV 1992 in funzione delle classi di esposizione ambientali.

#### 3.2. MALTA CEMENTIZIA PER GETTO MICROPALI

- Classe di resistenza minima: C20/25
- Rapporto acqua-cemento: 0.50-0.70
- Additivi fluidificanti ed acceleranti di presa

#### 3.3. SPRITZ BETON CONFORME UNI EN 206-1

- Classe di resistenza minima: C25/30
- Classe di esposizione: XC2

#### 3.4. MISCELE CEMENTIZIE PER INIEZIONE TIRANTI

- Classe di resistenza minima: C20/25
- Rapporto acqua-cemento  $\leq 0.50$
- Additivi fluidificanti ed acceleranti di presa

#### 3.5. CALCESTRUZZO MAGRO

Calcestruzzo confezionato con dosaggio cemento  $150 \text{ kg/m}^3$

#### 3.6. ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO B450C

Si utilizzeranno barre in acciaio ad aderenza migliorata tipo B450C controllato in stabilimento saldabile, pertanto nei calcoli statici saranno assunti i seguenti parametri:

$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} = 540 \text{ MPa}$	tensione caratteristica di rottura
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3 \text{ MPa}$	tensione di calcolo

PROGETTAZIONE ATI:

$E_s = 210000 \text{ MPa}$	modulo elastico
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 1.863\text{‰}$	deformazione di snervamento ultima
$\epsilon_{uk} = 7.50\%$	deformazione uniforme caratteristica
$\epsilon_{ud} = 0.9 \times \epsilon_{uk} = 6.75\%$	deformazione uniforme ultima
$\gamma_s = 78.5 \text{ kN/mc}$	peso per unità di volume

### 3.7. RETE ELETTROSALDATA

- acciaio B450C
- maglia 20x20cm

### 3.8. ACCIAIO PER PROFILATI E PIASTRE S355 JR

$\gamma_M = 1.05$	coefficiente parziale per SLU
$f_{tk} = 510 \text{ MPa}$	tensione di rottura caratteristica
$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$	tensione di snervamento caratteristica
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_M = 338.09 \text{ MPa}$	tensione di snervamento di calcolo
$E_s = 210000 \text{ MPa}$	modulo elastico

### 3.9. ACCIAIO ARMONICO PER TIRANTI IN TREFOLI DA 0.6"

$f_{ptk} \geq 1860 \text{ MPa}$	tensione di rottura a trazione nell'acciaio
$f_{p(1)k} \geq 1670 \text{ MPa}$	tensione di snervamento dell'acciaio
$E_s = 210000 \text{ MPa}$	modulo elastico

#### 4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per il dettaglio dell'inquadramento geologico - geotecnico si rimanda alla Relazione Geotecnica.

Le diverse unità geotecniche presenti in sito ed i relativi parametri emersi dalla caratterizzazione geotecnica sono riassunti nella seguente tabella.

		UG3a	UG3
<b>Peso di volume <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>		26	26
<b>Classificazione Hoek-Brown</b>	<b><math>\sigma_c</math> (MPa)</b>	5 ÷ 40	5 ÷ 40
	<b>GSI</b>	40 ÷ 45	45 ÷ 50
	<b><math>m_i</math></b>	7	7
	<b>D</b>	0.2	0.2
<b>Criterio Hoek-Brown</b>	<b>m</b>		
	<b>s</b>		
	<b>a</b>		
<b>Criterio Mohr-Coulomb</b>	<b><math>c'</math> (kPa)</b>	60 ÷ 150	70 ÷ 190
	<b><math>\phi'</math> (°)</b>	35 ÷ 50	38 ÷ 52
<b>Modulo elastico E (GPa)</b>		1.50 ÷ 3.10	2.10 ÷ 4.10
<b>Coeff. di Poisson <math>\nu</math></b>		0.25	0.25

Ai fini delle verifiche oggetto della presente relazione i valori di calcolo delle proprietà meccaniche sono stati assunti i pari a quelli minimi dei campi di variabilità sopra indicati.

La profondità della falda è stata assunta a 8 m dal piano campagna.

## 5. CRITERI DI VERIFICA

Ai fini del dimensionamento geotecnico e strutturale ai sensi del D.M. 2018 le verifiche sono effettuate secondo le seguenti combinazioni di coefficienti:

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

Sono stati considerati i seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- sfilamento di uno o più ancoraggi
- stabilità globale dell'insieme terreno-opera

Nel presente caso, così come previsto dalla Circolare dell'11 febbraio 2019 §C6.5.3.1.2, il collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera, inteso come uno stato limite in cui si raggiungano le condizioni di equilibrio limite del terreno interagente con l'opera e che sia cinematicamente possibile un atto di moto rigido intorno alla paratia, non può verificarsi in quanto presenti più livelli di vincolo. Dunque saranno verificati esclusivamente gli stati limite riguardanti lo sfilamento degli ancoraggi valutato con Combinazione A2+M2+R1 e la stabilità globale dell'insieme terreno-opera, quest'ultima valutata secondo con la Combinazione A2+M2+R2.

SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

Le verifiche sono effettuate secondo le seguenti combinazioni di coefficienti della Combinazione A1+M1+R1.

Le verifiche sono effettuate secondo le seguenti combinazioni di coefficienti:

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

I coefficienti parziali incrementali delle azioni da usare nelle combinazioni SLU sono riportati nella tabella seguente:

Carichi	Effetto	Coefficiente Parziale	Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
			A1 (STR)	A2 (GEO)	A1 (STR)	A2 (GEO)
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	1.00	1.00	1.00	1.00
	Sfavorevole		1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sfavorevole		1.50	1.30	1.00	1.00

I coefficienti parziali riduttivi dei parametri di resistenza dei materiali da usare nelle combinazioni SLU sono riportati nella tabella seguente:

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente Parziale $\gamma_M$	Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
			M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_{K1}$	$\gamma_{\varphi'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	$c'_{Kc}$	$\gamma_c$	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	$c_{uKc}$	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniaassiale	$q_u$	$\gamma_{qu}$	1.00	1.60	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_Y$	1.00	1.00	1.00	1.00

In riferimento alla combinazione A1+M1+R3 (specificata per i tiranti), la verifica può essere effettuata tenendo conto dei coefficienti parziali riduttivi della resistenza degli ancoraggi riportati nella tabella seguente (in accordo con il paragrafo 6.6.2 delle NTC2018 tab. 6.6.I).

**Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi**

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	$\gamma_R$	1,1
Permanenti	$\gamma_R$	1,2

Le opere in oggetto, di carattere provvisoria, hanno una vita utile inferiore a 2 anni. Pertanto, ai sensi delle NTC2018 (§ 2.4.1), le verifiche sismiche potrebbero essere omesse. E' stato tuttavia scelto di verificarle ugualmente rispetto all'azione sismica; quest'ultima è stata valutata considerando una vita di riferimento  $V_R = 35$  anni.

## 6. METODO DI ANALISI

### 6.1. METODO DI CALCOLO

Il calcolo tenso-deformativo delle paratie viene effettuato tramite modelli che simulano l'interazione tra terreno e struttura di sostegno e sono implementati con il codice di calcolo *ParatiePlus* v.23 (Harpaceas. s.r.l. Milano). Il codice di calcolo permette di valutare l'evoluzione tenso-deformativa delle varie fasi di realizzazione dell'opera e che si basa sulle seguenti ipotesi:

- stato di deformazioni piane (paratia di lunghezza infinita);
- terreno modellato come una serie di molle con legame costitutivo elastico-perfettamente plastico con criterio di rottura Mohr-Coulomb;
- struttura discretizzata in elementi perfettamente elastici;
- ancoraggi modellati per mezzo di molle di opportuna rigidità;
- eventuali sovraccarichi a monte e a valle della paratia trasformati in spinte sul paramento in accordo a quanto previsto dalla teoria di elasticità.

I coefficienti di spinta attiva e passiva,  $k_a$  e  $k_p$  rispettivamente, dipendono dall'angolo di resistenza al taglio, dall'angolo di attrito  $\delta$  fra terreno e struttura nonché dall'inclinazione del terreno a monte  $\beta$ . Il programma impiega le formule di Coulomb per il calcolo del  $k_a$  ed un algoritmo riportato nell'Eurocodice 7 che fornisce valori paragonabili a quelli di Caquot e Kerisel per il calcolo del  $k_p$ .

Nella valutazione dei coefficienti di spinta attiva e passiva, l'angolo d'attrito considerato tra paratia e terreno è assunto pari a  $0.5 \cdot \varphi'$ . Il codice di calcolo *Paratie* fornisce la percentuale di spinta passiva mobilitata al fine di effettuare la verifica geotecnica d'infissione delle paratie.

### 6.2. FASI DI CALCOLO

Le analisi effettuate con il codice *ParatiePlus* sono state condotte in considerazione delle fasi riportate di seguito:

- 0) condizione iniziale geostatica
- 1) realizzazione paratia
- 2) prima fase di scavo
- 3) realizzazione del primo ordine di tiranti
- 4) ripetizione delle fasi 2) e 3) fino all'applicazione dell'ultimo ordine di tiranti
- 5) raggiungimento del fondo scavo
- 6) analisi di stabilità globale

### 6.3. AZIONI E CARICHI AGENTI

#### 6.3.1 CARICHI PERMANENTI

##### Peso proprio

Il peso proprio degli elementi strutturali si ottiene moltiplicando i singoli spessori per i pesi specifici del cemento armato e dell'acciaio, pari rispettivamente a  $25\text{kN/m}^3$  e  $78,5\text{kN/m}^3$ .

##### Spinta del terreno

La spinta del terreno è stata calcolata in condizioni di spinta limite attiva.

PROGETTAZIONE ATI:

### 6.3.2 AZIONE SISMICA

Come accennato in premessa, nonostante la paratia in esame costituisca un'opera provvisoria, la verifica è stata condotta considerando anche l'azione sismica.

In particolare, è stata assunta una vita di riferimento  $V_R = 35$  anni.

I parametri sismici di calcolo sono i seguenti:

Vita utile:  $V_U = 17$  anni  
 Classe d'uso: Classe IV  
 Coefficiente d'uso:  $C_U = 2$   
 Vita di riferimento:  $V_R = V_U \cdot C_U = 35$  anni

$a_g = 0,172$  g accelerazione di riferimento per SLV  
 Cat sottosuolo: E  
 Cat. topografica T2  
 $S_S = 1,54$  coefficiente di sito  
 $S_T = 1,2$  coefficiente topografico  
 $a_{max} = a_g \cdot S_S \cdot S_T = 0,318$  g accelerazione massima di sito allo SLV  
 $\alpha = 1$   
 $\beta = 0,52$   
 **$k_h = 0,165$  g**

### 6.4. ELEMENTI STRUTTURALI

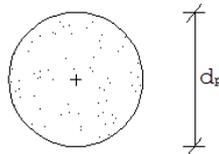
#### 1.1.1 RIGIDEZZA EQUIVALENTE DELLE PARATIE

Nei modelli di calcolo la paratia in pali di calcestruzzo armato è schematizzata mediante elementi *beam* aventi rigidezza equivalente. La rigidezza flessionale ed il modulo resistente caratteristico della palificata prevista dal progetto sono stati valutati riconducendola ad una sezione equivalente rettangolare lunga 1m, in solo calcestruzzo di classe C20/25. Con riferimento alla figura seguente si ha:

$$J_{palo} = \pi \frac{d_p^4}{64} \quad A_{palo} = \pi \frac{d_p^2}{4}$$

dove:

- $J_{palo}$  = momento d'inerzia del palo in calcestruzzo;
- $A_{palo}$  = area del palo in calcestruzzo;
- $d_p$  = diametro esterno del palo.



La rigidezza equivalente è data da:

$$J_{eq} = (E_{palo} \cdot J_{palo}) / E_c \cdot i$$

dove:

PROGETTAZIONE ATI:

- $J_{eq}$  = momento d'inerzia equivalente di calcolo dei pali per unità di lunghezza, riferito al modulo elastico del calcestruzzo;
- $J_{palo}$  = momento d'inerzia del palo in c.a.;
- $E_{palo}$  = modulo elastico del calcestruzzo dei pali;
- $E_c$  = modulo elastico del calcestruzzo di riferimento;
- $i$  = interasse tra i pali.

Nota la  $J_{eq}$  è quindi possibile calcolare lo spessore equivalente della paratia, schematizzata come struttura a sezione rettangolare di larghezza unitaria, secondo la relazione:

$$s = \sqrt[3]{12 \cdot J_{eq}}$$

dove:

- $s$  = spessore equivalente;
- $J_{eq}$  = momento d'inerzia equivalente della paratia per unità di lunghezza, riferito al modulo elastico del calcestruzzo di riferimento ( $E_c$ ).

#### 6.4.1. ANCORAGGI

Nel modello di calcolo gli ancoraggi sono stati schematizzati con elementi *anchors* aventi un'inclinazione  $\alpha$  rispetto all'orizzontale e un valore di rigidezza assiale data dalla seguente relazione:

$$k = EA/L$$

dove:

- $E$ : modulo elastico della barra;
- $A$ : area per unità di larghezza della barra nel tratto deformabile;
- $L$ : lunghezza del tratto deformabile del tirante.

#### 6.5. VERIFICHE

##### 6.5.1. MICROPALI

Le verifiche sono state condotte, sulla base dell'involuppo delle sollecitazioni, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

Le sollecitazioni di output del codice di calcolo per le paratie sono fornite per metro lineare per cui, nelle verifiche tensionali, è necessario moltiplicare tali sollecitazioni per l'interasse dei pali.

Vengono effettuate le seguenti verifiche:

- Verifica a S.L.U. per flessione;
- Verifica a S.L.U. per taglio;

I valori di calcolo delle resistenze dei materiali si ricavano dividendo ciascun valore caratteristico per il fattore di sicurezza parziale  $\gamma_m$  specifico del materiale considerato. Di seguito si riportano i valori delle resistenze di calcolo, ottenute come rapporto tra la resistenza caratteristica ed il coefficiente  $\gamma_m$ :  $f_d = f_k/\gamma_m$ .

Acciaio	$f_{yk}$ [MPa]	$\gamma_m$	$f_{yd}$ [MPa]
S355	355	1.05	338

Si premette che per tutti i tubi commerciali comunemente impiegati per l'armatura dei micropali si può assumere che la sezione sia di classe 1, ovvero che valga:

$$D/t = 50 \times \epsilon$$

dove:

- $\varepsilon = (235 \text{ MPa} / f_{yk})^{1/2}$
- $f_{yk}$  è la tensione caratteristica di snervamento
- $D$  è il diametro del tubolare metallico
- $t$  è lo spessore del tubolare metallico

### 1.1.2 ANCORAGGI

#### Verifica di resistenza

Nel caso di ancoraggi in trefoli il carico assiale agente deve rispettare la condizione seguente

$$R_{td} > \gamma_{Rd} \cdot R_{ak,max}$$

dove:

- $R_{ak,max}$  è il valore massimo del tiro;
- $\gamma_{Rd}$  è il coefficiente di sovreresistenza a sfilamento dell'ancoraggio, nel caso in esame è posto unitario;
- $R_{td}$  è la resistenza di progetto del materiale che costituisce l'armatura dell'ancoraggio, il cui valore è dato dalla seguente espressione:

$$R_{td} = A_t \cdot f_{p(1)k} / \gamma_s$$

dove:

- $f_{p(1)k}$  è la tensione caratteristica all'1% di deformazione totale ed è pari a 1670 MPa;
- $A_t$  è la sezione del tirante;
- $\gamma_s$  è il coefficiente di sicurezza per la resistenza dell'acciaio e pari a 1.15, secondo il paragrafo 4.3.3 delle NTC2018.

#### Verifica allo sfilamento

##### Resistenza adesione malta cementizia-terreno

Per il calcolo della resistenza ultima allo sfilamento si ricorre a quanto indicato da Bustamante e Doix (1985, riportati da Tanzini 2004) sulla base di una serie di prove sperimentali. In questo caso la resistenza ultima calcolata ( $R_{ak}$ ) può essere definita sulla base dei grafici forniti dagli autori in relazione alle caratteristiche geotecniche dei materiali interessati e al tipo di iniezione (semplice o multipla):

$$R_{a,c} = \pi \times D_b \times L_b \times q_a$$

dove:

- $D_b$ : diametro medio del bulbo:  $D_b = \alpha \times D_p$
- $D_p$ : diametro di perforazione,
- $L_b$ : lunghezza del bulbo,
- $\alpha$ : fattore di sbulbamento,
- $q_a$ : aderenza limite bulbo-terreno.

Sulla base di quanto descritto nel paragrafo 6.6.2 del D.M. 2018 (caso b) ed in assenza di prove dirette (caso a) il calcolo del valore di resistenza caratteristica  $R_{ak}$  deriva dalla seguente espressione:

$$R_{ak} = \min[R_{a,c \text{ medio}} / \xi_{a3} ; R_{a,c \text{ min}} / \xi_{a4}]$$

dove  $R_{a,c \text{ medio}}$  e  $R_{a,c \text{ min}}$  sono i valori medio e minimo della resistenza  $R_{a,c}$  ottenuta dal calcolo e  $\xi_a$  fattori di correlazione che dipendono dalla conoscenza del modello geotecnico di riferimento, funzione del numero dei profili di indagine eseguiti (vedi tabella seguente).

Numero di profili d'indagine	1	2	3	4	≥5
$\xi_{a3}$	1.80	1.75	1.70	1.65	1.60
$\xi_{a4}$	1.80	1.70	1.65	1.60	1.55

Per il caso in esame è stato assunto il valore  $\xi_3 = 1,8$ .

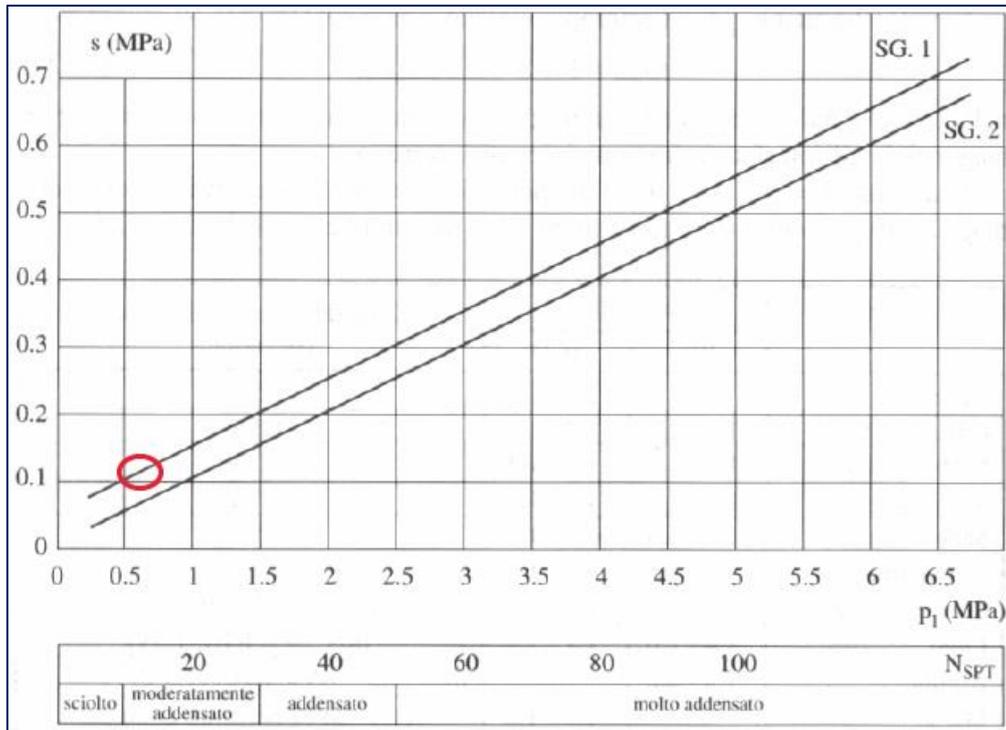
La resistenza di calcolo,  $R_{ad}$  viene definita mediante la relazione:

$$R_{ad} = R_{ak} / \gamma_R$$

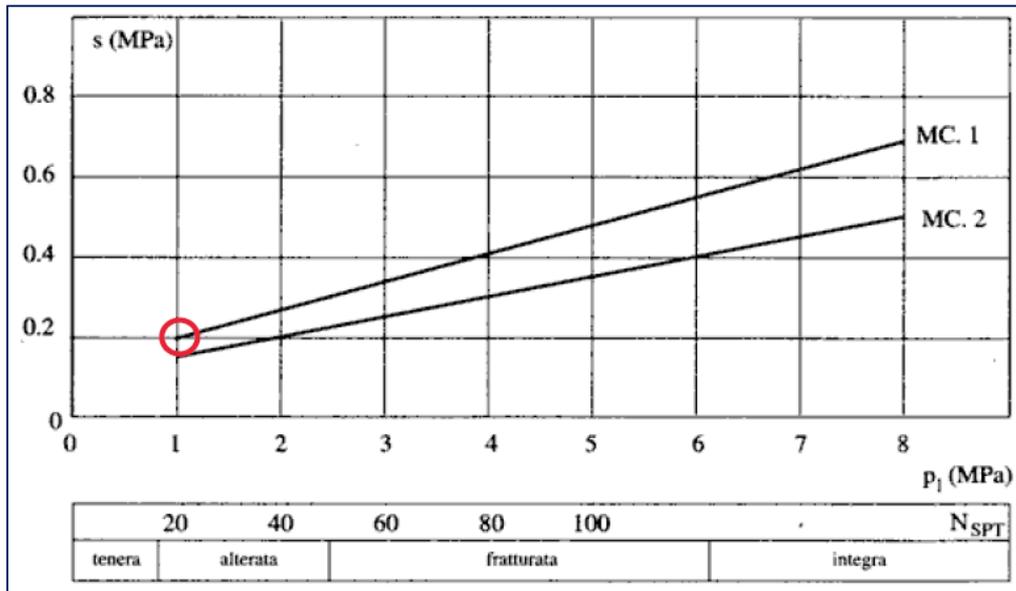
con  $\gamma_R$  definito nella tabella seguente:

Tipologia tirante	Simbolo $\gamma_R$	Coefficiente parziale
temporaneo	$\gamma_{R,t}$	1.1
permanente	$\gamma_{R,p}$	1.2

Il valore di calcolo della tensione di aderenza bulbo-terreno  $q_a$  è stato determinato utilizzando gli abachi di Bustamante e Doix. In particolare, sono stati considerati gli abachi relativi a tiranti realizzati con iniezioni ripetute e selettive (IRS) in terreni incoerenti (strato di ricoprimento UG1) ed in terreni marnosi e calcareo-marnosi (unità UG2).



Calcolo di  $q_a$  per terreni incoerenti (sabbie e ghiaie)



Calcolo di  $q_a$  per gessi, marne, marne calcaree

Nella tabella seguente si riportano i valori di sbulbamento e di tensione di aderenza adottati per le unità geotecniche di interesse per il caso in esame; per il coefficiente di sbulbamento è stato assunto un valore cautelativo rispetto a quelli suggeriti dagli abachi:

Unità geotecnica	$D_p$ [mm]	$\alpha$ [-]	$q_a$ [kPa]
UG2a	180	1.1	200
UG2	180	1.1	200

dove:

- $D_p$  è il diametro di perforazione;
- $\alpha$  è il fattore di sbulbamento;
- $q_a$  è l'aderenza limite bulbo-terreno.

#### Resistenza adesione barra-malta cementizia

La tensione limite di ancoraggio  $R_{ak,c}$  viene valutata con la seguente formula:

$$R_{ak,c} = \pi \times d_{eq} \times f_{bd} \times L_b$$

dove:

- $d_{eq}$ : diametro equivalente tirante
- $L_b$ : lunghezza bulbo
- $f_{bd} = 2,25 \times n \times f_{ctk 0.05} / \gamma_c$

in cui:

- $\gamma_c$ : 1.5
- $n = 1$ , per  $\phi \leq 32$ mm;  $n = (132 - \phi) / 100$ , per  $\phi > 32$  mm
- $f_{ctk 0.05}$ :  $0,7 \times 0,30 \times f_{ck}^{2/3}$  (1.58 MPa per C20/25)

Anche su questo valore si applica il coefficiente  $\gamma_R$  per definire la resistenza di calcolo  $R_{ad,c}$ .

La lunghezza di ancoraggio  $L_a$  è quindi determinata sulla base della verifica più restrittiva tra le due sopra menzionate.

### Lunghezza libera

Per il dimensionamento della lunghezza libera dell'ancoraggio si deve verificare che essa sia tale da garantire che in condizioni statiche e sismiche il tratto attivo di fondazione dell'ancoraggio si trovi al di fuori del cuneo di Spinta Attiva. La lunghezza libera è dunque definita dall'intersezione del tirante con un piano inclinato di  $45^\circ - \phi'/2$  sulla verticale, parallelo al piano passante per il piede della paratia e da esso distante  $0,20 \cdot h$ . Valgono le seguenti espressioni:

$$L_{libera\_statica} = h' + d$$

$$h' = 0,20h / \cos(45^\circ - \alpha - \phi/2)$$

$$d = (h + t - h_i) \sin(45^\circ - \phi/2) / \sin(45^\circ + \alpha + \phi/2)$$

dove:

- $h$  = altezza fuori terra della paratia
- $\alpha$  = inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale
- $t$  = infissione della paratia
- $h_i$  = profondità del tirante

Per effetto del sisma, la potenziale superficie di scorrimento dei cunei di spinta rispetto all'orizzontale si riduce. Detta  $L_s$  la lunghezza libera dell'ancoraggio in condizioni statiche, la corrispondente lunghezza libera in condizioni sismiche  $L_e$  può essere ottenuta mediante la relazione (§ 7.11.6.4 del DM 17.01.18):

$$L_e = L_s (1 + 1,5 a_{max}/g)$$

### 6.5.2. VERIFICA DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE

Il calcolo e le verifiche strutturali relative alla trave di ripartizione vengono presentate considerando ciascun campo di trave compreso fra due tiranti soggetto a un carico  $p$  per unità di lunghezza pari al tiro massimo sui tiranti  $N_{max}$  diviso per il loro interasse  $L$ :

$$p = N_{max} / L.$$

Il valore più gravoso del momento viene valutato con la relazione

$$M_{sd} = p \cdot L^2 / 10 = (N_{max}/L) \cdot L^2 / 10$$

Ad esso viene associato un valore nullo dell'azione assiale nulla.

La massima sollecitazione di taglio risulta, in prossimità degli appoggi, pari al valore di

$$V_{sd} = p \cdot L / 2 = (N_{max}/L) \cdot L / 2.$$

Le verifiche risultano soddisfatte quando per le sezioni maggiormente sollecitate sono soddisfatte le seguenti disuguaglianze:

$$M_{RD} > M_{sd}$$

$$V_{RD} > M_{sd}$$

PROGETTAZIONE ATI:

## 7. PARETE FRONTALE

La parete frontale è costituita da micropali di lunghezza 20m, diametro  $\varnothing 300$  ad interasse 0.50m, armatura in tubolare metallico  $\varnothing 219.1$  spessore 10 mm.

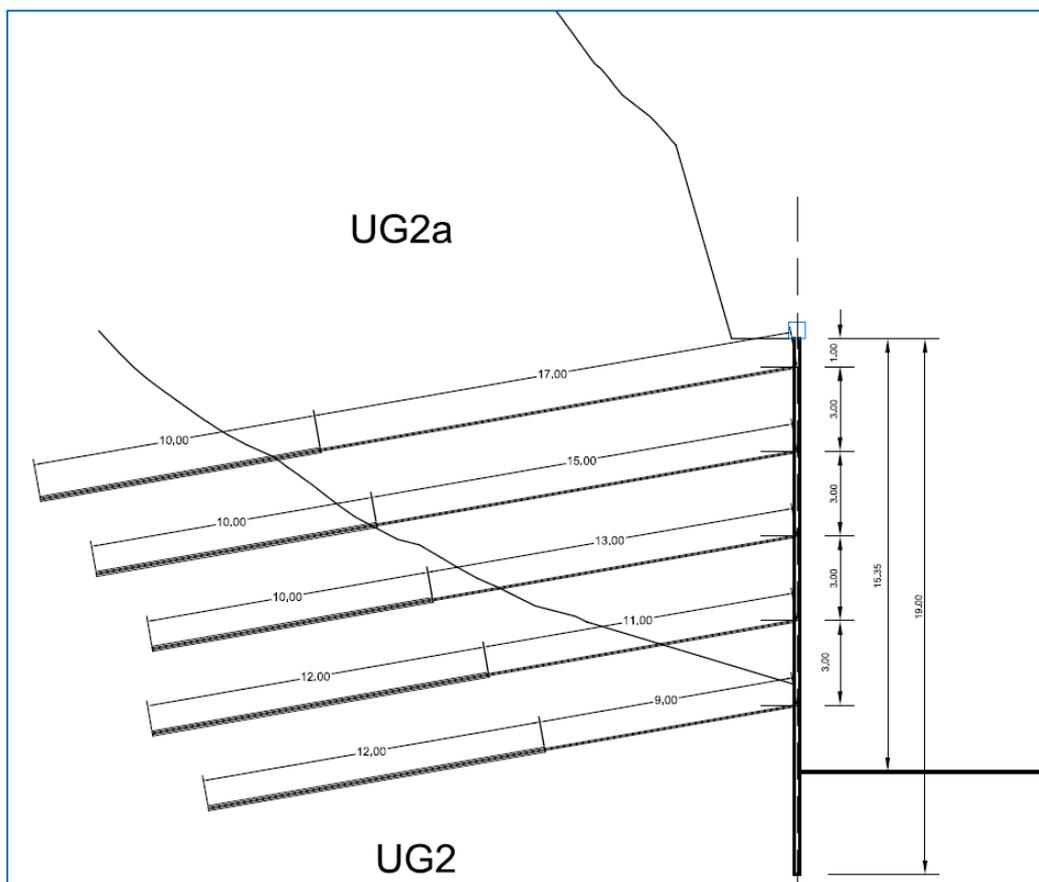
I tiranti, ad interasse di 2,00m, sono inclinati di  $10^\circ$  sull'orizzontale e sono disposti su cinque ordini distanziati di 3,0m. Il diametro di perforazione è  $\Phi 180$ mm, la lunghezza della fondazione 10m per i primi tre ordini e 12m per il quarto e quinto, la lunghezza libera varia da 5 a 14,50m. L'armatura è a quattro trefoli e pretensione a 400 kN.

Le travi di ripartizione sono realizzate con profili gemelli in acciaio 2 x HE 220 B.

Come altezza di scavo, variabile lungo la sviluppata in funzione della morfologia del pendio, è stata considerata quella compresa tra la testa paratia e la quota di intradosso dell'arco rovescio.

Ai fini del calcolo, tale altezza è stata maggiorata di 0,5m; l'incremento applicato è stato assunto pari al maggiore fra il valore di 0,5m ed il 10% della distanza fra il tirante più basso ed il fondo scavo, pari a 0,25m. Lo schema geometrico di calcolo è riportato nella figura seguente.

$H_{scavo} = 15,35$  m      altezza massima di scavo  
 $H = 15,85$  m      altezza di calcolo  
 $L_p = 19$  m      lunghezza pali



Il calcolo della lunghezza libera dei tiranti eseguito con le modalità indicate nel paragrafo precedente è riassunto nella tabella seguente:

PROGETTAZIONE ATI:

	<b>h<sub>i</sub></b> (m)	<b>α</b> (°)	<b>h'</b> (m)	<b>d</b> (m)	<b>L<sub>s</sub></b> (m)	<b>L<sub>e</sub></b> (m)	<b>progetto</b> (m)
tir.1	1	10	3,19	8,21	11,40	16,81	17,00
tir.2	4	10	3,19	6,84	10,03	14,79	15,00
tir.3	7	10	3,19	5,47	8,67	12,77	13,00
tir.4	10	10	3,19	4,10	7,30	10,76	11,00
tir.5	13	10	3,19	2,74	5,93	8,74	9,00

nella quale si è indicato:

- h = altezza fuori terra della paratia
- α = inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale
- t = infissione della paratia
- h<sub>i</sub> = profondità del tirante
- L<sub>s</sub> = h' + d = lunghezza libera in condizioni statiche
- L<sub>e</sub> = lunghezza libera in condizioni sismiche

Nella tabella che segue sono riepilogate le caratteristiche dei tiranti e dei micropali della paratia:

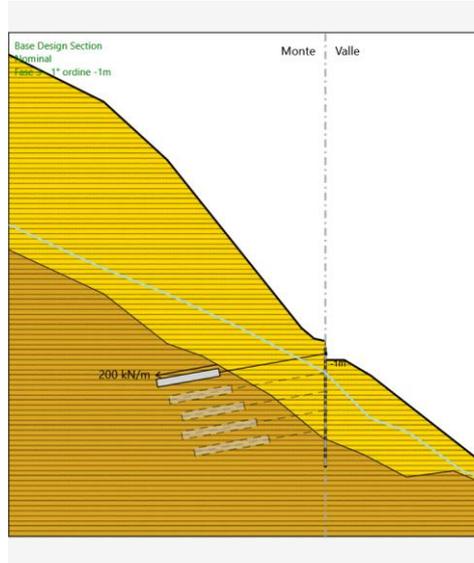
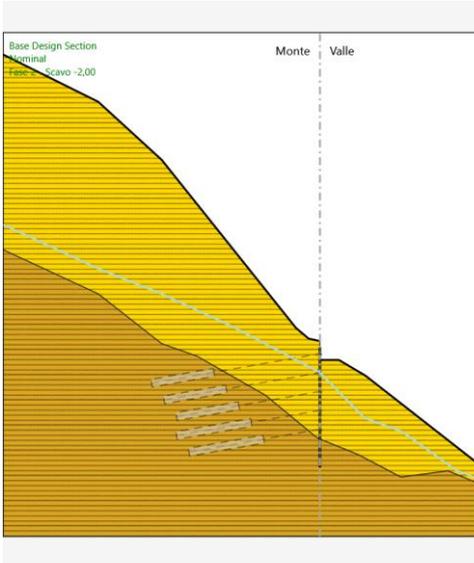
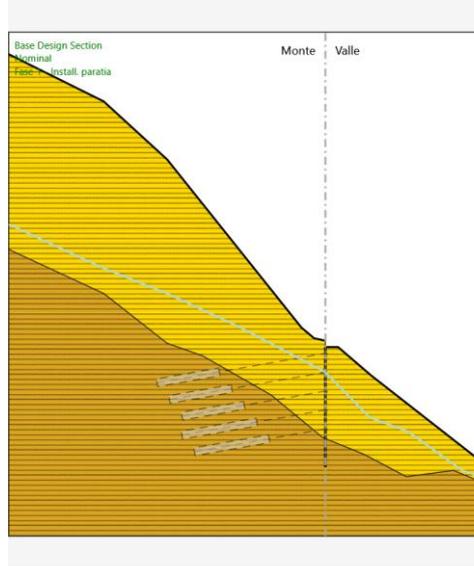
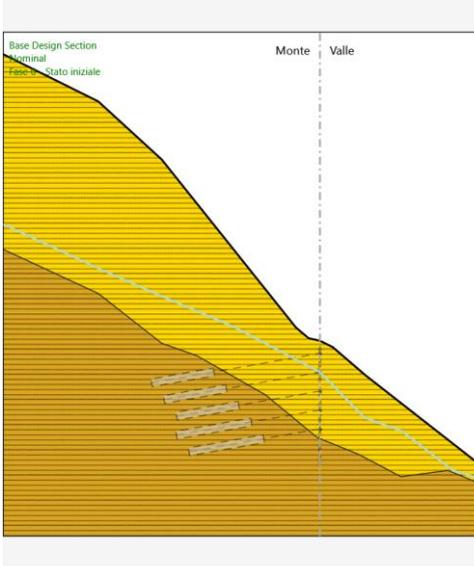
TABELLA TIRANTI								
Ordine	inclinaz (°)	diam perf. (mm)	L <sub>libera</sub> (m)	L <sub>bulbo</sub> (m)	L <sub>tot</sub> (m)	interasse (m)	n. trefoli	Tipo iniziale di pretensionamento (kN)
I	10	180	17	10	27	2	4	400
II	10	180	15	10	25	2	4	400
III	10	180	13	10	23	2	4	400
IV	10	180	11	12	23	2	4	400
V	10	180	9	12	19	2	4	400

MICROPALI Ø300 - interasse 0,5m - armatura Ø219,1/10

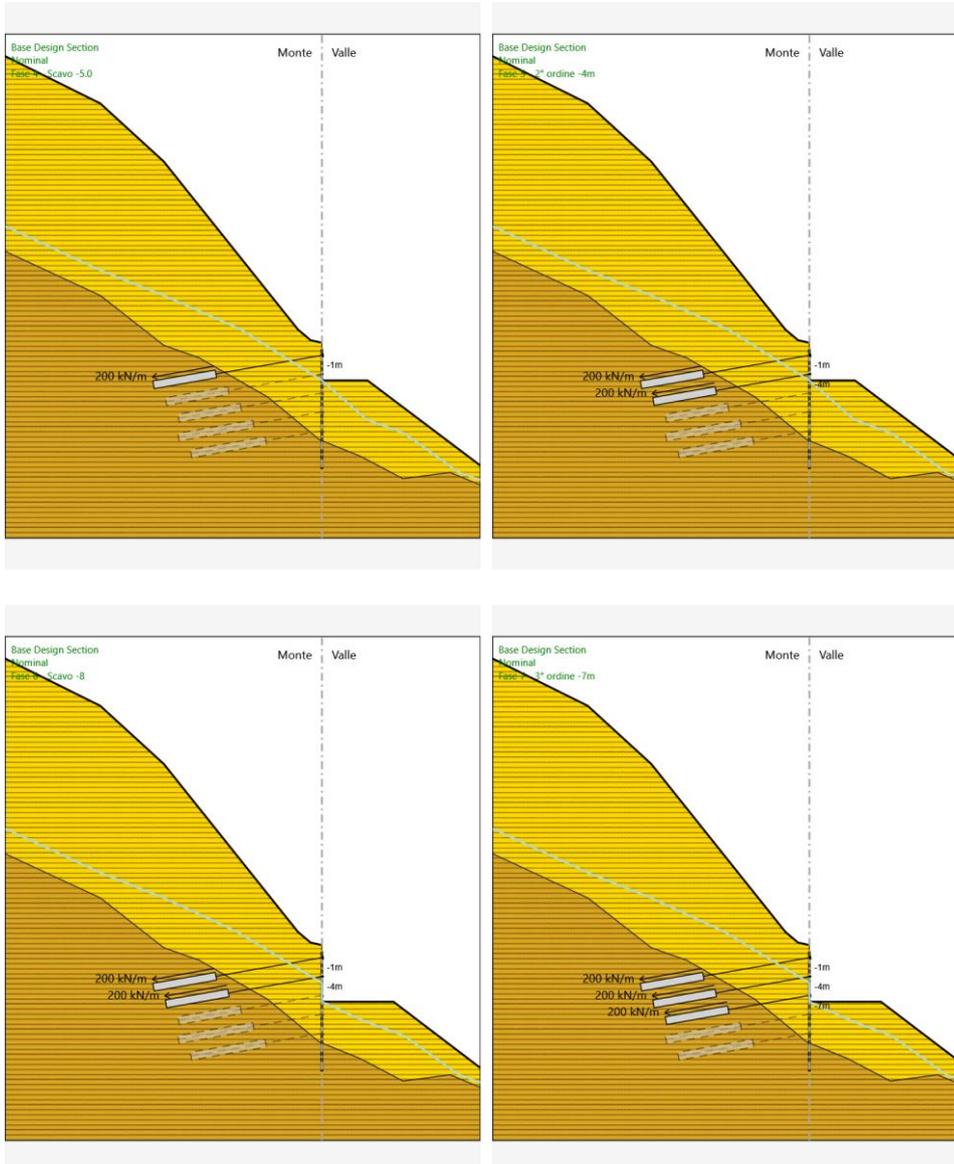
Il calcolo della paratia è stato effettuato considerando la seguente sequenza delle fasi costruttive:

- Fase 0: condizioni litostatiche iniziali
- Fase 1: realizzazione della paratia
- Fase 2: scavo alla -2m
- Fase 3: installazione 1° ordine di tiranti alla -1m
- Fase 4: scavo alla -5m
- Fase 5: installazione 2° ordine di tiranti alla -4m
- Fase 6: scavo alla -8m
- Fase 7: installazione 3° ordine di tiranti alla -7m
- Fase 8: scavo alla -11m
- Fase 9: installazione 4° ordine di tiranti alla -10m
- Fase 10: scavo alla -14m
- Fase 11: installazione 5° ordine di tiranti alla -13m
- Fase 12: scavo alla -15.85m
- Fase 13: applicazione azione sismica

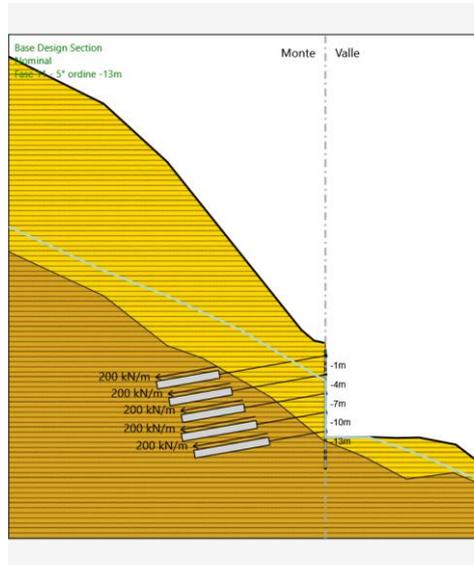
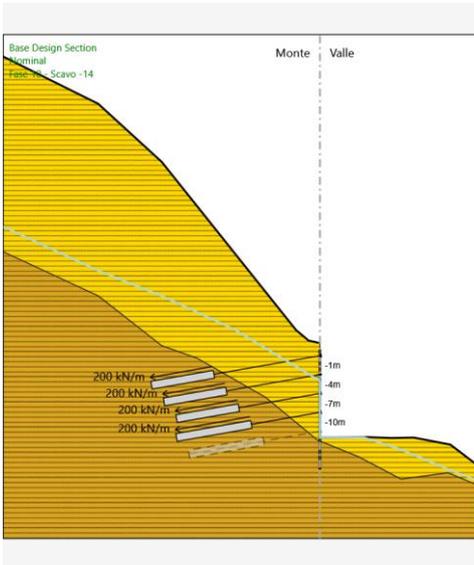
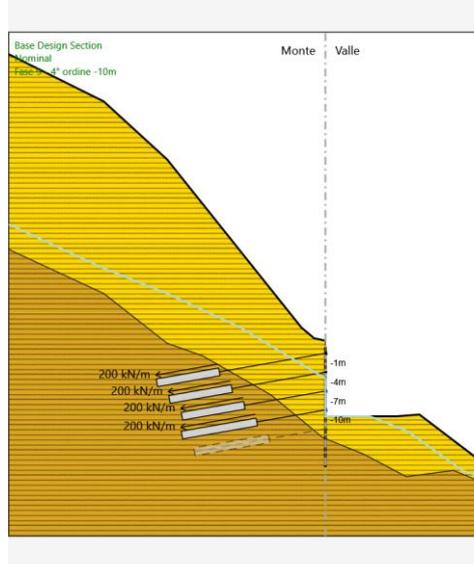
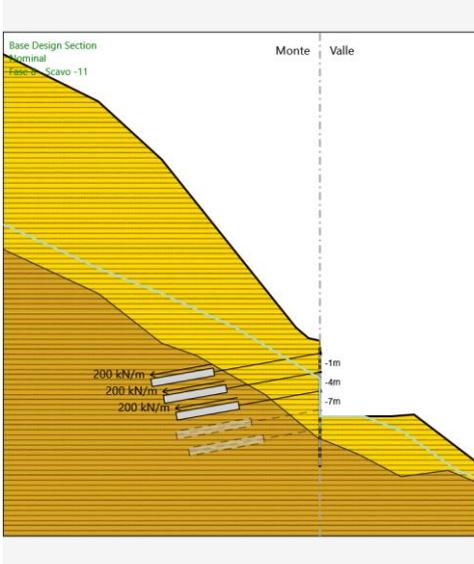
PROGETTAZIONE ATI:



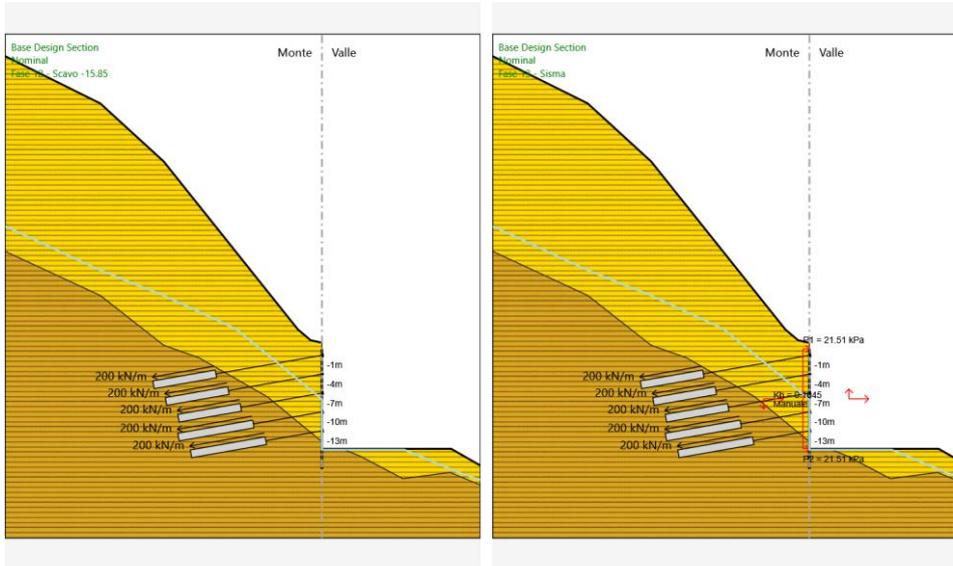
PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

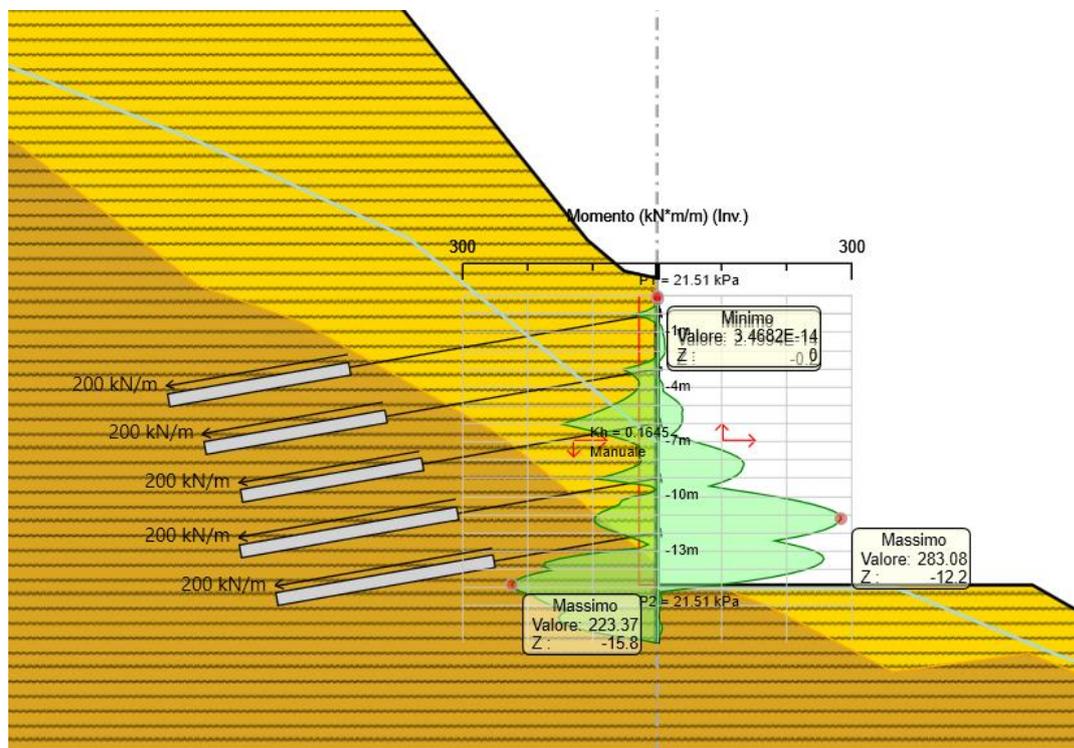


PROGETTAZIONE ATI:

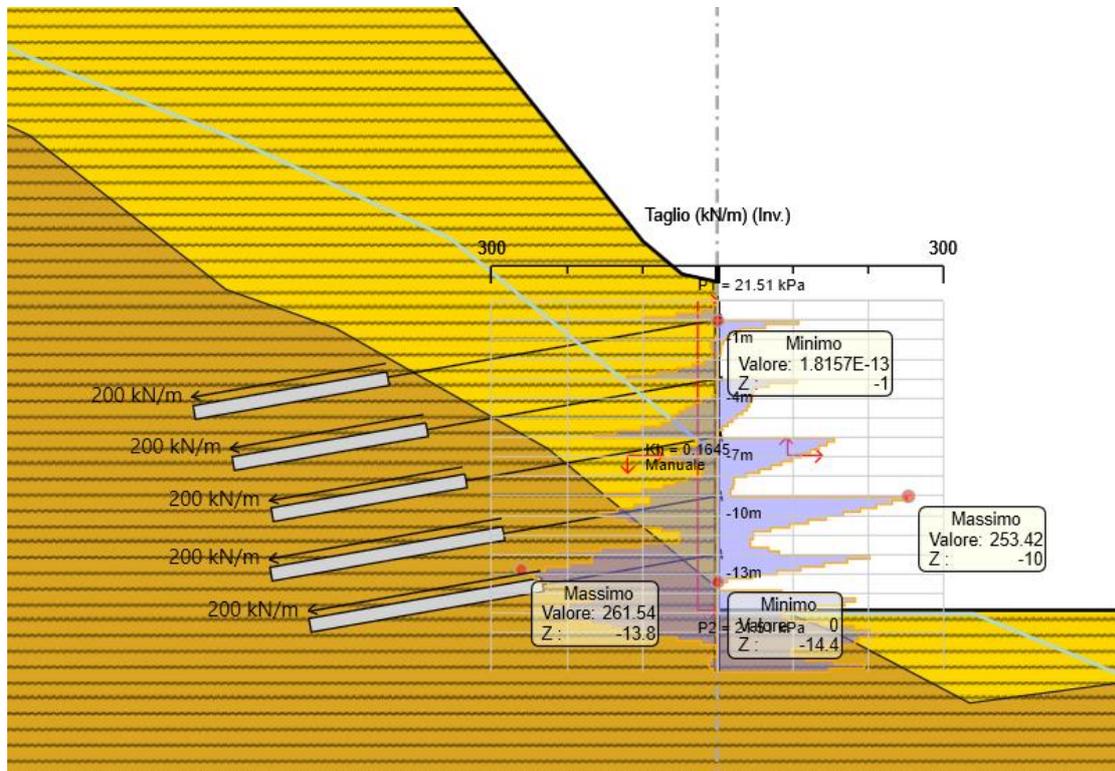


### 7.1. VERIFICHE STRUTTURALI

Nella figura seguente si riportano i diagrammi involuppo delle sollecitazioni di flessione e taglio nei pali e le reazioni nei tiranti per tutte le combinazioni esaminate.



PROGETTAZIONE ATI:



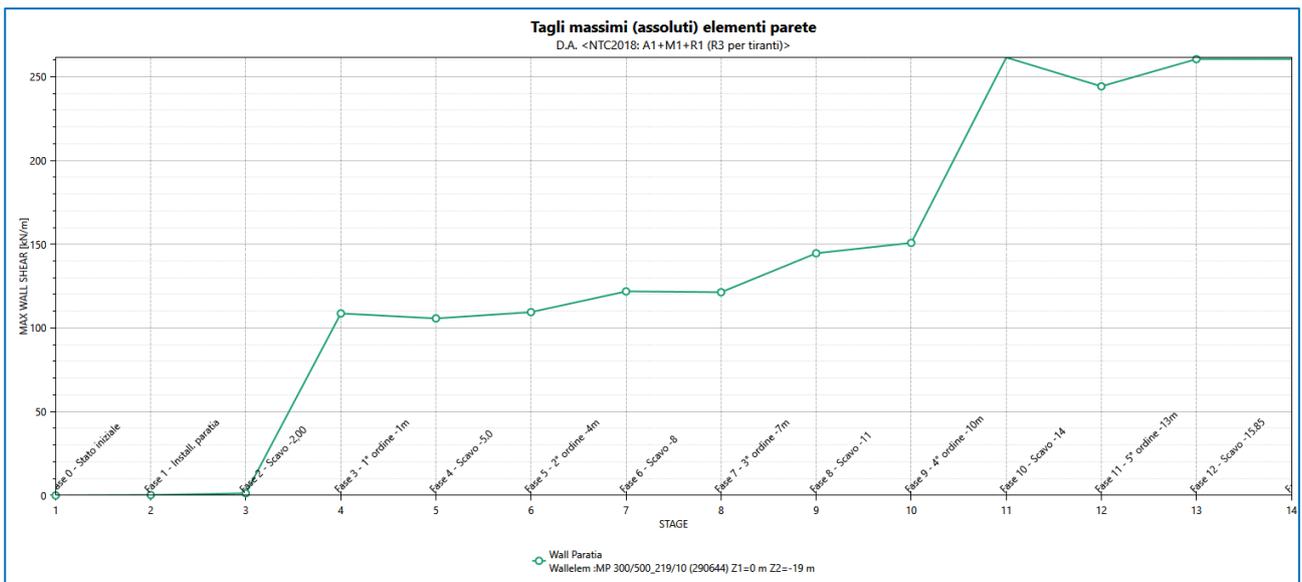
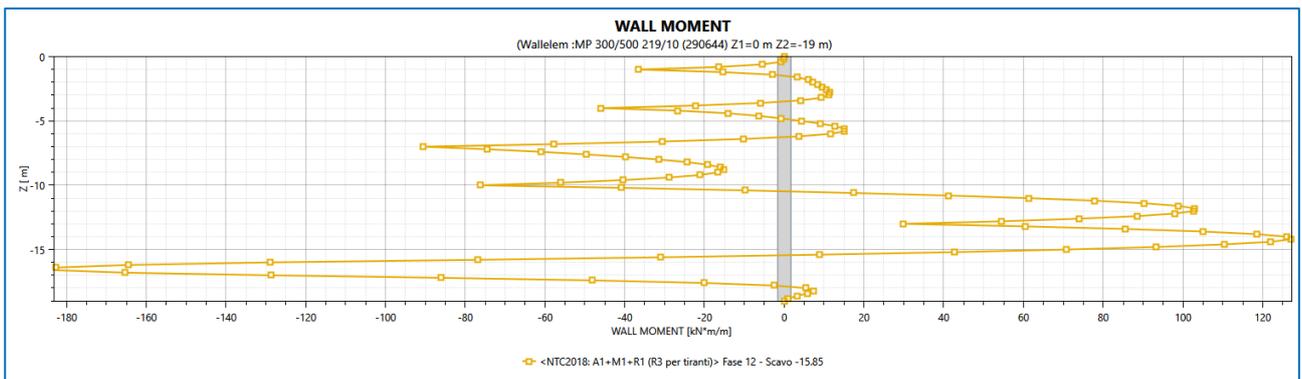
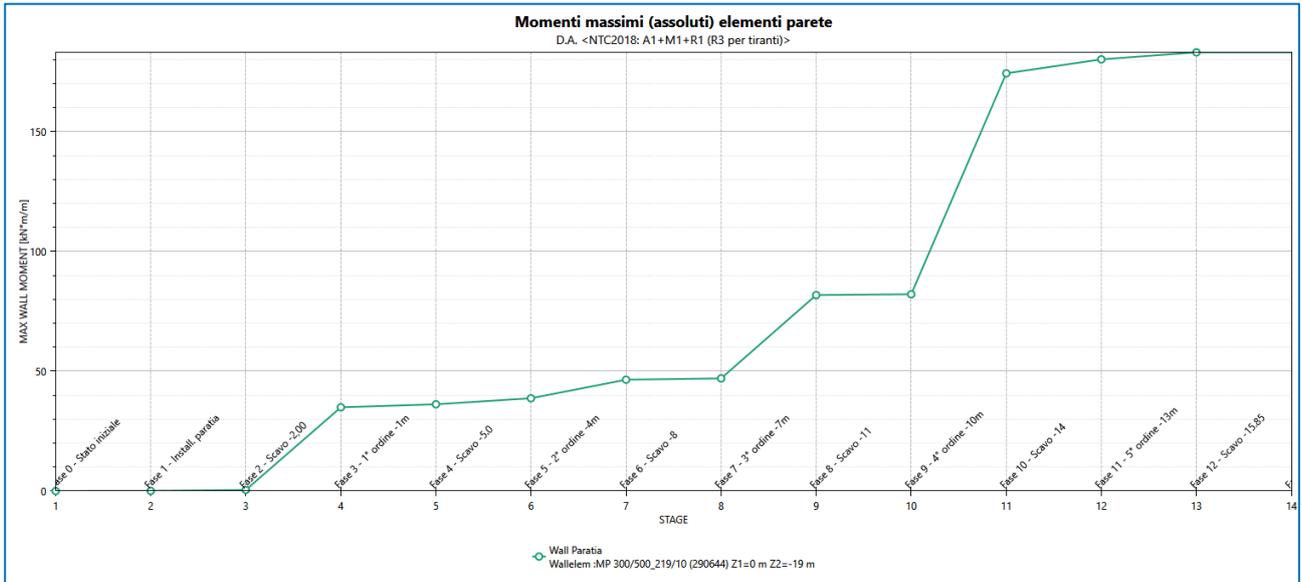
### Micropali paratia

Per la combinazione di verifica strutturale A1+M1+R1 i valori massimi del momento e del taglio nei micropali in ciascuna delle diverse fasi di calcolo e per metro lineare di sviluppo della paratia sono riportati nelle figure che seguono. Il valore maggiore per il momento flettente si raggiunge nella Fase 12 (scavo alla -15,5m) mentre per il taglio si ha nella Fase 10 (scavo alla -14m):

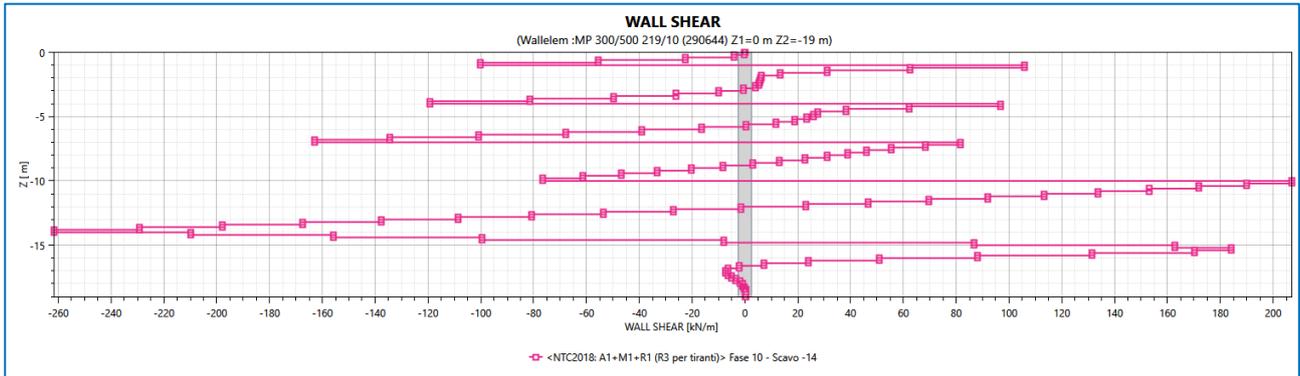
$$M_{\max} = 183 \text{ kN/m}$$

$$V_{\max} = 262 \text{ kN}$$

PROGETTAZIONE ATI:



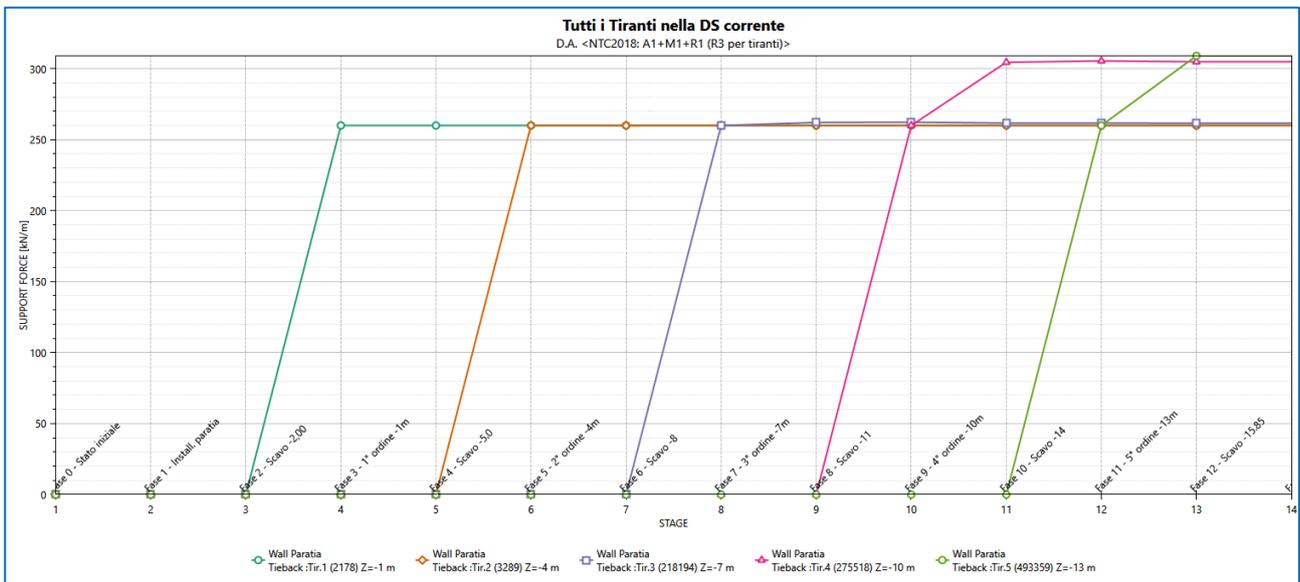
PROGETTAZIONE ATI:



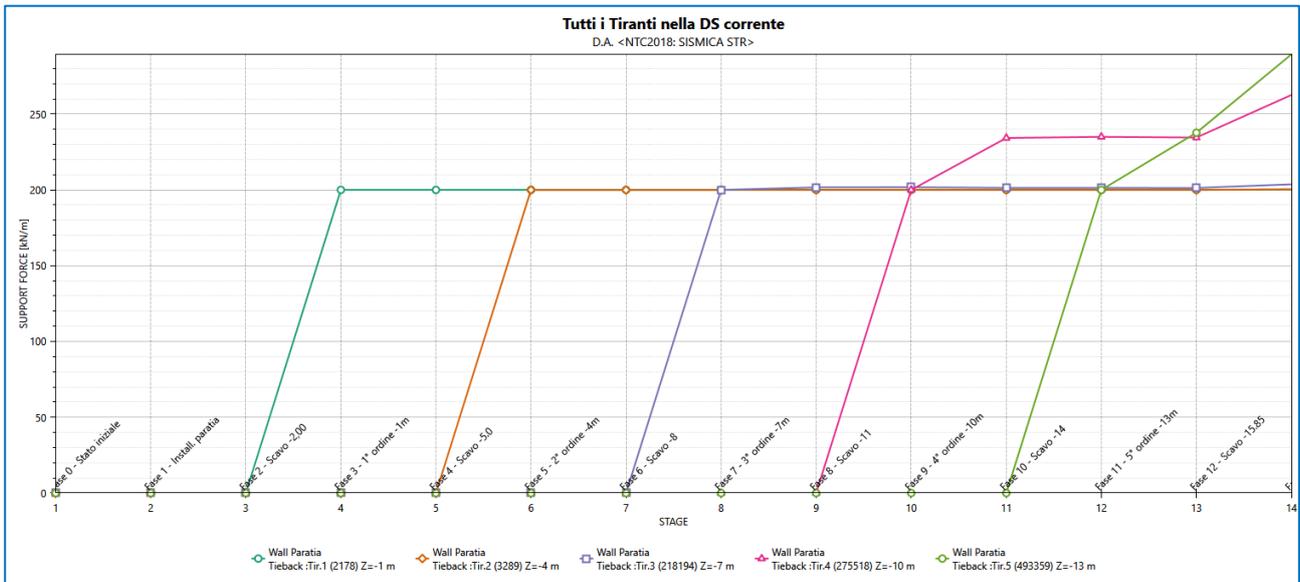
### Tiranti

Per la combinazione di verifica strutturale A1+M1+R3 i valori massimi dello sforzo assiale nei tiranti sono riportati nella tabella e nella figura seguenti:

Tirante	Fase	Sollecitazione	Resistenza GEO	Resistenza STR	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR
		kN	kN	kN		
Tir.1	Fase 3 - 1° ordine -1m	520	628.32	807.41	0.828	0.644
Tir.2	Fase 5 - 2° ordine -4m	520	628.32	807.41	0.828	0.644
Tir.3	Fase 9 - 4° ordine -10m	524.63	628.32	807.41	0.835	0.65
Tir.4	Fase 12 - Scavo -15.85	707.68	753.98	807.41	0.939	0.876
Tir.5	Fase 12 - Scavo -15.85	700.72	753.98	807.41	0.929	0.868



PROGETTAZIONE ATI:



### 7.1.1. MICROPALI

Cautelativamente per le verifiche di resistenza è stato considerato il solo contributo del tubolare in acciaio trascurando quello della malta cementizia. Le caratteristiche geometriche ed inerziali del profilo tubolare sono:

D = 219,1 mm	diametro esterno
s = 10 mm	spessore
A = 65,69 cm <sup>2</sup>	area sezione
J = 3598,44 cm <sup>4</sup>	momento di inerzia
W <sub>e</sub> = 328,47 cm <sup>3</sup>	modulo di resistenza elastico
W <sub>p</sub> = 437,56 cm <sup>3</sup>	modulo di resistenza plastico

La resistenza a flessione e taglio del profilo risulta:

M <sub>Rd</sub> = 148 kN·m	resistenza a flessione (limite plastico)
V <sub>Rd</sub> = 816 kN	resistenza al taglio

Le verifiche sono state condotte, in via cautelativa, considerando per le sollecitazioni di flessione e taglio i rispettivi valori che involuppano quelli scaturiti da tutte le combinazioni (A1+M1+R1 e A2+M2+R1) sia statiche che sismiche, e risultano soddisfatte:

	$ M_{ED} /m$ [kNm/m]	$ M_{ED} $ [kNm]	$ M_{RD} $ [kNm]	Verifica
flessione	283	141	148	✓
	$ V_{ED} /m$ [kNm/m]	$ V_{ED} $ [kNm]	$ V_{RD} $ [kNm]	Verifica
taglio	261	131	816	✓

PROGETTAZIONE ATI:

### 7.1.2. ANCORAGGI

#### Verifica di resistenza

Ordine di tiranti	Inter. [m]	n. tref.	Incl. [°]	Pretiro [kN]	N <sub>ED</sub>   [kN]	N <sub>RD</sub>   [kN]	Verifiche  N <sub>ED</sub>   ≤  N <sub>RD</sub>
1°	2.0	4	10	400	520	807.41	✓
2°	2.0	4	10	400	520	807.41	✓
3°	2.0	4	10	400	524.63	807.41	✓
4°	2.0	4	10	400	707.68	807.41	✓
5°	2.0	4	10	400	700.72	807.41	✓

#### Verifica a sfilamento

Ordine di tiranti	Inter. [m]	n. tref.	Incl. [°]	Pretiro [kN]	N <sub>ED</sub>   [kN]	Lung. Libera L <sub>i</sub> [m]	Lung. bulbo L <sub>b</sub> [m]	R <sub>ad</sub> [kN] (aderenza terreno-bulbo)	R <sub>ad,c</sub> [kN] (aderenza malta-acciaio)	Verifiche  N <sub>ED</sub>   ≤ min [R <sub>ad</sub> , R <sub>ad,c</sub> ]
1°	2.0	4	10	400	520	17,00	10	628.32	>1000	✓
2°	2.0	4	10	400	520	15,00	10	628.32	>1000	✓
3°	2.0	4	10	400	524.63	13,00	10	628.32	>1000	✓
4°	2.0	4	10	400	707.68	11,00	12	755.24	>1000	✓
5°	2.0	4	10	400	700.72	9,00	12	755.24	>1000	✓

### 7.1.3. TRAVI DI RIPARTIZIONE

Con riferimento all'ordine di tiranti maggiormente sollecitato, si ha:

N<sub>max</sub> = 710 kN                      massima sollecitazione assiale tirante  
i = 2,00 m                              interasse tiranti  
p = 355 kN/m                              pressione di contrasto ripartita sulla trave

Le sollecitazioni massime agenti sulla trave di ripartizione realizzata con profili gemelli 2 x HE 220 B valgono:

M<sub>sd</sub> = 142 kN·m                      max. momento  
V<sub>sd</sub> = 355 kN                              max. taglio

Le sollecitazioni agenti sul singolo profilo risultano quindi:

PROGETTAZIONE ATI:

$M_{sd} = 76 \text{ kN}\cdot\text{m}$  max. momento  
 $V_{sd} = 178 \text{ kN}$  max. taglio

Verifica al taglio

**IPE - HE - HL = verifica di resistenza a taglio**  
(Taglio parallelo all'anima)

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad V_{c,Rd} = \frac{A_v (f_{yk} / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

$V_{Ed}$  = azione tagliante di calcolo  
 $V_{c,Rd}$  = resistenza di calcolo  
 $A_v$  = area resistente a taglio  
 $f_{yk}$  = tensione caratteristica a snervamento  
 $\gamma_{M0}$  = coefficiente di sicurezza

INPUT	
Definizione dell'azione sollecitante	V = 178 [kN]
Scelta del profilo	HE 220 B
Classe dell'acciaio	S355JO - S355JR - S355J2
OUTPUT	
(VERIFICA Punto 4.2.4.1.2.4 NTC 2018)	
$V_{Ed} =$	178,00 [kN]
$V_{c,Rd} =$	545,00 [kN]
$V_{Ed} / V_{c,Rd} =$	0,33
<b>Verifica soddisfatta</b>	

Verifica a flessione

Essendo  $V_{sd} < 0,5 V_{Rd}$ , la verifica a flessione non ha tenuto conto della riduzione di resistenza per effetto della presenza del taglio:

**IPE - HE - HL = verifica di resistenza a flessione retta**  
(Flessione nel piano dell'anima)

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

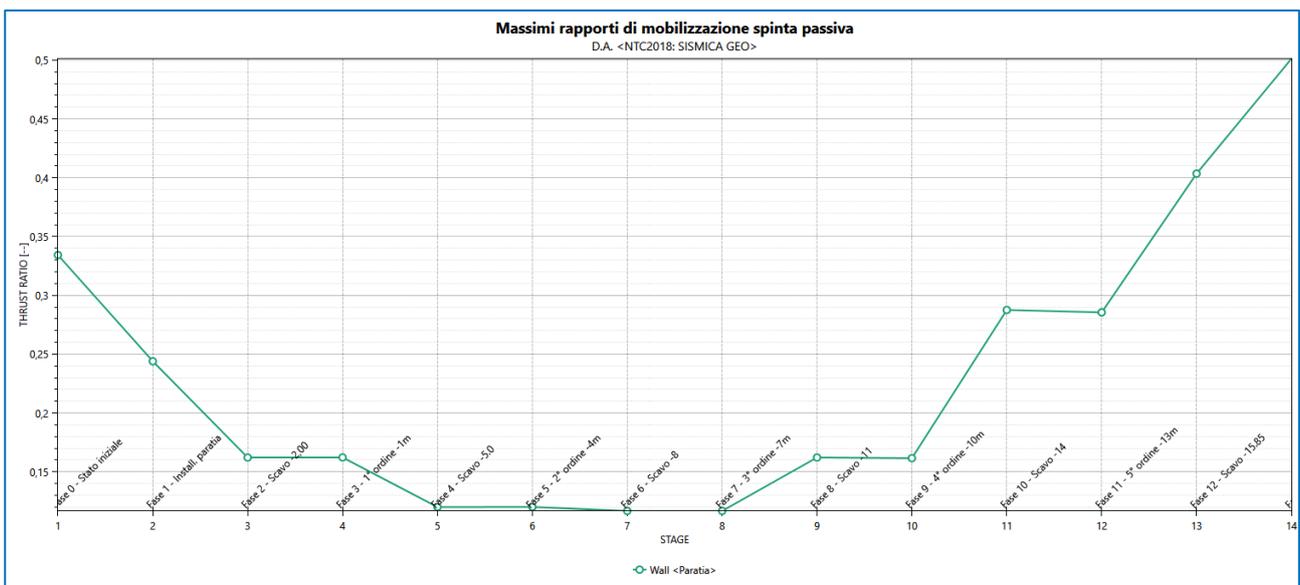
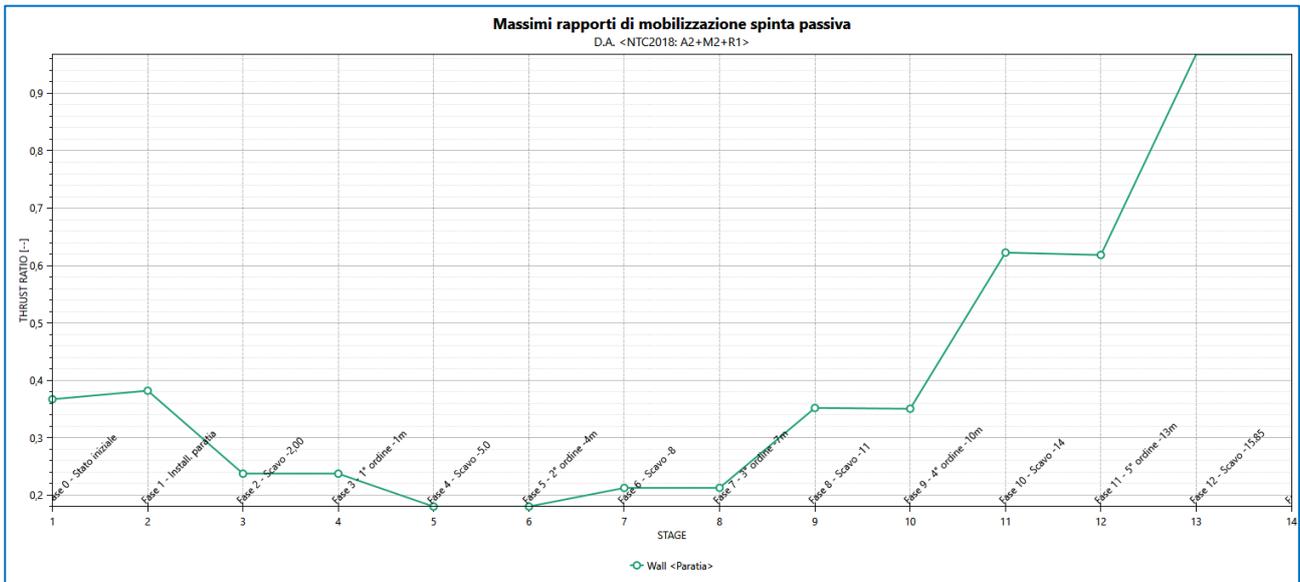
$M_{Ed}$  = momento flettente di calcolo  
 $M_{pl,Rd}$  = momento resistente  
 $W_{pl}$  = modulo resistente plastico  
 $f_{yk}$  = tensione caratteristica a snervamento  
 $\gamma_{M0}$  = coefficiente di sicurezza

INPUT	
Definizione dell'azione sollecitante	M = 76 [kNm]
Scelta del profilo	HE 220 B
Classe dell'acciaio	S355JO - S355JR - S355J2
OUTPUT	
(VERIFICA Punto 4.2.4.1.2.3 NTC 2018)	
$M_{Ed} =$	76,00 [kNm]
$M_{c,Rd} =$	279,60 [kNm]
$M_{Ed} / M_{c,Rd} =$	0,27
<b>Verifica soddisfatta</b>	

**7.2. VERIFICHE GEOTECNICHE**

Nella figura seguente si riporta la massima mobilitazione della resistenza passiva nella combinazione A2+M2+R2 statica e sismica.

PROGETTAZIONE ATI:



### 7.3. STABILITÀ GLOBALE

La verifica di stabilità globale è stata condotta nella combinazione A2+M2+R2 con  $\gamma_{R2} = 1,1$ . E' stato utilizzato il metodo dell'equilibrio e come coefficiente di sicurezza risultante è stato assunto il minore tra quelli che si ottengono applicando i criteri di Bishop, Janbu e Morgenstern.

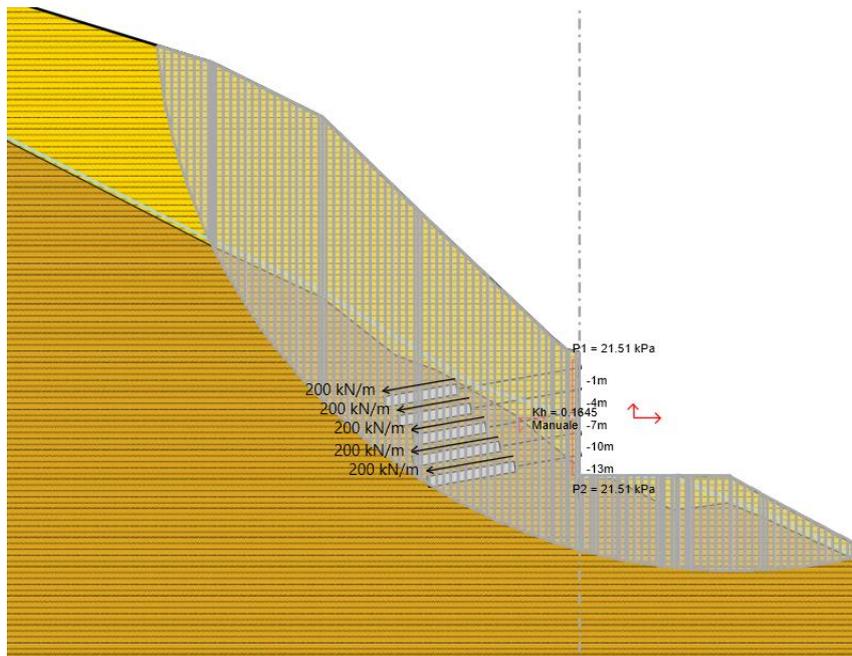
Nella verifica non è stato portato in conto il contributo resistente dei tiranti e della paratia. La paratia è stata considerata solo come vincolo ai fini dell'individuazione delle superfici di scivolamento di calcolo critiche.

Il coefficiente di sicurezza minimo risulta:

**Condizioni statiche:**  $F_s = 1,248 > 1,1$

**Condizioni sismiche:**  $F_s = 1,1$

PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

## 8. ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE DI CALCOLO

Titolo ParatiePlus  
Versione 23.0  
Produttore Harpaceas

ParatiePlus è un codice alle differenze finite 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.

La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura e del tipo a "trave su suolo elastico", in cui le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elasto-plastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie laddove c'è la presenza di terreno.

Per ogni approfondimento circa il software di calcolo, sui relativi algoritmi e sulle ipotesi di comportamento elasto-plastico del terreno si rimanda al manuale tecnico del software.

Le analisi sono state svolte considerando le seguenti ipotesi di tipo "generale":

- Stato piano nelle deformazioni (paratia di lunghezza infinita);
- Terreno modellato come un letto di molle con legame costitutivo elastoplastico incrudente con criterio di rottura di Mohr-Coulomb (terreni granulari in condizioni drenate);
- Struttura discretizzata in elementi perfettamente elastici;
- Tiranti modellati per mezzo di molle di opportuna rigidità;
- Sovraccarichi a monte ed a valle della paratia trasformati in spinte sul paramento in accordo a quanto previsto dalla teoria elastica;
- Mobilitazione della spinta della terra funzione del livello di deformazione partendo da una condizione iniziale di spinta a riposo ( $K_0$ ). I valori massimi e minimi della spinta vengono definiti in funzione dei coefficienti di spinta passiva ( $K_P$ ) e attiva ( $K_A$ ) rispettivamente.

### 8.1. AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego.

La società produttrice ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

### 8.2. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali.

Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni. In base a quanto sopra, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

## 9. ALLEGATO – TABULATI DI CALCOLO

### Riepilogo per la DA <Nominal>

#### Parete <Paratia> \*\*\* Attenzione: gli spostamenti relativi alle DA agli Stati Limite Ultimi non sono considerati

8)	Min. spostamento laterale [mm]	-0.23	Z = -4 m	D.A. Nominal (Fase 6 - Scavo -
	Max. spostamento laterale [mm]	44.3	Z = -12.6 m	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
iniziale)	Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.03		D.A. Nominal (Fase 0 - Stato
	Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.5		D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)

#### Risultati Elementi parete (Beam)

Nominal (Fase 13 - Sisma)	MP 300/500_219/10	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	171.92	Z = -16.6 m	D.A.
(Fase 13 - Sisma)		Max. taglio [kN/m]	234.84	Z = -16 m	D.A. Nominal

#### Risultati tiranti

(Fase 13 - Sisma)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)	Tir.1 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	400.58	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Max. sfruttamento (GEO)	0.32	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Max. sfruttamento (STR)	0.5	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0	STEEL D.A. Nominal
(Fase 13 - Sisma)	(2xHE220B DOUBLE UPN 220 MAT. S355-S355)	Tir.2 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	400.59	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Max. sfruttamento (GEO)	0.32	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Max. sfruttamento (STR)	0.5	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0	STEEL D.A. Nominal
(Fase 13 - Sisma)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)	Tir.3 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	407.31	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Max. sfruttamento (GEO)	0.33	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Max. sfruttamento (STR)	0.5	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0	STEEL D.A. Nominal
(Fase 13 - Sisma)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)	Tir.4 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	525.3	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Max. sfruttamento (GEO)	0.35	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Max. sfruttamento (STR)	0.65	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0	STEEL D.A. Nominal
(Fase 13 - Sisma)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)	Tir.5 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	578.85	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Max. sfruttamento (GEO)	0.39	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Max. sfruttamento (STR)	0.72	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
			Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0	STEEL D.A. Nominal
(Fase 13 - Sisma)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)				

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

#### Parete <Paratia> \*\*\* Attenzione: gli spostamenti relativi alle DA agli Stati Limite Ultimi non sono considerati

(Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 6 - Scavo -8)	Min. spostamento laterale [mm]	-0.23	Z = -4 m	D.A. NTC2018: SLE
(Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)	Max. spostamento laterale [mm]	29.98	Z = -12.6 m	D.A. NTC2018: SLE
(Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 0 - Stato iniziale)	Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.03		D.A. NTC2018: SLE
(Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)	Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.4		D.A. NTC2018: SLE

#### Risultati Elementi parete (Beam)

NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)	MP 300/500_219/10	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	140.86	Z = -16.6 m	D.A.
--	-------------------	---------------------------------	--------	-------------	------

PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE – GALLERIA MERCATELLO 2 – RELAZIONE OPERE PROVVISORIALI IMBOCCO EST**

Max. taglio [kN/m] 201.19 Z = -14 m D.A. NTC2018:  
 SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 10 - Scavo -14)  
 SteelWord: massimo struttamento in flessione 0.476 Z = -16.6 m  
 D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)  
 SteelWord: massimo struttamento a taglio 0.123 Z = -13.8 m D.A.  
 NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 10 - Scavo -14)

**Risultati tiranti**

Tir.1 ( 1 / 2 m) Max. forza (ass.) [kN]400 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 7 - 3° ordine -7m)  
 Max. sfruttamento (GEO) 0.32 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)  
 Max. sfruttamento (STR) 0.5 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)  
 Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt. 0.25 STEEL D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma) (2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)  
 Tir.2 ( 1 / 2 m) Max. forza (ass.) [kN]400.03 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)  
 Max. sfruttamento (GEO) 0.32 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)  
 Max. sfruttamento (STR) 0.5 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)  
 Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt. 0.34 STEEL D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma) (2xHE220B DOUBLE UPN 220 MAT. S355-S355)  
 Tir.3 ( 1 / 2 m) Max. forza (ass.) [kN]403.56 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 9 - 4° ordine -10m)  
 Max. sfruttamento (GEO) 0.32 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)  
 Max. sfruttamento (STR) 0.5 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 9 - 4° ordine -10m)  
 Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt. 0.26 STEEL D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 9 - 4° ordine -10m) (2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)  
 Tir.4 ( 1 / 2 m) Max. forza (ass.) [kN]469.95 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 11 - 5° ordine -13m)  
 Max. sfruttamento (GEO) 0.32 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 11 - 5° ordine -13m)  
 Max. sfruttamento (STR) 0.58 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 11 - 5° ordine -13m)  
 Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt. 0.3 STEEL D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma) (2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)  
 Tir.5 ( 1 / 2 m) Max. forza (ass.) [kN]475.45 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)  
 Max. sfruttamento (GEO) 0.32 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)  
 Max. sfruttamento (STR) 0.59 D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma)  
 Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt. 0.3 STEEL D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Fase 13 - Sisma) (2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)

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

**Parete <Paratia> \*\*\* Attenzione: gli spostamenti relativi alle DA agli Stati Limite Ultimi non sono considerati**

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.03 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 0 - Stato iniziale)  
 Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.4 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)

**Risultati Elementi parete (Beam)**

MP 300/500\_219/10 Max. momento (assoluto) [kNm/m] 183.11 Z = -16.6 m D.A.  
 NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)  
 Max. taglio [kN/m] 261.54 Z = -14 m D.A. NTC2018:  
 A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 10 - Scavo -14)  
 SteelWord: massimo struttamento in flessione 0.619 Z = -16.6 m  
 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)

PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE – GALLERIA MERCATELLO 2 – RELAZIONE OPERE PROVVISORIALI IMBOCCO EST**

SteelWord: massimo struttamento a taglio 0.16 Z = -13.8 m D.A.  
 NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 10 - Scavo -14)

**Risultati tiranti**

Tir.1 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	520.01	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 7 - 3° ordine -7m)
tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.83	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)
tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.64	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)
Al+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.33	STEEL	D.A. NTC2018: (2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)
Tir.2 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	520.03	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)
tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.83	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)
tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.64	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)
Al+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.45	STEEL	D.A. NTC2018: (2xHE220B DOUBLE UPN 220 MAT. S355-S355)
Tir.3 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	524.63	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 9 - 4° ordine -10m)
tiranti) (Fase 9 - 4° ordine -10m)	Max. sfruttamento (GEO)	0.84	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 9 - 4° ordine -10m)
tiranti) (Fase 9 - 4° ordine -10m)	Max. sfruttamento (STR)	0.65	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 9 - 4° ordine -10m)
Al+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 9 - 4° ordine -10m)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.33	STEEL	D.A. NTC2018: (2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)
Tir.4 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	610.94	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 11 - 5° ordine -13m)
tiranti) (Fase 11 - 5° ordine -13m)	Max. sfruttamento (GEO)	0.81	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 11 - 5° ordine -13m)
tiranti) (Fase 11 - 5° ordine -13m)	Max. sfruttamento (STR)	0.76	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 11 - 5° ordine -13m)
Al+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.38	STEEL	D.A. NTC2018: (2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)
Tir.5 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	618.08	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)
tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.82	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)
tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.77	D.A.	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)
Al+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.39	STEEL	D.A. NTC2018: (2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)

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

**Parete <Paratia> \*\*\* Attenzione: gli spostamenti relativi alle DA agli Stati Limite Ultimi non sono considerati**

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.06	D.A.	NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13 - Sisma)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.97	D.A.	NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13 - Sisma)

**Risultati Elementi parete (Beam)**

MP 300/500_219/10	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	283.08	Z = -12.2 m	D.A.
NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 11 - 5° ordine -13m)	Max. taglio [kN/m]	254.1	Z = -14 m	D.A. NTC2018:
A2+M2+R1 (Fase 10 - Scavo -14)	SteelWord: massimo struttamento in flessione	0.957	Z = -12.2 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 11 - 5° ordine -13m)
NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 10 - Scavo -14)	SteelWord: massimo struttamento a taglio	0.156	Z = -13.8 m	D.A.

**Risultati tiranti**

PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE – GALLERIA MERCATELLO 2 – RELAZIONE OPERE PROVVISORIALI IMBOCCO EST**

Tir.1 ( 1 / 2 m) ordine -10m)	Max. forza (ass.) [kN]400.03	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 9 - 4°
- Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.64 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
- Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.5 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
A2+M2+R1 (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.25 STEEL D.A. NTC2018:
Tir.2 ( 1 / 2 m)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)	
ordine -7m)	Max. forza (ass.) [kN]400.64	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 7 - 3°
- 3° ordine -7m)	Max. sfruttamento (GEO)	0.64 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 7
- 3° ordine -7m)	Max. sfruttamento (STR)	0.5 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 7
A2+M2+R1 (Fase 9 - 4° ordine -10m)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.34 STEEL D.A. NTC2018:
Tir.3 ( 1 / 2 m)	(2xHE220B DOUBLE UPN 220 MAT. S355-S355)	
ordine -13m)	Max. forza (ass.) [kN]464.22	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 11 - 5°
- Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.74 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
- Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.57 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
A2+M2+R1 (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.29 STEEL D.A. NTC2018:
Tir.4 ( 1 / 2 m)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)	
Sisma)	Max. forza (ass.) [kN]707.68	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13 -
- Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.94 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
- Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.88 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
A2+M2+R1 (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.45 STEEL D.A. NTC2018:
Tir.5 ( 1 / 2 m)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)	
Sisma)	Max. forza (ass.) [kN]700.72	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13 -
- Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.93 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
- Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.87 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
A2+M2+R1 (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.44 STEEL D.A. NTC2018:
	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)	

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

**Parete <Paratia> \*\*\* Attenzione: gli spostamenti relativi alle DA agli Stati Limite Ultimi non sono considerati**

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.03	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
0 - Stato iniziale)		
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.5	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
13 - Sisma)		

**Risultati Elementi parete (Beam)**

MP 300/500_219/10	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	171.92	Z = -16.6 m	D.A.
NTC2018: SISMICA STR (Fase 13 - Sisma)				
SISMICA STR (Fase 13 - Sisma)	Max. taglio [kN/m]	234.84	Z = -16 m	D.A. NTC2018:
	SteelWord: massimo struttamento in flessione	0.581	Z = -16.6 m	
D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase 13 - Sisma)				
NTC2018: SISMICA STR (Fase 13 - Sisma)	SteelWord: massimo struttamento a taglio	0.144	Z = -15.8 m	D.A.

**Risultati tiranti**

Tir.1 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]400.58	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase 13 -
Sisma)		
13 - Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.64 D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase

PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE – GALLERIA MERCATELLO 2 – RELAZIONE OPERE PROVVISORIALI IMBOCCO EST**

13 - Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.5	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
SISMICA STR (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.25	STEEL D.A. NTC2018:
Tir.2 ( 1 / 2 m)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		
Sisma)	Max. forza (ass.) [kN]	400.59	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase 13 -
13 - Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.64	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
13 - Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.5	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
SISMICA STR (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.34	STEEL D.A. NTC2018:
Tir.3 ( 1 / 2 m)	(2xHE220B DOUBLE UPN 220 MAT. S355-S355)		
Sisma)	Max. forza (ass.) [kN]	407.31	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase 13 -
13 - Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.65	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
13 - Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.5	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
SISMICA STR (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.26	STEEL D.A. NTC2018:
Tir.4 ( 1 / 2 m)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		
Sisma)	Max. forza (ass.) [kN]	525.3	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase 13 -
13 - Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.7	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
13 - Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.65	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
SISMICA STR (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.33	STEEL D.A. NTC2018:
Tir.5 ( 1 / 2 m)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		
Sisma)	Max. forza (ass.) [kN]	578.85	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase 13 -
13 - Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.77	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
13 - Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.72	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Fase
SISMICA STR (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.36	STEEL D.A. NTC2018:
	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		

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

**Parete <Paratia> \*\*\* Attenzione: gli spostamenti relativi alle DA agli Stati Limite Ultimi non sono considerati**

0 - Stato iniziale)	Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.03	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
13 - Sisma)	Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.5	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase

**Risultati Elementi parete (Beam)**

NTC2018: SISMICA GEO (Fase 13 - Sisma)	MP 300/500_219/10	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	171.92	Z = -16.6 m	D.A.
SISMICA GEO (Fase 13 - Sisma)		Max. taglio [kN/m]	234.84	Z = -16 m	D.A. NTC2018:
		SteelWord: massimo struttamento in flessione	0.581	Z = -16.6 m	
NTC2018: SISMICA GEO (Fase 13 - Sisma)		SteelWord: massimo struttamento a taglio	0.144	Z = -15.8 m	D.A.

**Risultati tiranti**

Sisma)	Tir.1 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	400.58	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase 13 -
13 - Sisma)		Max. sfruttamento (GEO)	0.64	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
13 - Sisma)		Max. sfruttamento (STR)	0.5	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
SISMICA GEO (Fase 13 - Sisma)		Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.25	STEEL D.A. NTC2018:
		(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		

PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE – GALLERIA MERCATELLO 2 – RELAZIONE OPERE PROVVISORIALI IMBOCCO EST**

Sisma)	Tir.2 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	400.59	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase 13 -
13 - Sisma)		Max. sfruttamento (GEO)	0.64	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
13 - Sisma)		Max. sfruttamento (STR)	0.5	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
SISMICA GEO (Fase 13 - Sisma)		Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.34	STEEL D.A. NTC2018:
Sisma)	Tir.3 ( 1 / 2 m)	(2xHE220B DOUBLE UPN 220 MAT. S355-S355)		
13 - Sisma)		Max. forza (ass.) [kN]	407.31	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase 13 -
13 - Sisma)		Max. sfruttamento (GEO)	0.65	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
SISMICA GEO (Fase 13 - Sisma)		Max. sfruttamento (STR)	0.5	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
Sisma)		Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.26	STEEL D.A. NTC2018:
13 - Sisma)	Tir.4 ( 1 / 2 m)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		
13 - Sisma)		Max. forza (ass.) [kN]	525.3	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase 13 -
SISMICA GEO (Fase 13 - Sisma)		Max. sfruttamento (GEO)	0.7	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
Sisma)		Max. sfruttamento (STR)	0.65	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
13 - Sisma)		Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.33	STEEL D.A. NTC2018:
13 - Sisma)		(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		
SISMICA GEO (Fase 13 - Sisma)	Tir.5 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	578.85	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase 13 -
Sisma)		Max. sfruttamento (GEO)	0.77	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
13 - Sisma)		Max. sfruttamento (STR)	0.72	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Fase
13 - Sisma)		Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.36	STEEL D.A. NTC2018:
SISMICA GEO (Fase 13 - Sisma)		(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		

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

**Parete <Paratia> \*\*\* Attenzione: gli spostamenti relativi alle DA agli Stati Limite Ultimi non sono considerati**

(Rara/Frequente/Quasi Permanente)	Min. spostamento laterale [mm]	-0.23	Z = -4 m	D.A. NTC2018: SLE
- Sisma)	Max. spostamento laterale [mm]	44.3	Z = -12.6 m	D.A. Nominal (Fase 13 - Sisma)
- Sisma)	Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.06		D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
- Sisma)	Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.97		D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13

**Risultati Elementi parete (Beam)**

NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 11 - 5° ordine -13m)	MP 300/500_219/10	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	283.08	Z = -12.2 m	D.A.
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 10 - Scavo -14)		Max. taglio [kN/m]	261.54	Z = -14 m	D.A. NTC2018:
		SteelWord: massimo struttamento in flessione	0.957	Z = -12.2 m	
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 10 - Scavo -14)	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 11 - 5° ordine -13m)	SteelWord: massimo struttamento a taglio	0.16	Z = -13.8 m	D.A.

**Risultati tiranti**

tiranti) (Fase 7 - 3° ordine -7m)	Tir.1 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	520.01	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per
tiranti) (Fase 13 - Sisma)		Max. sfruttamento (GEO)	0.83	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per
tiranti) (Fase 13 - Sisma)		Max. sfruttamento (STR)	0.64	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)		Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.33	STEEL D.A. NTC2018:
		(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		
tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Tir.2 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	520.03	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per

PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE – GALLERIA MERCATELLO 2 – RELAZIONE OPERE PROVVISORIALI IMBOCCO EST**

tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.83	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per
tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.64	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 13 - Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.45	STEEL D.A. NTC2018:
Tir.3 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	524.63	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per
tiranti) (Fase 9 - 4° ordine -10m)	Max. sfruttamento (GEO)	0.84	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per
tiranti) (Fase 9 - 4° ordine -10m)	Max. sfruttamento (STR)	0.65	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Fase 9 - 4° ordine -10m)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.33	STEEL D.A. NTC2018:
Tir.4 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	707.68	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13 -
Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.94	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
- Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.88	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
- Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.45	STEEL D.A. NTC2018:
A2+M2+R1 (Fase 13 - Sisma)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		
Tir.5 ( 1 / 2 m)	Max. forza (ass.) [kN]	700.72	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13 -
Sisma)	Max. sfruttamento (GEO)	0.93	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
- Sisma)	Max. sfruttamento (STR)	0.87	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Fase 13
- Sisma)	Trave di rip.:Max. coeff. sfrutt.	0.44	STEEL D.A. NTC2018:
A2+M2+R1 (Fase 13 - Sisma)	(2xHE220B DOUBLE HE 220B MAT. S355-S355)		

PROGETTAZIONE ATI: