

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA NUOVA ENNA – DITTAINO (LOTTO 4b)**

**OPERE CIVILI**

Opere di sostegno e di imbocco

Paratia di pali in sx da pk 0+890 a pk 0+978  
Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3V 40 D 29 CL TR0105 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	E. Abbasciano	Gennaio 2020	M. Arcangeli	Gennaio 2020	F. Sparacino	Gennaio 2020	F. Arduini Gennaio 2020

ITALFERR S.p.A.  
Direzione Tecnica  
Infrastrutture Centro  
Fabrizio Arduini  
Provincia di Enna - Regione Siciliana  
11010 - Enna (EN) - Italia



## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
3	MATERIALI.....	7
3.1	CALCESTRUZZO PALI.....	7
3.1	CALCESTRUZZO SOLETTE E CORDOLO .....	8
3.2	ACCIAIO B450C .....	9
3.3	VERIFICA S.L.E.....	9
3.3.1	<i>Stato limite di limitazione delle tensioni .....</i>	<i>9</i>
3.3.2	<i>Stato limite di fessurazione.....</i>	<i>10</i>
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	11
4.1	TERRENO DI RICOPRIMENTO/RINTERRO .....	11
4.1	TERRENO DI FONDAZIONE .....	11
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	13
5.1	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO .....	13
5.2	PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA .....	13
6	CRITERI DI PROGETTO .....	16
6.1	PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA .....	16
6.2	MODELLI DI CALCOLO .....	16
6.1	GALLERIA.....	16
7	ANALISI DEI CARICHI.....	19

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>RS3V</b>	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	4 di 30

7.1	PESO PROPRIO .....	19
7.2	SPINTA STATICA DELLE TERRE.....	19
7.3	SPINTA STATICA DELL'ACQUA.....	21
7.4	SPINTA DA SOVRACCARICO ACCIDENTALE .....	21
7.5	SOVRASPINTA SISMICA DEL TERRENO.....	21
7.6	FORZE D'INERZIA PER SISMA ORIZZONTALE .....	22
7.7	SOVRASPINTA DELL'ACQUA .....	22
7.8	COMBINAZIONI DI CARICO.....	22
8	RISULTATI.....	25
8.1	PARETI .....	25

## 1 PREMESSA

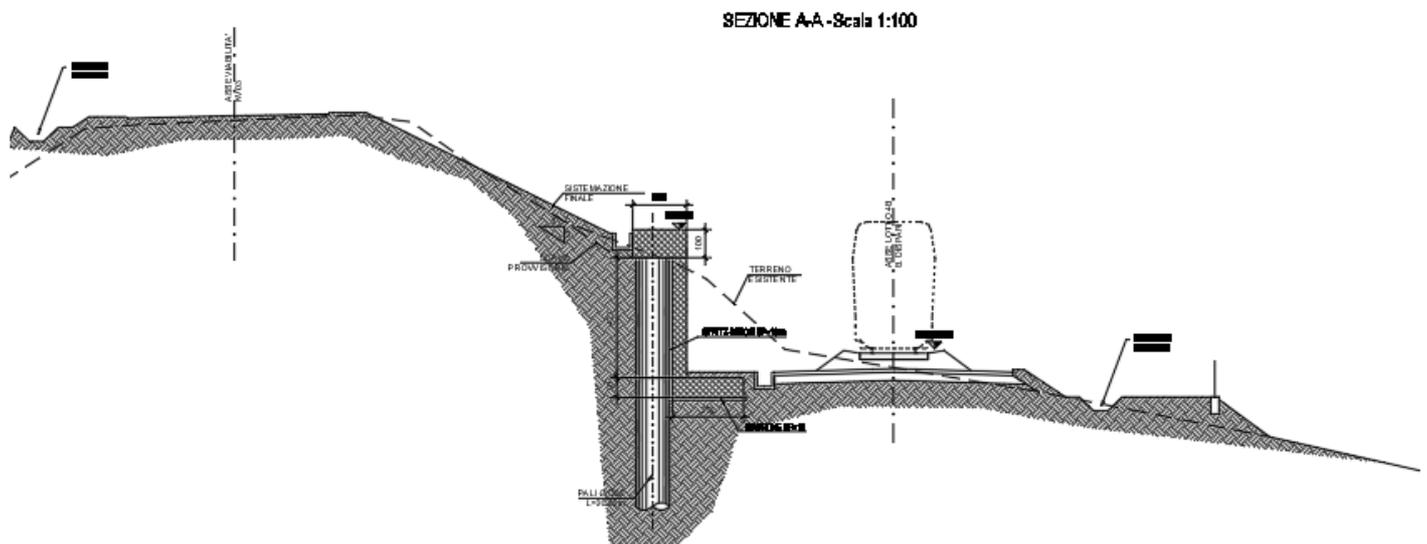
Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo lungo la direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo del nuovo collegamento Palermo-Catania.

Le Analisi e Verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento alla sezione tipologica della trincea, tra le pk 0+900 e 0+970.

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 17 gennaio 2018.

Nella presente relazione si effettueranno le verifiche relative alla sezione di trincea, realizzate con pali  $\Phi$  1200.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento della struttura è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all'opera.



**Fig. 1** – Sezione trasversale dell'opera TR01

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	6 di 30

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

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

- Norme Tecniche per le Costruzioni, DM del 17/01/2018;
- Legge 05/01/1971 n°1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;
- Legge 02/02/1974 n°64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- C.M. 21/01/2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 A del 30/12/2016: Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture;
- RFI DTC SI PS SP IFS 001 A del 30/12/2016: Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;
- UNI EN 1991-1-4:2005: Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;
- UNI EN 1992-1-1:2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1992-2:2006: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1993-1-1:2005: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1993-2:2007: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1998-1:2005: Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- UNI EN 1998-2:2006: Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;
- STI 2014 –Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	7 di 30

### 3 MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo pali

Valore caratteristico della resistenza a compressione cubica a 28 gg:

$$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

Valore caratteristico della resistenza a compressione cilindrica a 28 gg:

$$f_{ck} = 24.9 \text{ MPa} \quad (0,83 \cdot R_{ck})$$

Resistenza a compressione cilindrica media:

$$f_{cm} = 32.9 \text{ MPa} \quad (f_{ck} + 8)$$

Resistenza a trazione assiale:

$$f_{ctm} = 2.56 \text{ MPa} \quad \text{Valore medio}$$

$$f_{ctk,0.05} = 1.79 \text{ MPa} \quad \text{Valore caratteristico frattile 5\%}$$

Resistenza a trazione per flessione:

$$f_{ctm} = 3.1 \text{ MPa} \quad \text{Valore medio}$$

$$f_{ctk,0.05} = 2.1 \text{ MPa} \quad \text{Valore caratteristico frattile 5\%}$$

Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:

$$\gamma_c = 1.5$$

Per situazioni di carico eccezionali, tale valore va considerato pari ad 1.0

Resistenza di calcolo a compressione allo SLU:

$$f_{cd} = 14.1 \text{ MPa} \quad (0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_s)$$

Resistenza di calcolo a trazione diretta allo SLU:

$$f_{ctd} = 1.19 \text{ MPa} \quad (f_{ctk,0.05} / \gamma_s)$$

Resistenza di calcolo a trazione per flessione SLU:

$$f_{ctd} = 1.43 \text{ MPa} \quad 1,2 \cdot f_{ctd}$$

Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valore va ridotto del 20%

Modulo di elasticità normale:

$$E_{cm} = 31447 \text{ MPa}$$

Modulo di elasticità tangenziale:

$$G_{cm} = 13103 \text{ MPa}$$

Modulo di Poisson:

$$\nu = 0.2$$

Coefficiente di dilatazione lineare

$$\alpha = 0.00001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Tensione di aderenza di calcolo acciaio-calcestruzzo

$$\eta = 1.00$$

$$f_{bd} = 2.69 \text{ MPa} \quad (2,25 \cdot f_{ctk} \cdot \eta / \gamma_s)$$

Nel caso di armature molto addensate, o ancoraggi in zona tesa tale valore va diviso per 1,5

Tensioni massime per la verifica agli SLE (Prescrizioni Manuale RFI Parte 2-Sezione 2)

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	8 di 30

$$\sigma_{\max QP} = (0,40 f_{ck}) = \boxed{9.96} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{\max R} = (0,55 f_{ck}) = \boxed{13.70} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

*Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valori vanno ridotti del 20%*

Copriferro 60mm

### 3.1 Calcestruzzo solette e cordolo

#### Classe di resistenza: Elevazione

**C30/37**

Resistenza a compressione cubica caratteristica	$R_{ck} =$	37	$N/mm^2$
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	30.71	$N/mm^2$
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} =$	38.71	$N/mm^2$
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} =$	2.94	$N/mm^2$
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} =$	3.53	$N/mm^2$
Modulo elastico secante medio	$E_{cm} =$	33019	$N/mm^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} =$	2.06	$N/mm^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} =$	3.82	$N/mm^2$
<i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i>	$\gamma_c =$	1.5	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU:	$f_{cd} =$	17.4	$N/mm^2$
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU:	$f_{ctd} =$	1.37	$N/mm^2$
<i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i>	$\gamma_c =$	1.0	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE:	$f_{cd} =$	30.7	$N/mm^2$
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE:	$f_{ctd} =$	2.06	$N/mm^2$
Massime tensioni di compressione in esercizio:			
Combinazione rara	$\sigma_{c,ad} =$	18.43	$N/mm^2$
Combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,ad} =$	13.82	$N/mm^2$

Classe di esposizione: XC3

Copriferro: 40mm

### 3.2 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 450 \text{ MPa};$

Tensione di progetto:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m$

in cui  $\gamma_m = 1.15$   $f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.3 \text{ MPa};$

Modulo Elastico  $E_s = 210'000 \text{ MPa}.$

### 3.3 Verifica S.L.E.

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attesa, secondo quanto di seguito specificato

#### 3.3.1 Stato limite di limitazione delle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente a trazione" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento "Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario RFI DTC INC PO SP IFS 001 A", ovvero:

#### Strutture in c.a.

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico caratteristica (rara):  $0,55 f_{ck};$
- per combinazioni di carico quasi permanente:  $0,40 f_{ck};$
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare  $0.75 f_{yk}.$

### 3.3.2 Stato limite di fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

**Tabella 1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali**

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

**Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Risultando:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Data la maggior restrittività, alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dal "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, qual è il caso delle strutture in esame così come identificate nel DM 17.1.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

– Combinazione Caratteristica (Rara)  $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$

Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura riportata al C4.1.2.2.4.5 della Circolare.

#### 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Si rimanda alla relazione geotecnica per la trattazione completa dei parametri geotecnici.

##### 4.1 Terreno di ricoprimento/rinterro

Per il terreno di ricoprimento dell'opera sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche :

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

##### 4.1 Terreno di fondazione

Per il terreno esistente sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche :

#### Da 0.0 a 9.5 m Unità cap-s – Capellaccio sabbioso limoso costituente la parte alterata sabbiosa della formazione di base

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 150 \div 250 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 150 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$E'_{op} = E_o/5 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo per analisi opere di sostegno e
fondazioni dirette	( $E'_{op} = 45 \text{ MPa}$ )
$k = 7.0E^{-07} \text{ m/s}$	permeabilità

#### Da 9.5 a 30.0 m Unità TRVa – Formazione di Terravecchia arenarie e sabbie alternate con peliti

$\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 10 \text{ kPa}$	coesione drenata (non ci sono ancora prove disponibili)
$\varphi' = 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio (non ci sono ancora prove disponibili)
$V_s = 400 \div 780 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	12 di 30

$E_o = 390 \div 1000$  MPa

modulo di deformazione elastico iniziale

$E' = E_o/5$  MPa

modulo di deformazione elastico operativo per calcolo cedimenti fondazione e

opere di sostegno

( $E'_{op} = 80$  MPa fino a 30 m,  $E'_{op} = 120$  MPa per profondità > 30 m)

$k = 1.0E^{-07} \div 2.0E^{-06}$  m/s

permeabilità

Falda: 7 m da p.c.

Categoria sottosuolo sismica:

da MASW  $V_{s,eq} = 361$  m/s

**categoria tipo C**

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa.

### 5.1 Vita nominale e classe d'uso

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale ( $V_N$ ), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso ( $C_U$ )

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale:  $V_N = 75$  anni (categoria 2: "Altre opere nuove a velocità  $V < 250$  Km/h"). Riguardo invece la Classe d'Uso, all'opera in oggetto corrisponde una Classe III a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II):  $C_U = 1.5$ .

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutati in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$  anni

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

### 5.2 Parametri di pericolosità sismica

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 17-01-2018, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica /  $V_R$ ) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

- Categoria sottosuolo **C**

In accordo a quanto riportato in Allegato A delle Norme Tecniche per le costruzioni DM 17.01.18, si ottiene per il sito in esame:

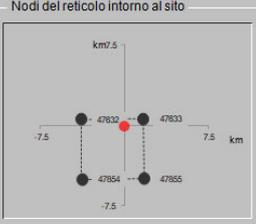
### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate  
 LONGITUDINE: 14.35203    LATITUDINE: 37.57612

Ricerca per comune  
 REGIONE: Sicilia    PROVINCIA: Enna    COMUNE: Leonforte

Elaborazioni grafiche:  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni:  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito  


Reticolo di riferimento  
 Controllo sul reticolo:  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione corretta

Interpolazione: media ponderata

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

INTRO    **FASE 1**    FASE 2    FASE 3

La pericolosità sismica di base è stata definita sulla base delle coordinate geografiche del sito di realizzazione dell'opera:

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

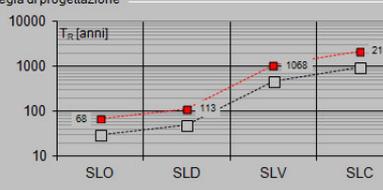
Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$ : 75 info  
 Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$ : 1.5 info

Valori di progetto  
 Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$ : 112.5 info  
 Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$ : info

Stati limite di esercizio - SLE:  
 SLO -  $P_{VR} = 81\%$ : 68  
 SLD -  $P_{VR} = 63\%$ : 113

Stati limite ultimi - SLU:  
 SLV -  $P_{VR} = 10\%$ : 1068  
 SLC -  $P_{VR} = 5\%$ : 2193

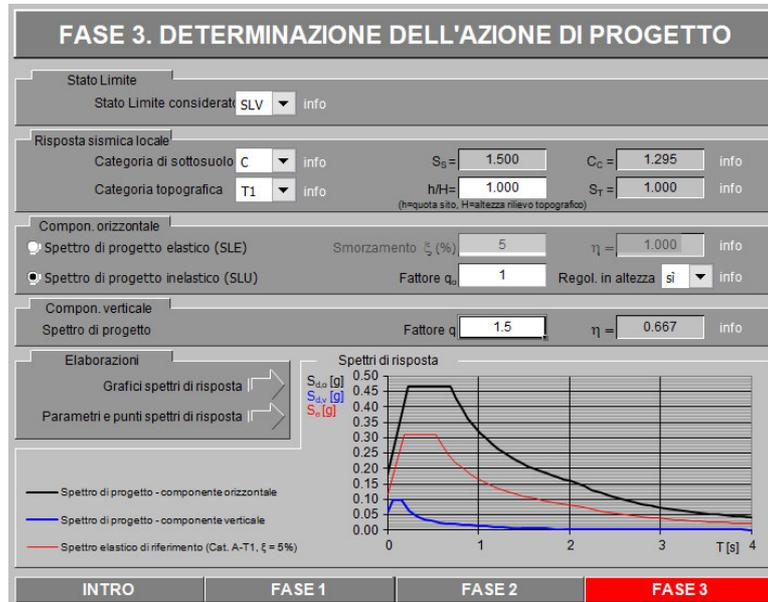
Elaborazioni:  
 Grafici parametri azione  
 Grafici spettri di risposta  
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione  


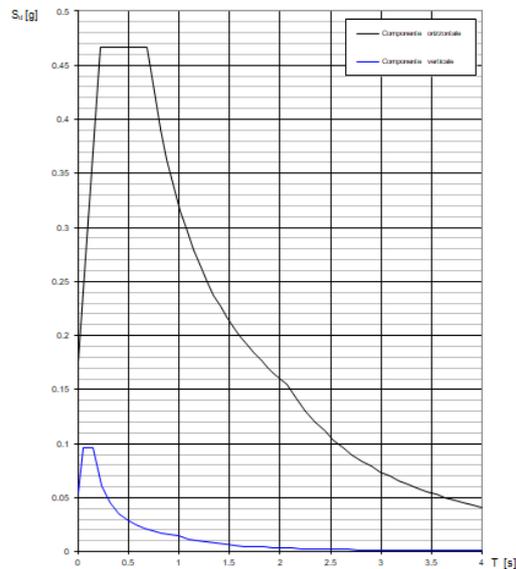
LEGENDA GRAFICO  
 - - - - - Strategia per costruzioni ordinarie  
 . . . . . Strategia scelta

INTRO    FASE 1    **FASE 2**    FASE 3

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



**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato lim SLV**



**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_n$	0.118 g
$F_n$	2.643
$T_c^*$	0.529 s
$S_S$	1.500
$C_C$	1.295
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.228 s
$T_C$	0.685 s
$T_D$	2.071 s

## 6 CRITERI DI PROGETTO

### 6.1 Programmi per l'analisi automatica

Lo stato tenso-deformativo della paratia è stato investigato mediante il software di calcolo *PARATIEPLUS*.

### 6.2 Modelli di calcolo

Lo stato tenso-deformativo dei pali è stato investigato mediante il software di calcolo *PARATIE PLUS*, programma non lineare agli elementi finiti per l'analisi di strutture di sostegno flessibili.

Si è considerato un comportamento piano nelle deformazioni, analizzando una striscia di parete di larghezza unitaria. La realizzazione dello scavo sostenuto da paratie è seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una quota di scavo, da un insieme di puntoni e tiranti applicati e da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

### 6.1 Galleria

La trincea è costituita da una paratia di pali  $L=21.0\text{m}$   $D1200$  ad interesse  $1.3\text{m}$ . Si incrementa l'altezza di scavo del 10% secondo quanto riportato al cap.6.5.2.2 delle NTC( $6.3\text{m} \cdot 1.1 = 7.0\text{m}$ ). Nella modellazione è implementata la seguente successione di step:

Step 0. Inizializzazione geostatica.

Step 1. Esecuzione pali  $\varphi=1200$  mm.

Step 2. Scavo.

Step 3. Sistemazione finale.

Step 4. Attivazione sisma ( $kh=0.177$ ;  $kv=0.088$ ).

L'azione sismica viene valutata secondo:

### 7.11.6.3.1 Metodi pseudostatici

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo.

Le componenti orizzontale e verticale  $a_h$  e  $a_v$  dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici,  $a_h$  può essere legata all'accelerazione di picco  $a_{max}$  attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max} \quad (7.11.9)$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale,  $\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e  $\beta \leq 1$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Per le paratie si può porre  $a_v = 0$ .

Si adotta  $\beta = 0.612$  ( $U_s = 0.05m$ )

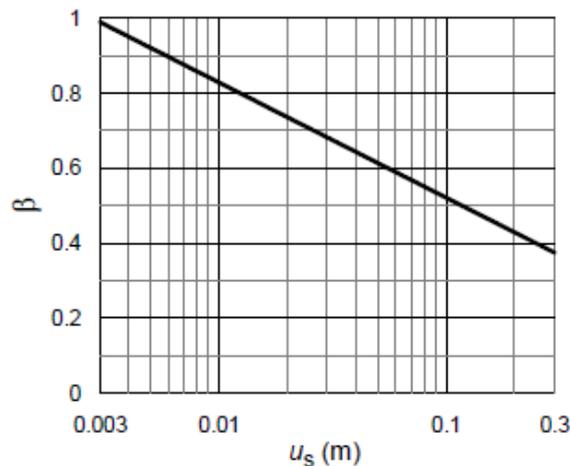


Fig. 7.11.3 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$ .

Il fattore  $\alpha$  per suolo tipo C e 21.0m di lunghezza paratia risulta pari ad 0.72:

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	18 di 30

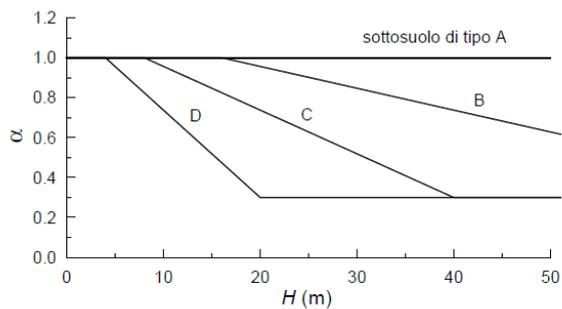
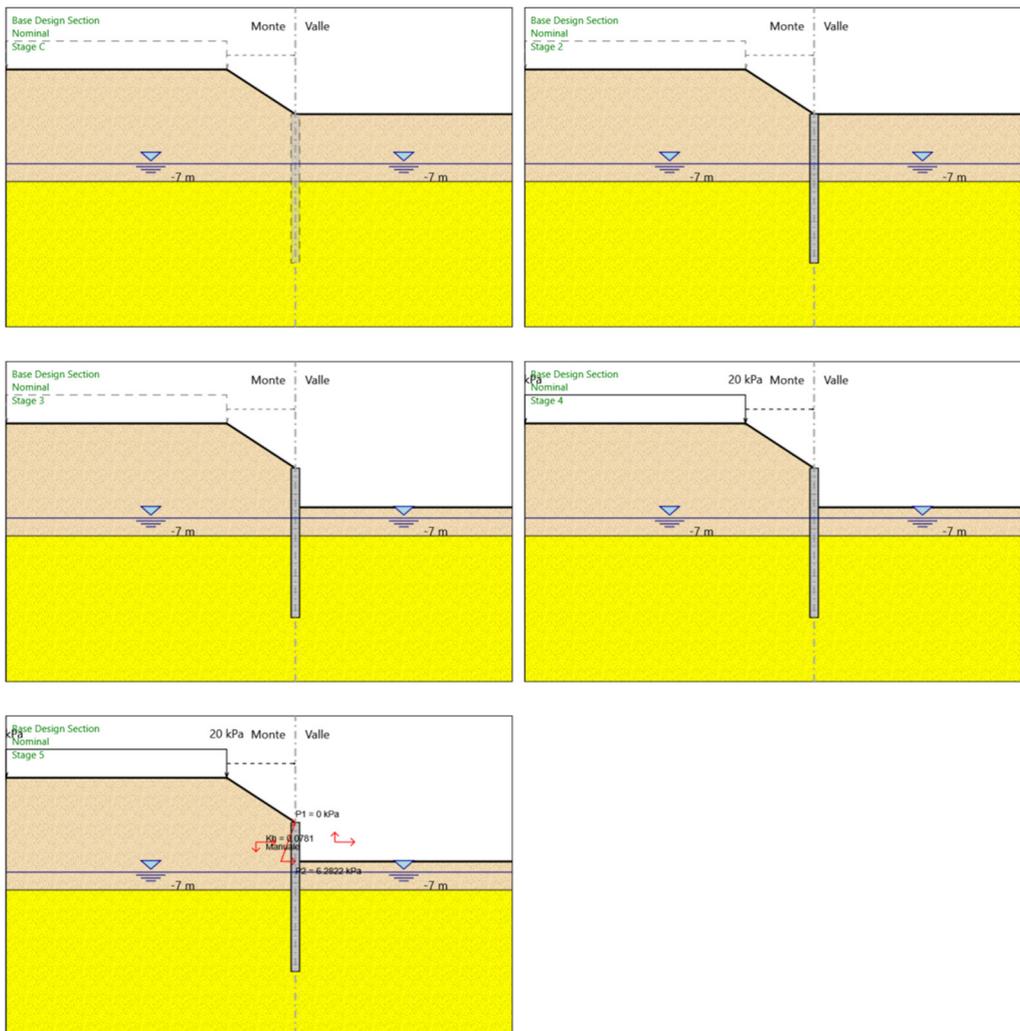


Figura 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$

Di seguito si riportano le immagini relative alle fasi di calcolo:



## 7 ANALISI DEI CARICHI

### 7.1 Peso Proprio

Il peso proprio della struttura è calcolato in base alla geometria degli elementi strutturali e al peso specifico assunto per i materiali:

$$\gamma_{cls}=25.0 \quad \text{kN/m}^3$$

### 7.2 Spinta statica delle terre

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo PARATIE, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra terreno e la struttura deformabile a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , il coefficiente di spinta attiva  $K_a$  e il coefficiente di spinta passiva  $K_p$ .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace  $\sigma'_h$  a quella verticale  $\sigma'_v$  attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

$K_0$  dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace  $\phi'$  e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} \cdot (\text{OCR})^m$$

dove

$$K_0^{NC} = 1 - \text{sen } \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ( $\text{OCR}=1$ ).  $\text{OCR}$  è il grado di sovraconsolidazione e  $m$  è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	20 di 30

I coefficienti di spinta attiva e passiva sono forniti dalla teoria di Rankine per una parete liscia dalle seguenti espressioni:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Per tener conto dell'angolo di attrito  $\delta$  tra paratia e terreno il software PARATIE impiega per  $K_a$  e  $K_p$  la formulazione rispettivamente di Coulomb e Lancellotta.

*Formulazione di Coulomb per  $k_a$*

$$k_a = \frac{\cos^2(\phi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[ 1 + \frac{\sqrt{\sin(\delta + \phi') \cdot \sin(\phi' - i)}}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)} \right]^2}$$

dove:

$\phi'$  è l'angolo di attrito del terreno

$\beta$  è l'angolo d'inclinazione del diaframma rispetto alla verticale

$\delta$  è l'angolo di attrito paratia-terreno

$i$  è l'angolo d'inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale

Il valore limite della tensione orizzontale sarà pari a

$$\sigma'_h = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_a}$$

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

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente.  $c'$  è la coesione drenata del terreno.

*Formulazione di Lancellotta per  $k_p$*

$$K_p = \left[ \frac{\cos \delta}{1 - \sin \phi'} (\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi' - \sin^2 \delta}) \right] e^{2\theta \tan \phi'}$$

dove:

$$2\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\sin \delta}{\sin \Phi'}\right) + \delta$$

### 7.3 Spinta statica dell'acqua

La spinta dell'acqua è proporzionale alla profondità a partire dalla quota di falda. La falda è posta a 7.0m da p.c.

### 7.4 Spinta da sovraccarico accidentale

Il sovraccarico accidentale di superficie è assunto pari a 20 kPa per simulare la presenza del traffico veicolare.

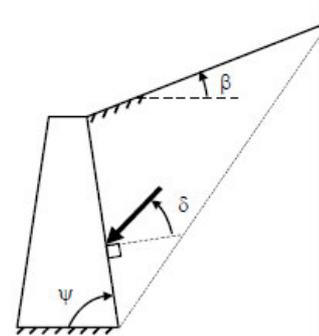
### 7.5 Sovrappinta sismica del terreno

Per la determinazione dell'incremento di spinta sismica si utilizza la seguente espressione (Mononobe-Okabe):

$$\beta \leq \phi - \theta: K_{A,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta)\text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta)\text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta: K_{A,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$

(12-14)



$$E_d = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K_{A,E} H^2$$

dove  $\gamma$  è la media pesata del peso di volume del terreno da p.c. a fondo scavo e H è il dislivello tra la quota del piano campagna e la quota di fondo scavo.

Tale forza viene applicata ad 1/3 dell'altezza libera della paratia:

Opzioni

Includi Azione Sismica

1. Definizione accelerazione

Coefficiente accel. base  $a_g / g$

Fattore importanza I

Coefficiente  $S_s$

Coefficiente  $S_T$

$a_{max} / g =$

2. Accelerazione di calcolo

Eurocodice

Calcolo coefficiente di risposta R

Input diretto

Da formule

$U_s$   m  $T_c$   m/s

$V_{max}$   m/s  $V_{max}/a_{max}$   >

R=  >

NTC

$U_s =$   m

$\beta =$   >

$\alpha =$   >

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

3. Definizione calcolo

Modalità spinta  Paratia fuori terra  
 Paratia intera

Comportamento idraulico  Terreno pervio  
 Terreno impervio

$k_{vu}$  (%  $k_h$ )

$k_{vd}$  (%  $k_h$ )

$R_u$

Includi inerzia paratia

4. Metodo di calcolo

Procedura Automatica (Paratie)

Pressione di Wood [0-1]

Valore Applicato

Manuale (Carichi Esterni)

Comportamento Paratia  Flessibile (usa  $k_h$ )  
 Rigido (usa  $a_{max}$ )

Metodo  Wood  
 Mononobe-Okabe  
 Semirigido

B=  Correlazione  $\alpha_1 - \alpha_2$

$\alpha_1 =$

$\alpha_2 =$   

## 7.6 Forze d'inerzia per sisma orizzontale

L'azione inerziale è stata introdotta come accelerazione nella direzione del sisma di intensità pari:

$$F_h = W_i \times k_h$$

## 7.7 Sovrappinta dell'acqua

Poichè tutti i terreni hanno permeabilità inferiore a  $5 \times 10^{-4}$  m/s non si è considerata la sovrappinta idrodinamica.

## 7.8 Combinazioni di carico

Per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)
- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	23 di 30

- instabilità del fondo scavo per sollevamento;
  - sifonamento del fondo scavo;
  - instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
  - SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
  - raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;
  - raggiungimento della resistenza strutturale della paratia,
- accertando che la condizione (6.2.1) sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

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

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

Fermo restando quanto specificato nel § 6.5.3.1.1 per il calcolo delle spinte, per valori dell'angolo d'attrito tra terreno e parete  $\delta > \varphi'/2$  ai fini della valutazione della resistenza passiva è necessario tener conto della non planarità delle superfici di scorrimento.

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	24 di 30

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

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

Tabella 2– Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab. 6.2.I NTC2018)

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

Tabella 3– Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab.6.2.II NTC2018)

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Tabella 4: Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (Tabella 6.8.I – NTC 2018)

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	25 di 30

## 8 RISULTATI

### 8.1 Pareti

#### Stratigrafia:

Tipo : HORIZONTAL  
Quota : 8 m  
OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL  
Quota : -9.5 m  
OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL  
Quota : -30 m  
OCR : 1

Strato di Terreno	Terreno	$\gamma$ dry	$\gamma$ sat	$\theta'$	$\theta$	$\nu$	$\phi$	$c'$	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		kPa	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	
1	cap-s	19.5	19.5	33			0		Constant			45000	135000											
2	TRVa_2	19	19	30			10		Constant			80000	240000											
3	TRVa_3	19	19	30			10		Constant			120000	360000											

#### Parete :

X : 0 m  
Quota in alto : 0 m  
Quota di fondo : -21 m  
Muro di sinistra

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	26 di 30

Armatura Lunghezza segmenti : 1 m

Rinforzo longitudinale 1

Lunghezza : 21 m

Materiale :

Quota iniziale : 0 m

Barre 1

Numero di barre : 38

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 : 21 m

Quota iniziale : 0 m

Passo : 0.15 m

Rinforzo longitudinale 2

Lunghezza : 21 m

Materiale :

Quota iniziale : 0 m

Barre 1

Numero di barre : 38

Diametro : 0.024 m

Distanza dal bordo : 0.12 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.096 m

Diametro : 0.012 m

Lunghezza : 21 m

Quota iniziale : 0 m

Passo : 0.15 m

Sezione : paratia fi1200

Area equivalente : 0.86997950407102 m

Inerzia equivalente : 0.0783 m<sup>4</sup>/m

Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 1.3 m

Diametro : 1.2 m

Efficacia : 1

Riepilogo per tutte le Design Assumption (DA) attive

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.16 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 5)

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	27 di 30

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.54 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)

Risultati Elementi parete (Beam)

Max. momento (assoluto) [kNm/m] 1732.49 Z = -11.4 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)

Max. taglio [kN/m] 319.41 Z = -6.4 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)

Max. sfruttamento a flessione 0.436 Z = -11.4 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)

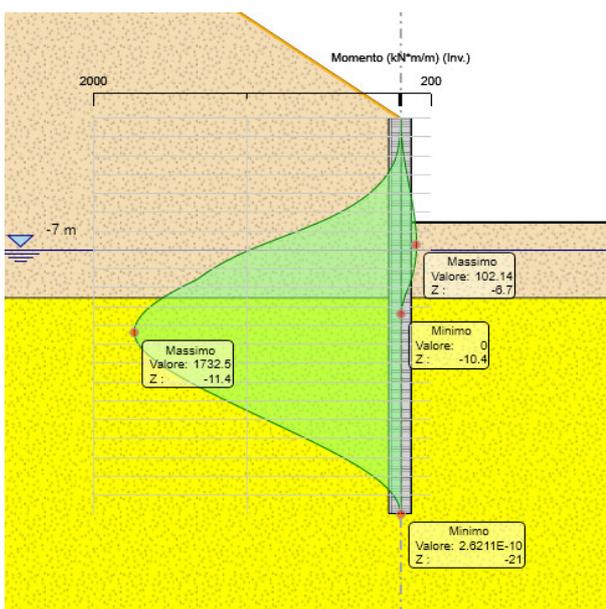
Max. sfruttamento a taglio 0.439 Z = -6.4 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Stage 4)

Max. ampiezza fessure [mm] 0.195 Z = -10.4 m D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Stage 5)

Incidenza Armature:

Pali: 300 kg/m<sup>3</sup>

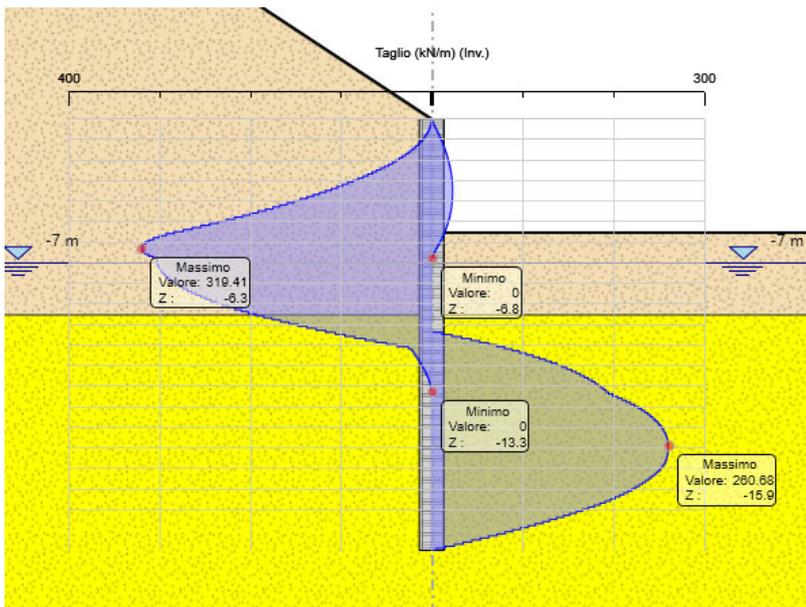
Inviluppo Momento:



Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	28 di 30

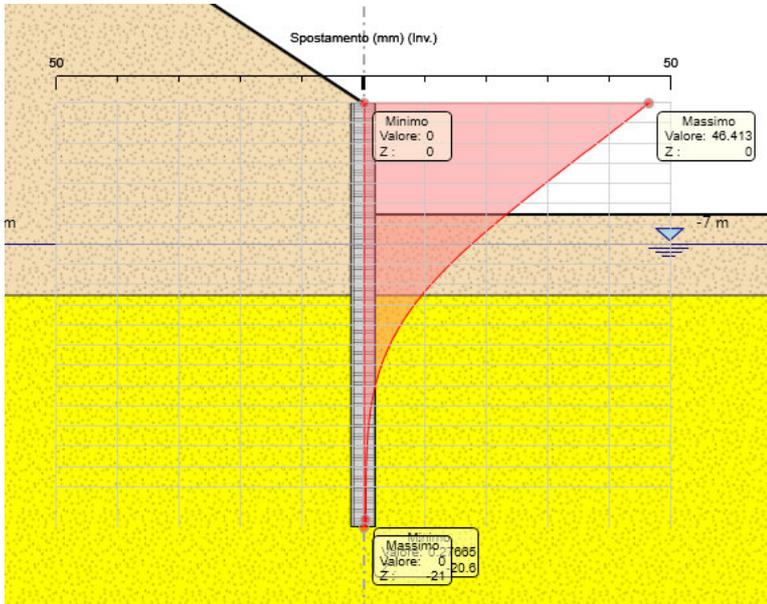
Inviluppo Taglio:



Spostamento SLE.

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	29 di 30



### Riepilogo Combinazioni di carico

Nome	Carichi Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load_ unfavour)	Carichi Permanenti Favorevoli (F_dead_load_ _favour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_load_ unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_ _favour)	Carico Sismico (F_seism_ _load)	Pressio ni Acqua Lato Monte (F_Wat erDR)	Pressio ni Acqua Lato Valle (F_Wat erRes)	Carichi Permane nti Destabiliz zanti (F_UPL_G DStab)	Carichi Permane nti Stabilizz zanti (F_UPL_ GStab)	Carichi Variabili Destabiliz zanti (F_UPL_Q DStab)	Carichi Permanen ti Destabiliz zanti (F_HYD_G DStab)	Carichi Permane nti Stabilizza zanti (F_HYD_ GStab)	Carichi Variabili Destabiliz 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/Freque nte/Quasi Permanente)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	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: SISMICA STR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

Trincea TR01 - Paratia di pali - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 CL	TR 01 05 001	A	30 di 30

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	$\gamma Re$	$\gamma ap$	$\gamma at$	
Nominal	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/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
NTC2018: SISMICA GEO	1	1.2	1.1	1