

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

Opere di sostegno viabilità - Lotto 3b

NV65: Paratia di pali MU88N

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3T    30    D    78    CL    MU88N0    001    C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Feb-2020	A.Di Costanzo <i>A. Di Costanzo</i>	Feb-2020	A.Barreca <i>A. Barraeca</i>	Feb-2020	D.Tiberti Mar-2021
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	A.Di Costanzo <i>A. Di Costanzo</i>	Apr-2020	A.Barreca <i>A. Barraeca</i>	Apr-2020	
C	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Mar-2021	A.Di Costanzo <i>A. Di Costanzo</i>	Mar-2021	A.Barreca <i>A. Barraeca</i>	Mar-2021	

ITALFERR S.p.A.  
 Direzione Generale  
 UO Infrastrutture Sud  
 Dott. Ing. Giancarlo Tiberti  
 Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 1187/8

## INDICE

1.	PREMESSA .....	3
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
4.	UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA .....	6
5.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	7
5.1	CALCESTRUZZO .....	7
5.2	ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA B450C .....	8
6.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	9
7.	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....	10
7.1	VITA NOMINALE .....	10
7.2	CLASSE D'USO .....	10
7.3	PERIODO DI RIFERIMENTO .....	10
7.4	PARAMETRI SISMICI .....	10
8.	CRITERI DI VERIFICA PARATIE .....	14
8.1	VERIFICHE GEOTECNICHE SLU IN CONDIZIONI STATICHE .....	14
8.2	VERIFICHE GEOTECNICHE SLV (CONDIZIONI SISMICHE) .....	14
8.2.1	<i>Stabilità globale</i> .....	15
9.	ANALISI DEI CARICHI .....	16
10.	COMBINAZIONI DI CARICO .....	17
11.	PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA D600 .....	19
11.1	DATI DI INPUT .....	19
11.2	FASI DI CALCOLO .....	21
11.3	RISULTATI DELLE ANALISI .....	24
11.4	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	27
11.4.1	<i>Verifiche SLE</i> .....	27

11.4.2	Verifica di stabilità globale .....	28
11.1	VERIFICHE STRUTTURALI .....	30
11.1.1	VERIFICA A TAGLIO – CONDIZIONI STATICHE.....	31
11.1.2	VERIFICA A TAGLIO – CONDIZIONI SISMICHE .....	31
11.1.3	VERIFICHE A FLESSIONE - CONDIZIONI STATICHE.....	32
11.1.4	VERIFICHE STRUTTURALI – CONDIZIONI SISMICHE.....	35

## 1. PREMESSA

Il presente documento riguarda il dimensionamento delle opere di protezione al soliflusso MU88N dal km 0+000.45 al km 0+093.62, per uno sviluppo complessivo di 93 m, della viabilità NV65 nell'ambito del Progetto Definitivo della Direttoria Ferroviaria Messina – Catania – Palermo - Nuovo Collegamento Palermo – Catania, Tratta Lercara Dir. – Caltanissetta Xirbi (Lotto 3) dalla progressiva chilometrica 18+636 alla 46+703 (lotto 3b).

### 1.1 Descrizione dell'opera

L'opera è costituita da una paratia di pali appartenete al "tipo 2": presenta un diametro di 600 mm e interasse 0.80 m, con lunghezza pari a 10 m che, sommato allo spessore di 1.20 di cordolo, si ottiene una lunghezza complessiva di 11.20 m. L'altezza di scavo massima è pari a 5.13 m;

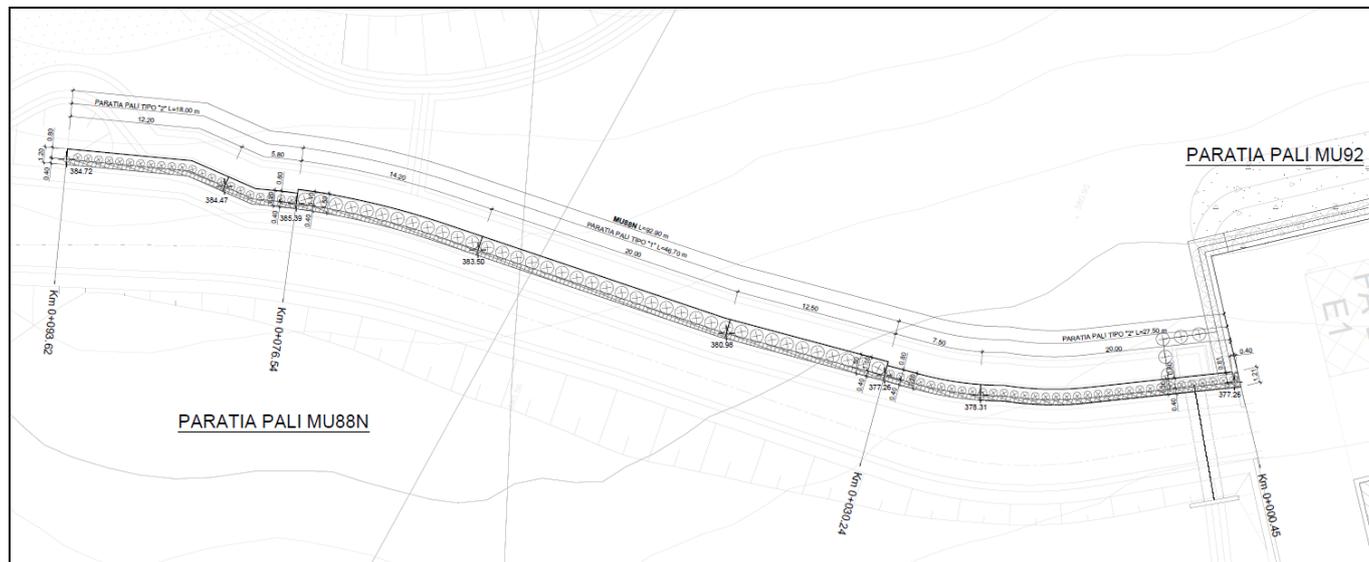


Figura 1-1 – Pianta MU88N.

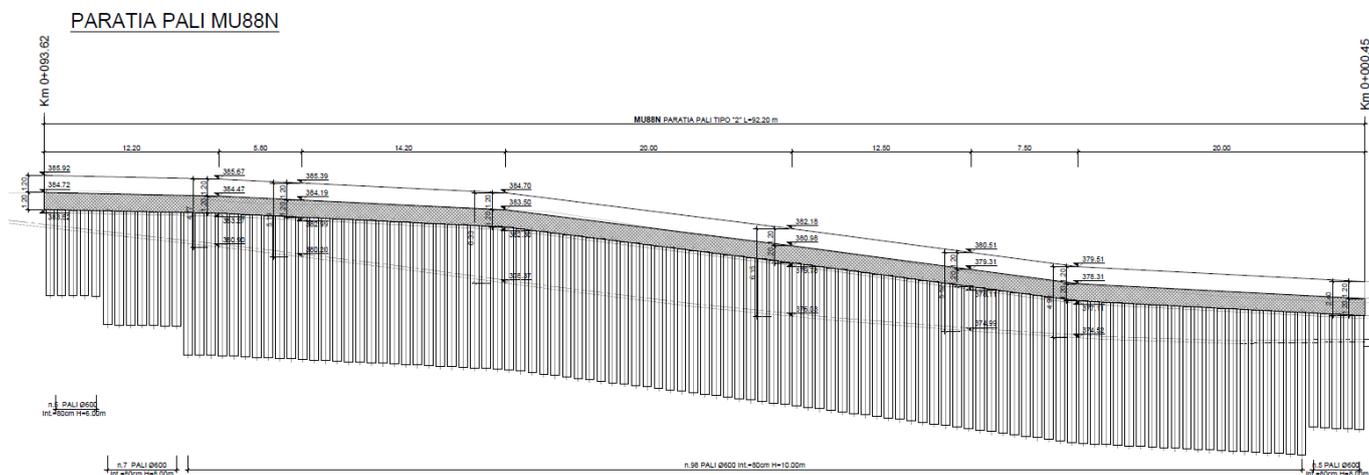


Figura 1-2 – Prospetto MU88N.

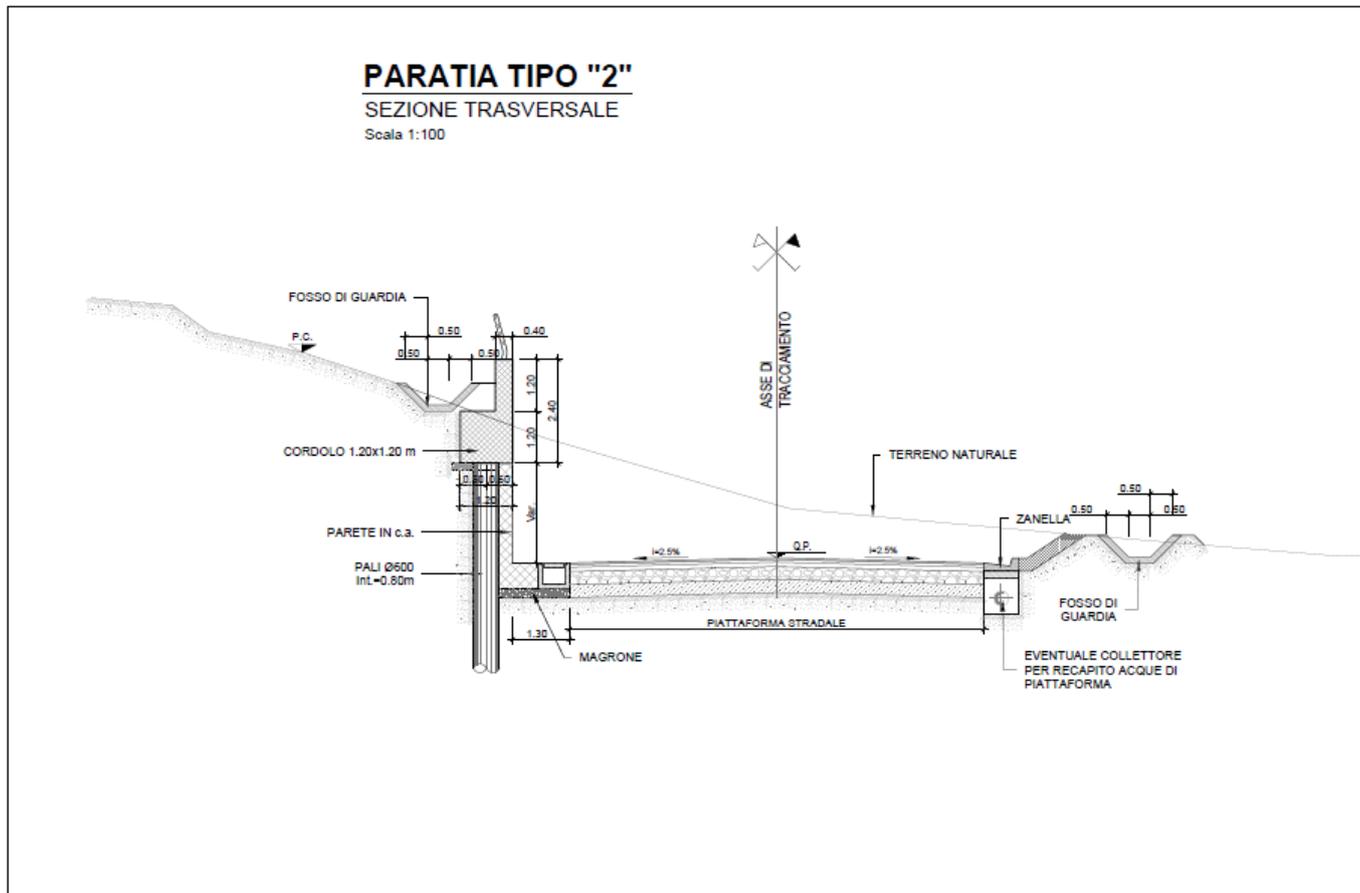


Figura 1-3 – Sezione trasversale paratia tipo 2.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b</b>					
NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 88 N 0 001	REV. C	FOGLIO 5 di 37

## 2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

L'interpretazione dei risultati e la redazione della presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore.

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

**Norme Tecniche per le Costruzioni** - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);

**Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019** - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;

**Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea.** Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

**Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2**

**RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21-12-18** - Manuale di Progettazione delle Opere Civili

## 3. **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

Vengono presi a riferimento i seguenti elaborati grafici progettuali di pertinenza:

RS3T.3.0.D.78.PZ.MU.88.N.0.001: "NV65 Opere di protezione al soliflusso MU88N - Pianta, prospetto e sezioni"

RS3T.3.0.D.78.GE.GE.00.0.0.002: "Relazione geotecnica generale - Lotto 3B"

RS3T.3.0.D.78.F6.GE.00.0.0.049: "Profilo geotecnico viabilità NV65"

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b</b>					
	NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 88 N 0 001	REV. C

#### 4. UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

unità di misura principali

N (Newton)	unità di forza
m (metro)	unità di lunghezza
kg (kilogrammo-massa)	unità di massa
s (secondo)	unità di tempo

unità di misura derivate **kN**

(kiloNewton)	103N
<b>MN</b> (megaNewton)	106N
<b>kgf</b> (kilogrammo-forza)	1 kgf = 9.81 N
<b>cm</b> (centimetro)	$10^{-2}$ m
<b>mm</b> (millimetro)	$10^{-3}$ m
<b>Pa</b> (Pascal)	1 N/m <sup>2</sup>
<b>kPa</b> (kiloPascal)	103 N/m <sup>2</sup>
MPa (megaPascal)	106 N/m <sup>2</sup>
N/m <sup>3</sup>	(peso specifico)
<b>g</b> (accelerazione di gravità)	~9.81 m/s <sup>2</sup>

corrispondenze notevoli

1 MPa = 1 N/mm <sup>2</sup>
1 MPa ~ 10 kgf/cm <sup>2</sup>
1 kN/m <sup>3</sup> ~ 100 kgf/m <sup>3</sup>

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

$\gamma$ (gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma$ (sigma)	tensione normale	(N/mm <sup>2</sup> )
$\tau$ (tau)	tensione tangenziale	(N / mm <sup>2</sup> )

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b</b>					
	NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 88 N 0 001	REV. C

$\varepsilon$  (epsilon) deformazione (m/m) -

$\phi$  (fi) angolo di resistenza ( $^{\circ}$  sessagesimali)

## 5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali sono ricavate con riferimento alle indicazioni contenute nei capitoli 4 e 11 del D.M. 17 gennaio 2018. Nelle tabelle che seguono sono indicate le principali caratteristiche e i riferimenti dei paragrafi del D.M. citato.

### 5.1 Calcestruzzo

- Elemento strutturale: pali

Classe di resistenza = C25/30;

$R_{ck}$  = resistenza cubica = 30 N/mm<sup>2</sup>;

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83  $R_{ck}$  = 24.9 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{cm}$  = resistenza cilindrica media =  $f_{ck} + 8$  = 32.9 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck}/\gamma_c = 14.11$  N/mm<sup>2</sup>;

$f_{ctm}$  = resistenza a trazione media = 0.30 x  $f_{ck}^{2/3}$  = 2.56 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{ctm}$  = resistenza a traz. per flessione media = 1.20 x  $f_{ctm}$  = 3.07 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{ctk}$  = resistenza a traz. per flessione carati. = 0.70 x  $f_{ctm}$  = 2.15 N/ mm<sup>2</sup>;

$E_{cm}$  = modulo elast. tra 0 e 0.40 $f_{cm}$  = 22000 x  $(f_{cm}/10)^{0.3}$  = 31447.2 N/ mm<sup>2</sup>;

Classe di esposizione XC2

Copriferro = 60 mm

Tolleranza di posa del copriferro = 10 mm;

Condizioni ambientali: normali

Apertura fessure limite:  $w_1 = 0.2$  mm

## 5.2 Acciaio in barre ad aderenza migliorata B450C

L'acciaio per cemento armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

$f_{y\ nom}$	450 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t\ nom}$	540 N/mm <sup>2</sup>

Tabella 5-1 Tensioni caratteristiche acciaio.

E deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella:

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	$\geq f_{y\ nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t\ nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_v/f_{vnom})_k$	$< 1,35$	10.0
Allungamento $(A_{gr})_k$	$\geq 7,5\ %$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12\ mm$	4 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16\ mm$	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25\ mm$	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40\ mm$	10 $\phi$	

Tabella 5-2 Requisiti acciaio.

Inoltre si ha:

- $E_s = 210000\ N/mm^2$
- Sovrapposizioni barre  $\geq 40\phi$

Resistenza di calcolo dell'acciaio per la verifica agli SLU ( $\gamma_s=1.15$ ):

Resistenza di calcolo a rottura per trazione e deformazione corrispondente:

- $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391.3\ N/mm^2$
- $\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 0.186\ %$

## 6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica alla quale si rimanda per qualsiasi approfondimento. Si riportano a seguire la stratigrafia e i parametri meccanici utilizzati nei calcoli (valori medi dell'intervallo di variabilità riportato nella relazione geotecnica).

Unità litologiche da p.c.	da [m]	a [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]
C	0	2	19	3	20
TRV	2	-	21	22	22

Tabella 6-1 – Valori di calcolo dei parametri geotecnici del terreno

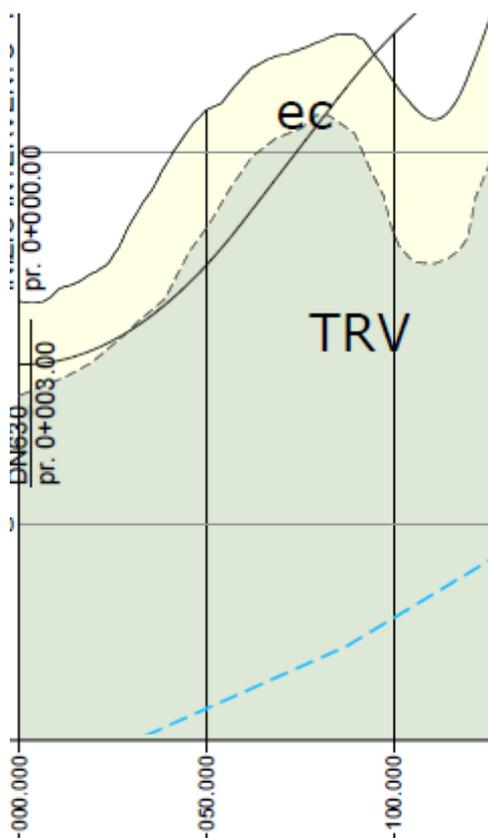


Figura 6-1 – Stralcio del profilo geotecnico.

La falda è posta ad una profondità superiore a 20.0 m dal piano campagna.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b					
	NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 88 N 0 001	REV. C

## 7. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

### 7.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è 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. Nel presente caso l'opera viene inserita nella seguente tipologia di costruzione:

#### 2) Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari;

La cui vita nominale è pari a: 75 anni.

### 7.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla seguente classe d'uso:

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Il coefficiente d'uso è pari a 1.50.

### 7.3 Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  ricavato, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ . Pertanto  $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$  anni.

### 7.4 Parametri sismici

Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{C_u V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Stati Limite	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 7-1 – Probabilità di superamento al variare dello stato limite considerato.

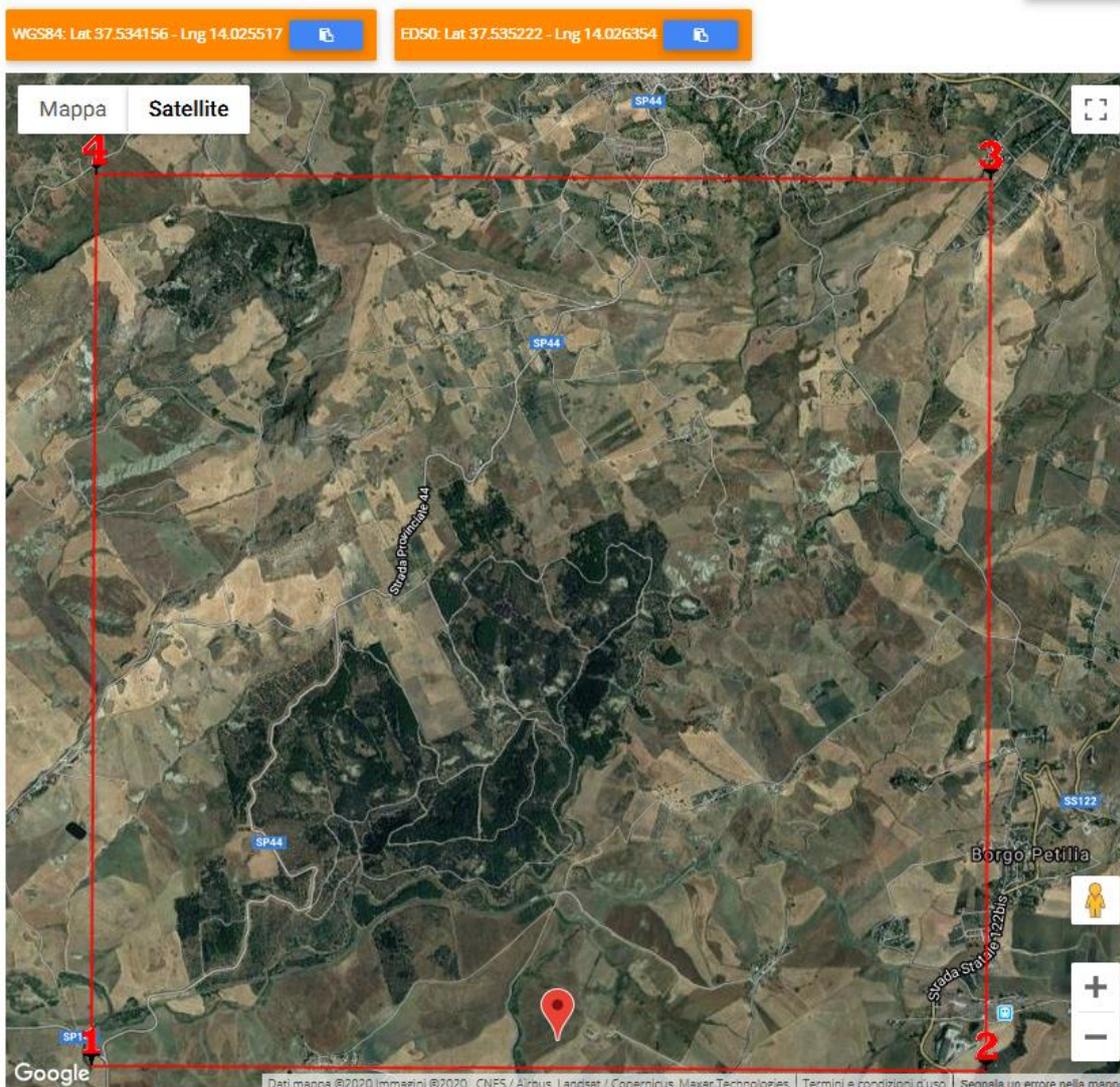


Figura 7-1 –Localizzazione del sito.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b</b>					
	NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 88 N 0 001	REV. C

Da cui si ottiene la seguente tabella:

## Stati limite

	Classe Edificio				
	III. Affollamento significativo...				
	Vita Nominale	75			
	Interpolazione	Media ponderata			
<b>CU = 1.5</b>					
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	$Tc^*$ [s]	
Operatività (SLO)	68	0.039	2.521	0.285	
Danno (SLD)	113	0.048	2.505	0.318	
Salvaguardia vita (SLV)	1068	0.096	2.662	0.455	
Prevenzione collasso (SLC)	2193	0.116	2.736	0.506	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	112.5				

Tabella 7-2 – Parametri relativi all'azione sismica.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale. Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018. I terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di Categoria C. In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 7-3 – Categorie topografiche.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b</b>					
	NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 88 N 0 001	REV. C

L'area interessata risulta classificabile come T2.

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2018 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente  $S = S_S S_T$  e di  $C_C$  in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle tabelle di seguito riportate:

Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_C$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 7-4 – Espressioni di  $S_S$  e  $C_C$ .

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 7-5 – Valori massimi dei coefficienti di amplificazione topografica  $S_T$ .

Nel caso in esame quindi si ha:

	Cat. Sottosuolo	C				
	Cat. Topografica	T2				
			SLO	SLD	SLV	SLC
	SS Amplificazione stratigrafica		1,50	1,50	1,50	1,50
	CC Coeff. funz categoria		1,59	1,53	1,36	1,31
	ST Amplificazione topografica		1,20	1,20	1,20	1,20

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b					
	NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 88 N 0 001	REV. C

## 8. CRITERI DI VERIFICA PARATIE

### 8.1 Verifiche geotecniche SLU in condizioni statiche

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

- collasso del complesso opera-terreno;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Per le strutture di sostegno flessibili si adotta l'Approccio Progettuale 1 con le due combinazioni di coefficienti parziali (tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I del DM 17/01/2018):

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

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto con la verifica di stati limite ultimi GEO, applicando la Combinazione 2 (A2+M2+R1); per le verifiche di stati limite ultimi STR l'analisi è stata invece condotta con la combinazione 1 (A1+M1+R1).

Al fine di rispettare le richieste della Normativa in merito al modello geometrico di riferimento (6.5.2.2 DM 17/01/2018) nel caso di opere in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota di valle è diminuita di:

$$\Delta h = \min (0.5; 10\% \Delta t)$$

in cui  $\Delta t$  è la differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo.

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

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus.

### 8.2 Verifiche geotecniche SLV (condizioni sismiche)

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), con riferimento alla configurazione finale dell'opera di sostegno. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono pari all'unità. Si adotta il metodo pseudostatico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale secondo le prescrizioni della normativa (DM 17/01/2018):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right)$$

dove:

- $a_{\max}$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b					
	NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 88 N 0 001	REV. C

- $\alpha$  è il coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018);
- $\beta$  è il coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018).

Per la definizione dell'azione sismica si rimanda al paragrafo 7.4. L'effetto del sisma sulle strutture di sostegno è ottenuto applicando un incremento di spinta (cfr § 7.11.6.3.1 del D.M. 17/01/2018 e § C7.11.6.3 della Circolare 7/19) del terreno valutato secondo la teoria di Mononobe-Okabe, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione uniforme sull'intera altezza dell'opera.

$$\Delta S_E = \left[ \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{aE} - K_a) \right] / H,$$

dove:  $\gamma$  rappresenta il peso dell'unità di volume della formazione con la quale l'opera interagisce,  $H$  rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso),  $K_{aE}$  e  $K_a$  rappresentano i coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche e statiche rispettivamente.

Per la valutazione della spinta passiva si assume  $\alpha=1$  (§7.11.6.3 del DM 17/01/2018). Il coefficiente sismico verticale,  $k_v$ , si assume pari a 0 (§7.11.6.3 del DM 17/01/2018).

I coefficienti di spinta attiva sono determinati attraverso la relazione di Mononobe (1929) e Okabe (1926). I coefficienti di spinta passiva sono determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007). L'angolo di attrito terreno/struttura,  $\delta$ , si assume pari a 1/2 della resistenza al taglio del terreno naturale.

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo PARATIE (Paratie Plus 2014.1).

### 8.2.1 Stabilità globale

In accordo con le indicazioni del DM 17/01/2018 § 6.8.2, le verifiche di sicurezza SLU sono state condotte secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2), in cui A2 sono i coefficienti moltiplicativi delle azioni e M2 e R2 sono i coefficienti riduttivi dei parametri di resistenza dei materiali e della resistenza globale del sistema. Il rapporto tra  $R_d$  ed  $E_d$  dovrà risultare sempre maggiore o uguale a  $\gamma_R = 1.1$  in condizioni statiche per assicurare che la verifica di sicurezza richiesta da normativa sia rispettata.

Per le verifiche sismiche si applicano gli stessi criteri ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§7.11.1 e § 7.11.4 del DM 17/01/2018) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a  $\gamma_R = 1.2$ . (§ 7.11.4 del DM 17/01/2018).

Per la valutazione della superficie di scorrimento critica (ed in generale di tutte le superfici di scorrimento) è stato utilizzato il metodo di Morgenstern & Price.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi SLV, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{ed} \quad F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$  pari rispettivamente ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b					
NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 88 N 0 001	REV. C	FOGLIO 16 di 37

in cui:

- $\beta_s$ : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- $a_{max}$ : accelerazione orizzontale massima attesa al sito (cfr. §7.4).
- g: accelerazione di gravità.

## 9. ANALISI DEI CARICHI

Le azioni considerate per la verifica delle strutture di sostegno sono le seguenti:

- **azioni permanenti:** peso proprio degli elementi strutturali, spinta del terreno a monte e a valle dell'opera, carico fittizio simulante l'inclinazione del pendio a monte dell'opera opportunamente discretizzato in modo da simulare fedelmente il reale andamento del profilo topografico del pendio.
- **azioni variabili:** carico variabile sul piano campagna a monte della struttura di sostegno,  $Q_{1M}$ , atto a schematizzare nella fase costruttiva l'eventuale presenza di sovraccarichi di varia natura connessi alla realizzazione delle opere.
- **azione sismica:** l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo è definita nel paragrafo 7.4.

## 10. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2018 al par.2.5.3:

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

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

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

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

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Per le verifiche si deve tenere conto dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze.

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

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

Tabella 10-1 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b</b>					
	NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 88 N 0 001	REV. C

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 10-2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

Tabella 10-3 – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi dei muri di sostegno.

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Tabella 10-4 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza SLU di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

Le combinazioni sismiche sono effettuate con ponendo però pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con gli opportuni coefficienti parziali  $\gamma_R$ .

Verifica	Coefficiente parziale $\gamma_R$
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

Tabella 10-5 – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1.2

Tabella 10-6 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza SLV di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

## 11. PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA D600

### 11.1 Dati di input

Sono di seguito descritti il modello e le principali caratteristiche dell'opera strutturale adottate nelle analisi di verifica.

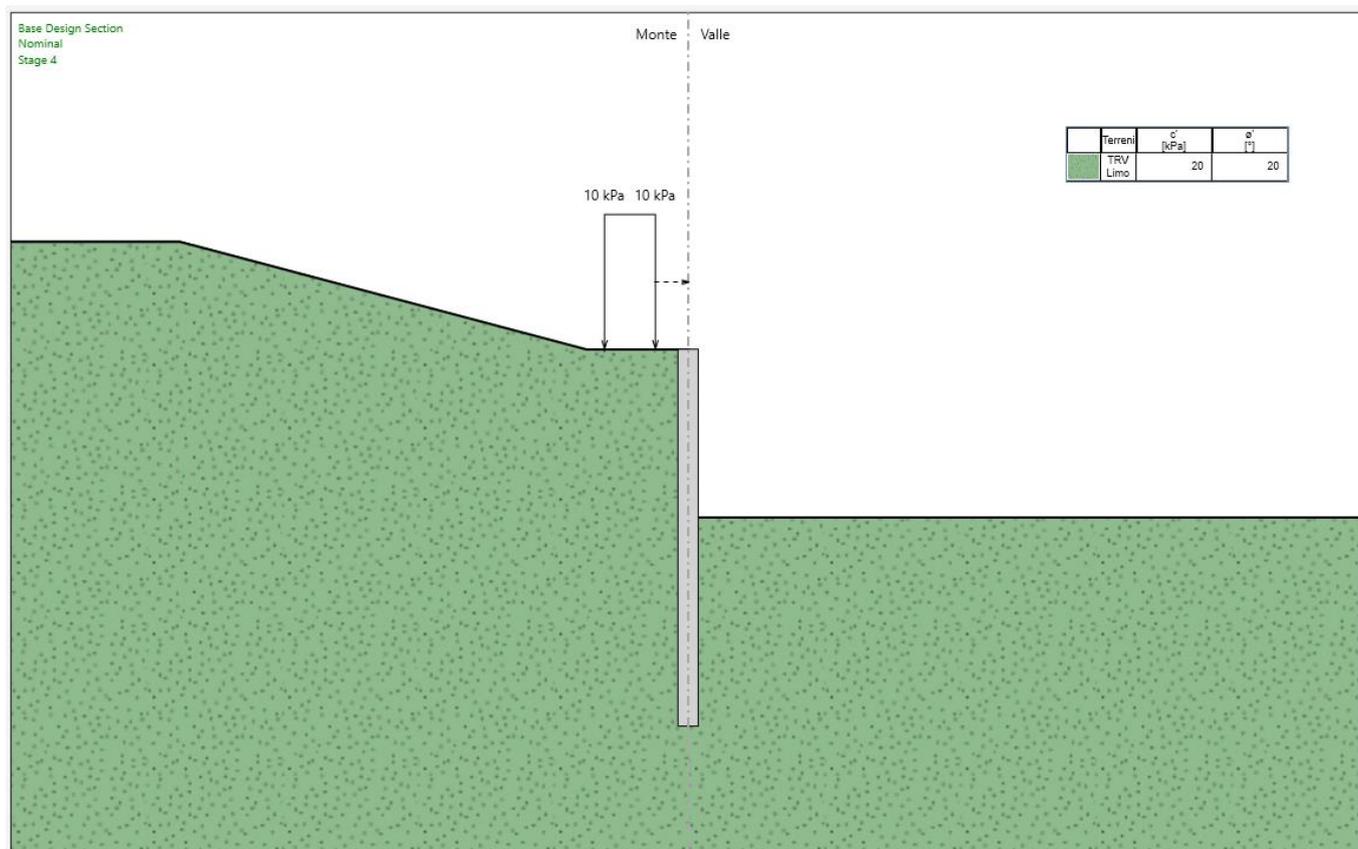


Figura 11-1. Schema di calcolo paratia

Tipologia struttura di sostegno	pali $\phi 600$ ad interasse 0.80 m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 11.20$ m (1.20 m cordolo + 10.0 m palo)
Altezza di scavo (da estradosso cordolo)	$H = 5.13$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = 6.63$ m
Inclinazione del piano campagna a monte	$12.0^\circ$
Inclinazione del piano campagna a valle	$0.0^\circ$
Sovraccarichi permanenti a monte	$g = 0$ kPa
Sovraccarichi permanenti a valle	$g = 0$ kPa
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 10$ kPa
Sovraccarichi variabili a valle	$q = 0$ kPa

Tabella 11-1 - Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo.

U.G.	da	a	$\gamma$	$c'$	cu	$\phi'$	$E_{op}$	$\nu$
[-]	[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
C	0	2	19	3	-	20	15	0.3
TRV	2	-	21	22	150	22	160	0.3

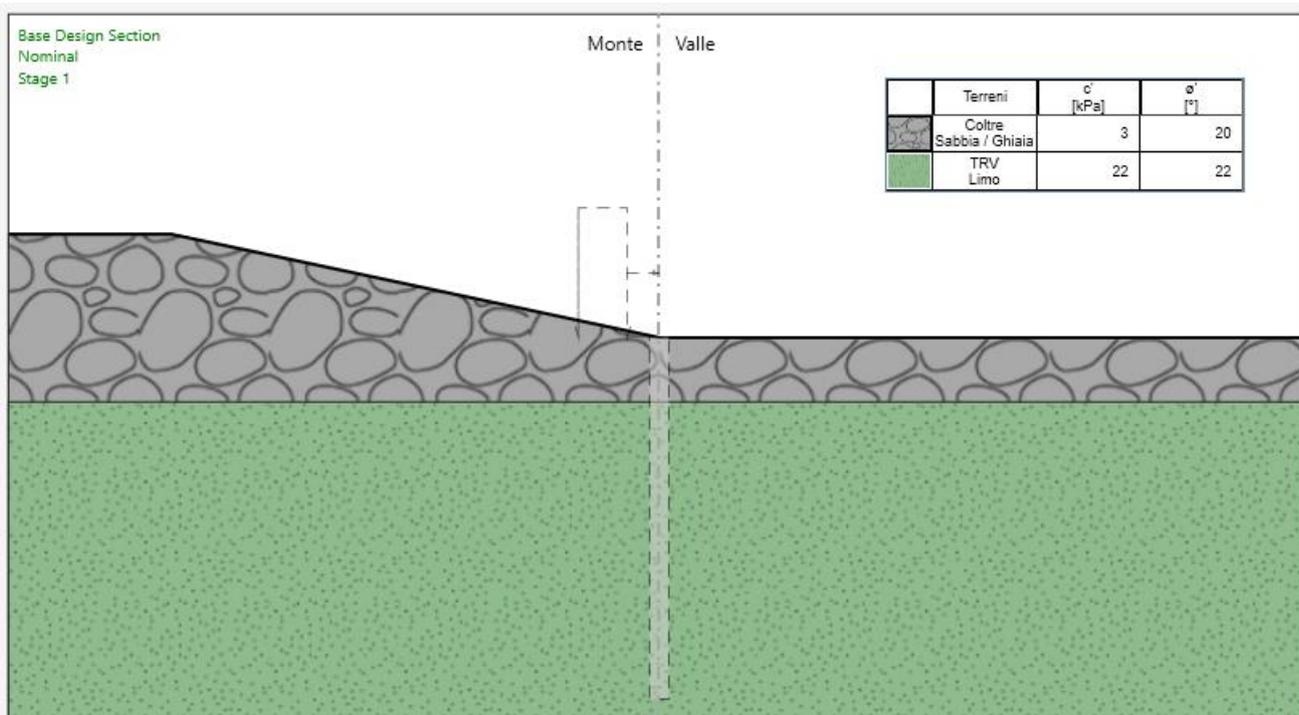
Tabella 11-2 - Parametri geotecnici di calcolo

U.G.	Condizione	Cat. sottosuolo	Cat. topografica	ag (g)	Ss	St	amax/g
[-]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	[-]	[-]
TRV	SLV	C	T2	0.096	1.5	1.2	0.17

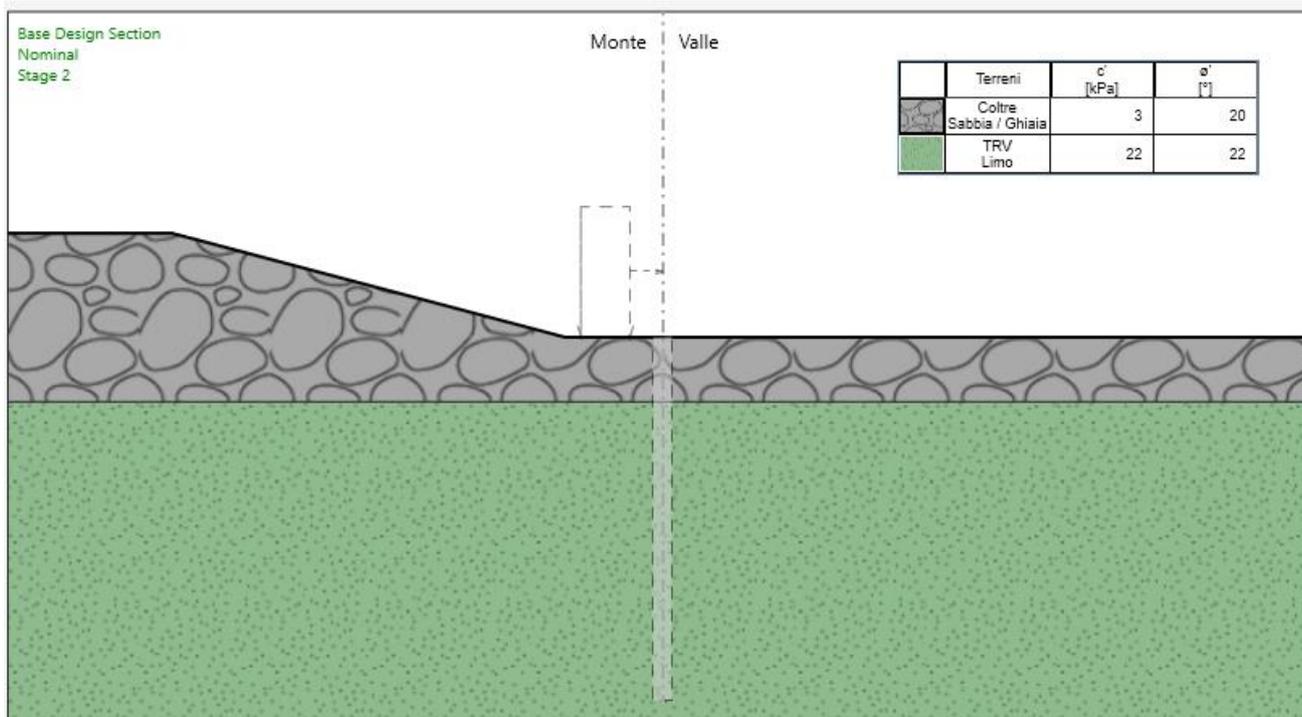
Tabella 11-3 - Parametri per l'analisi sismica

## 11.2 Fasi di calcolo

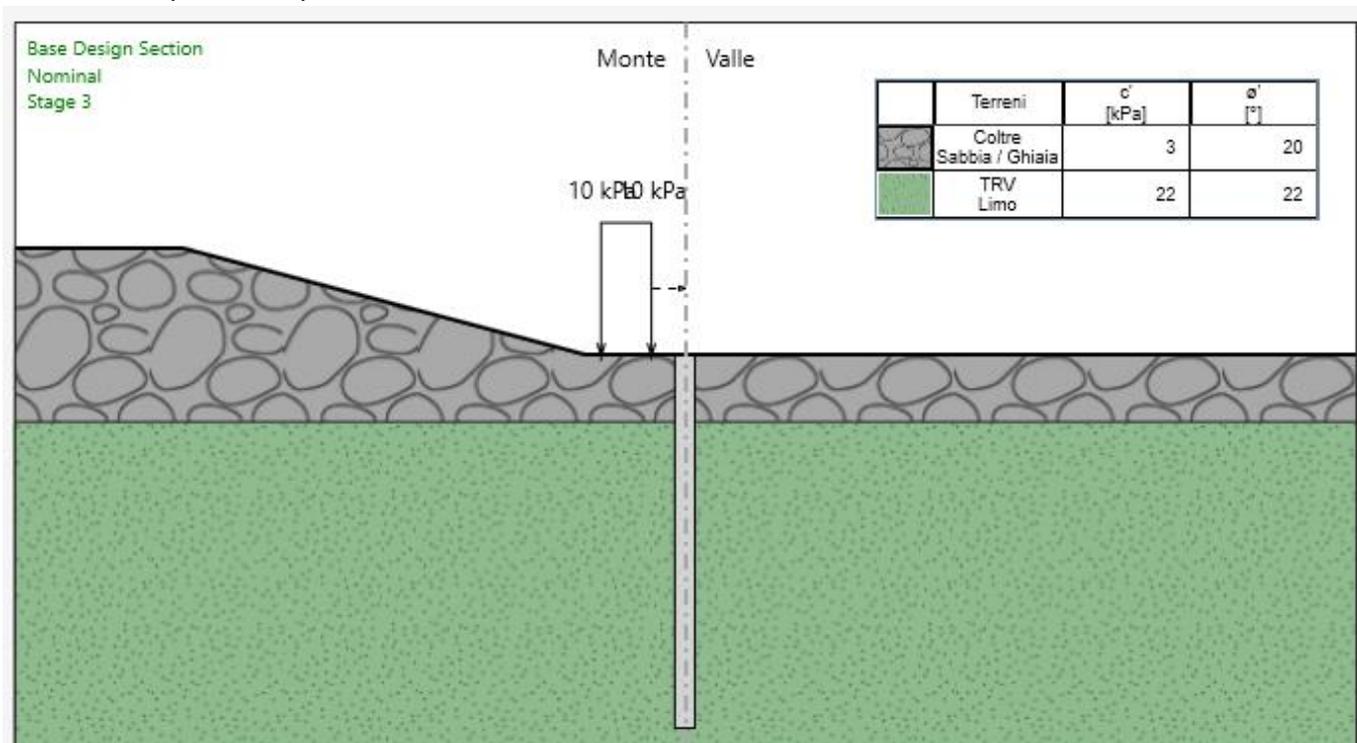
### 1) Geostatico



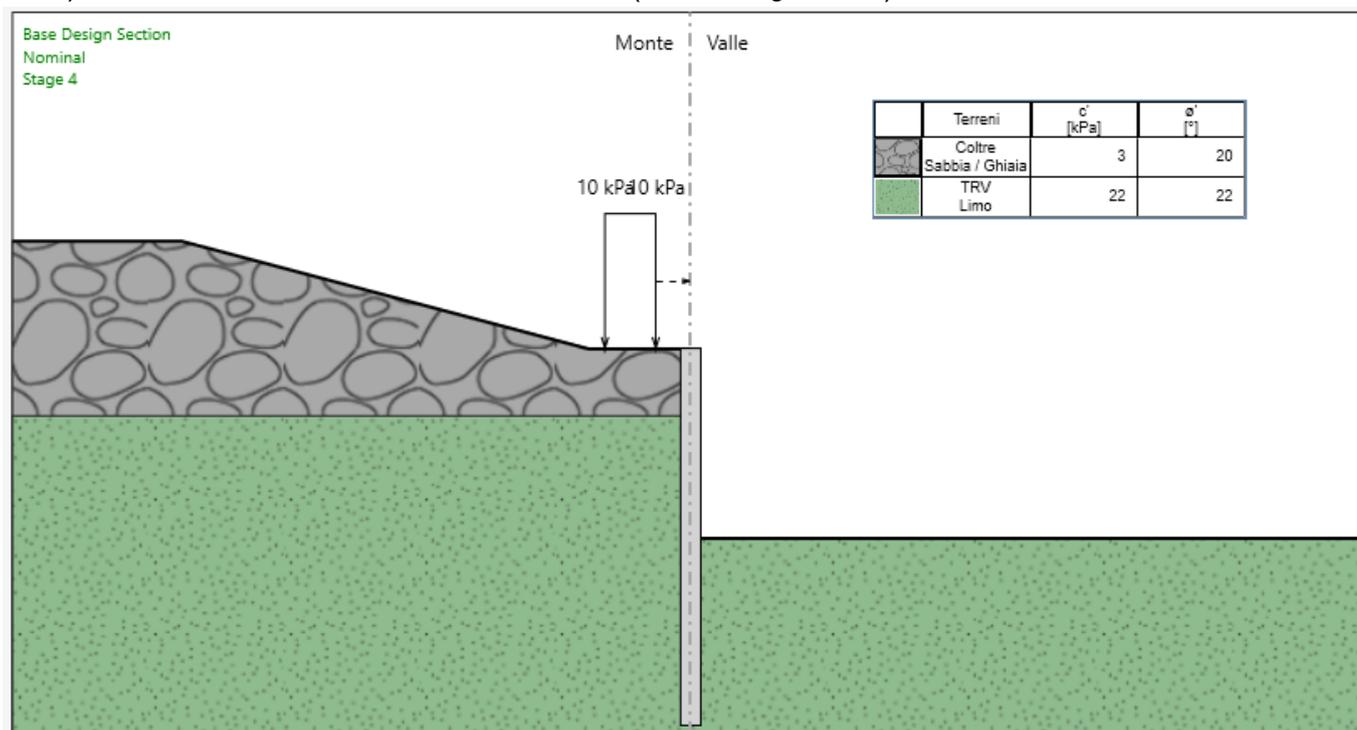
### 2) Prescavo per realizzazione paratia di pali



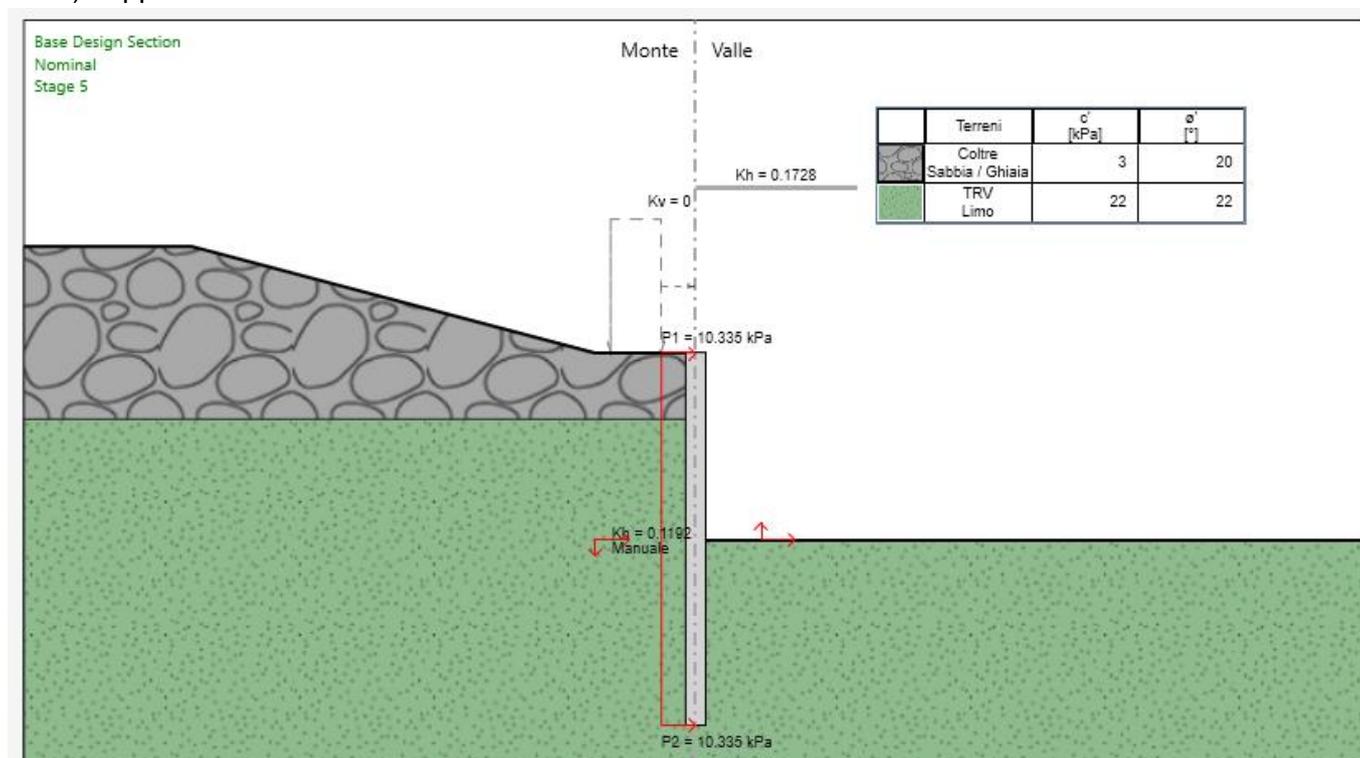
- 3) Applicazione del carico dovuto alla presenza dei macchinari di cantiere (10 kPa) e realizzazione della paratia di pali di diametro 600 mm e interasse 0.80 m



- 4) Scavo fino a "Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)", di 5.63 m



### 5) Applicazione azione sismica



Applicando l'azione sismica al modello si ha:

$$U_s = 0.005 H_{scavo} = 0.028;$$

$\alpha$  è posto cautelativamente pari a 1;

$$\beta \text{ è pari a } 0.133 \ln(5/U_s) = 0.6896.$$

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

$\beta =$   >

$\alpha =$   >

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

### 11.3 Risultati delle analisi

A seguire si riportano i diagrammi del momento flettente e del taglio ottenuti dalle analisi.

	Sollecitazioni a metro lineare			Sollecitazioni sul singolo palo	
	M (kNm/m)	z (Mmax) (m)	T (kN/m)	M (kNm)	T (kN)
SLE	76.3	6.4	-	61.0	
SLU	101.1	6.4	50.2	80.9	40.2
SLV	326.0	7.2	133.6	260.8	106.9

Tabella 11-4 – Riepilogo sollecitazioni.

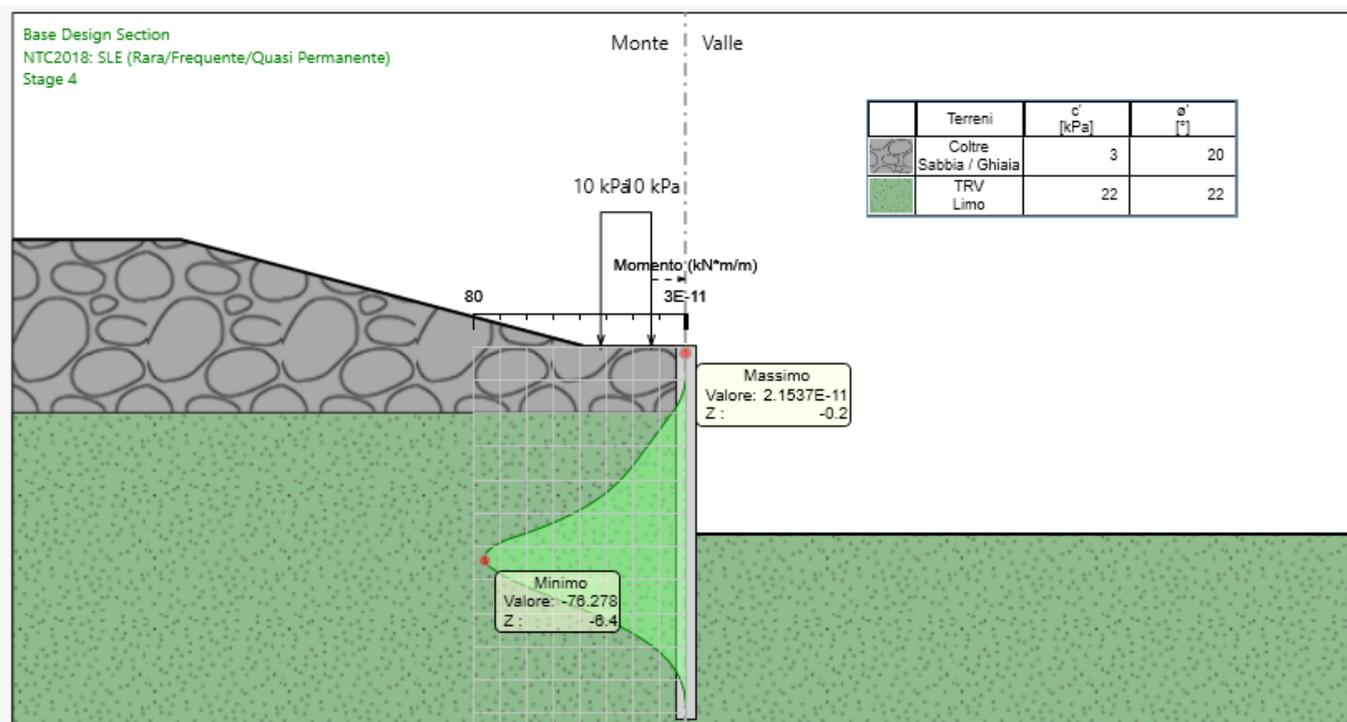


Figura 11-2 – Momento SLE.

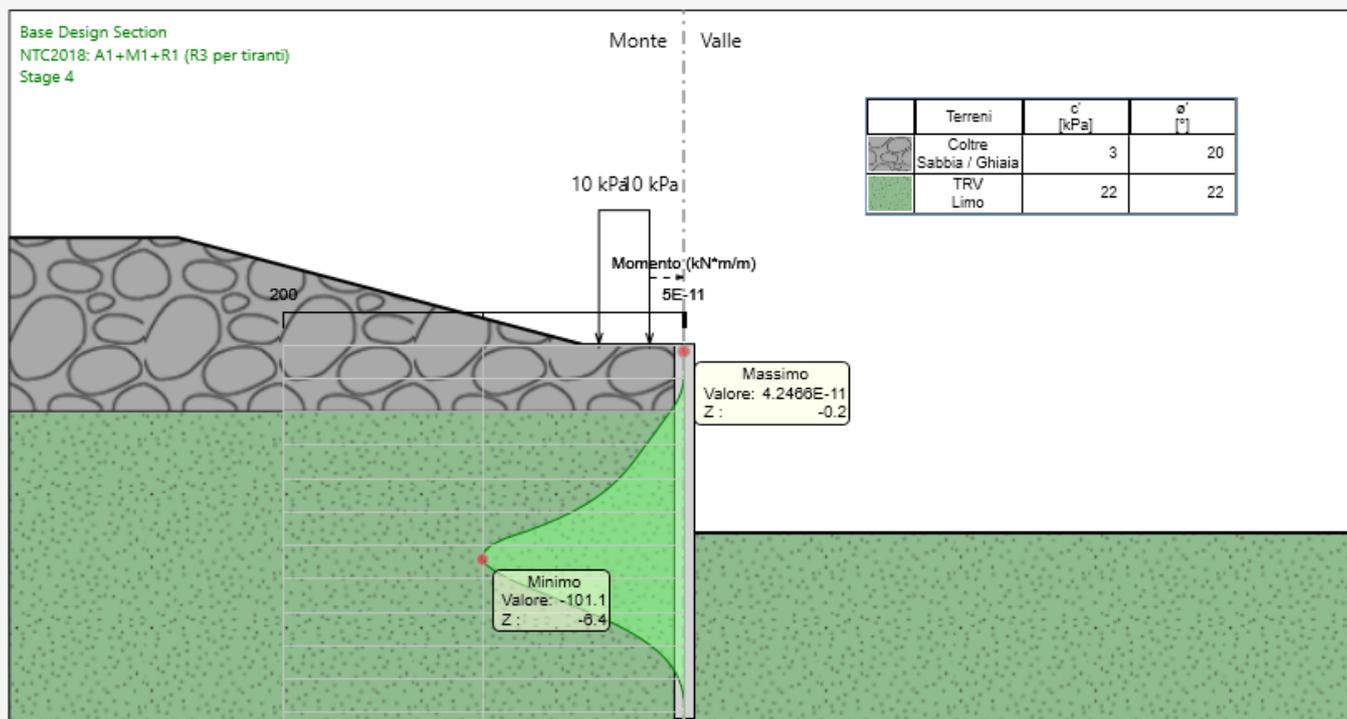


Figura 11-3 – Momento SLU.

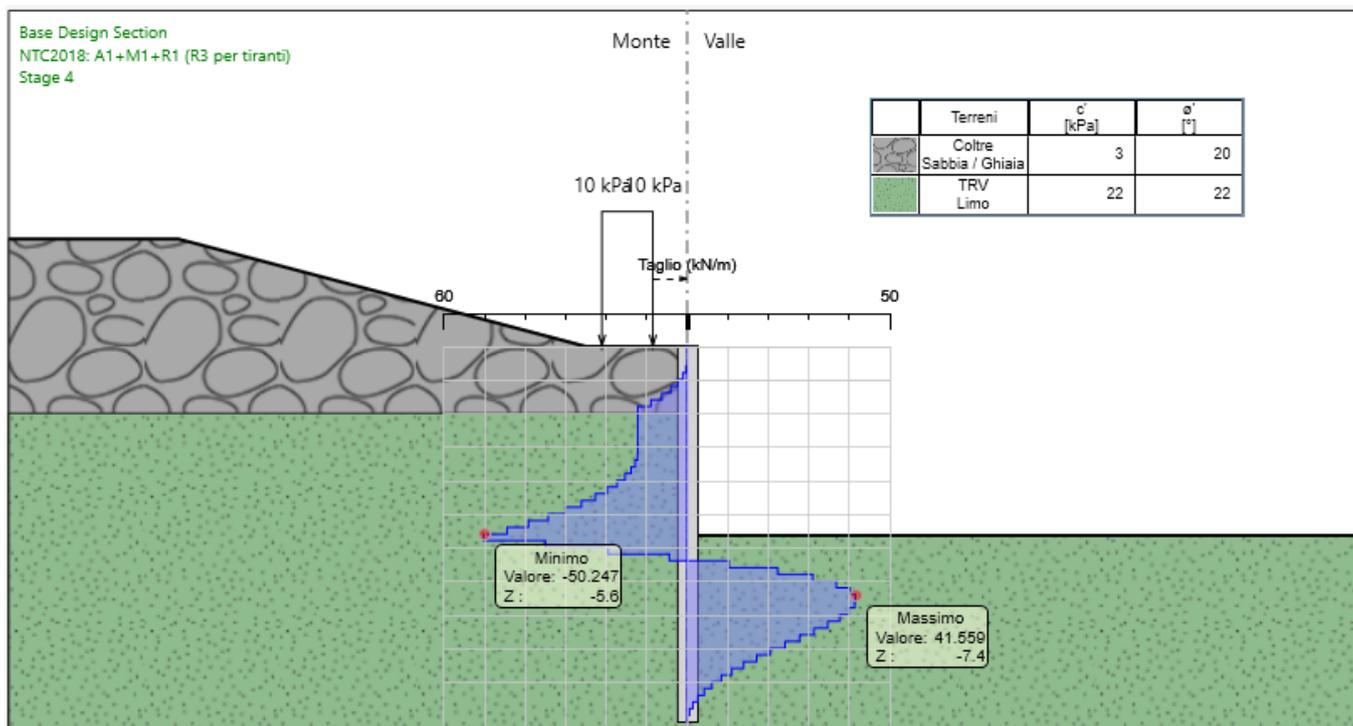


Figura 11-4 – Taglio SLU.

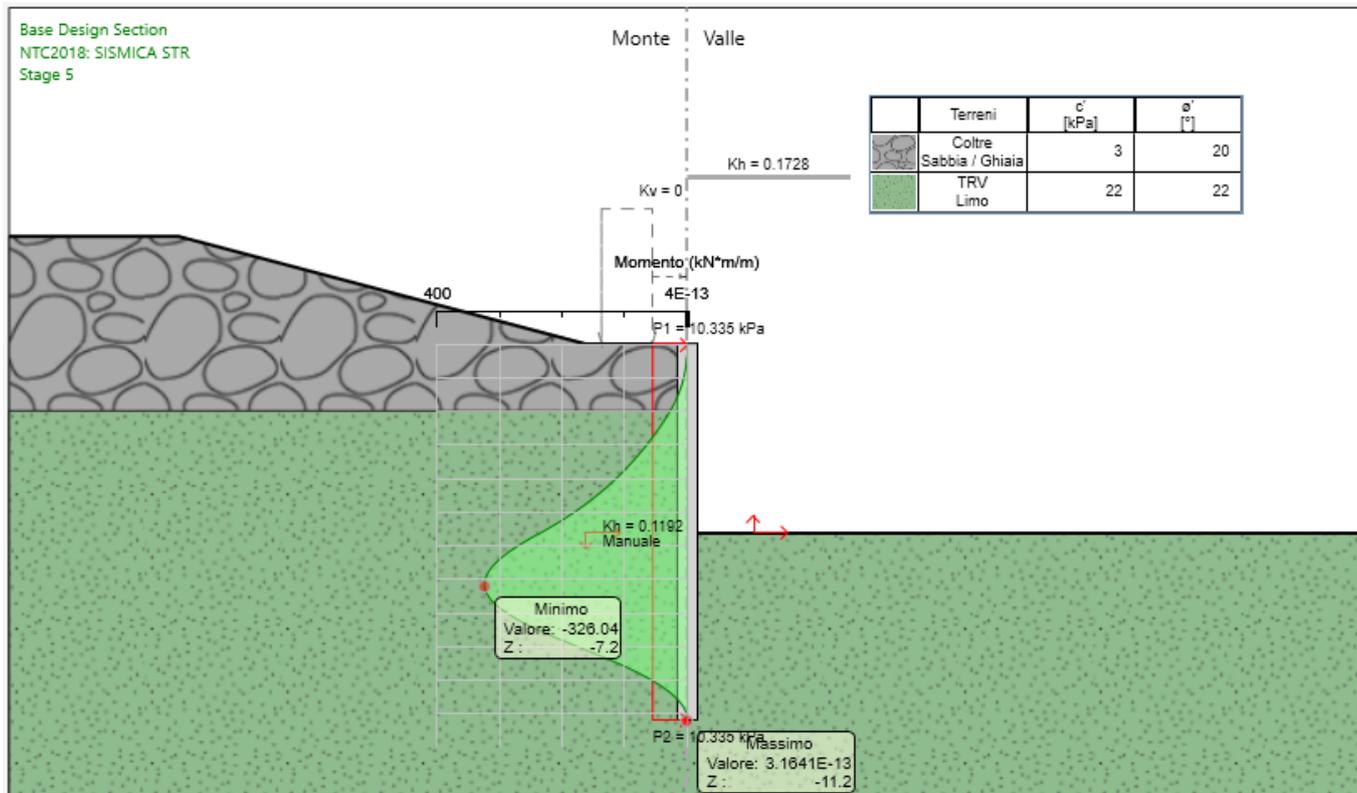


Figura 11-5 – Momento SLV.

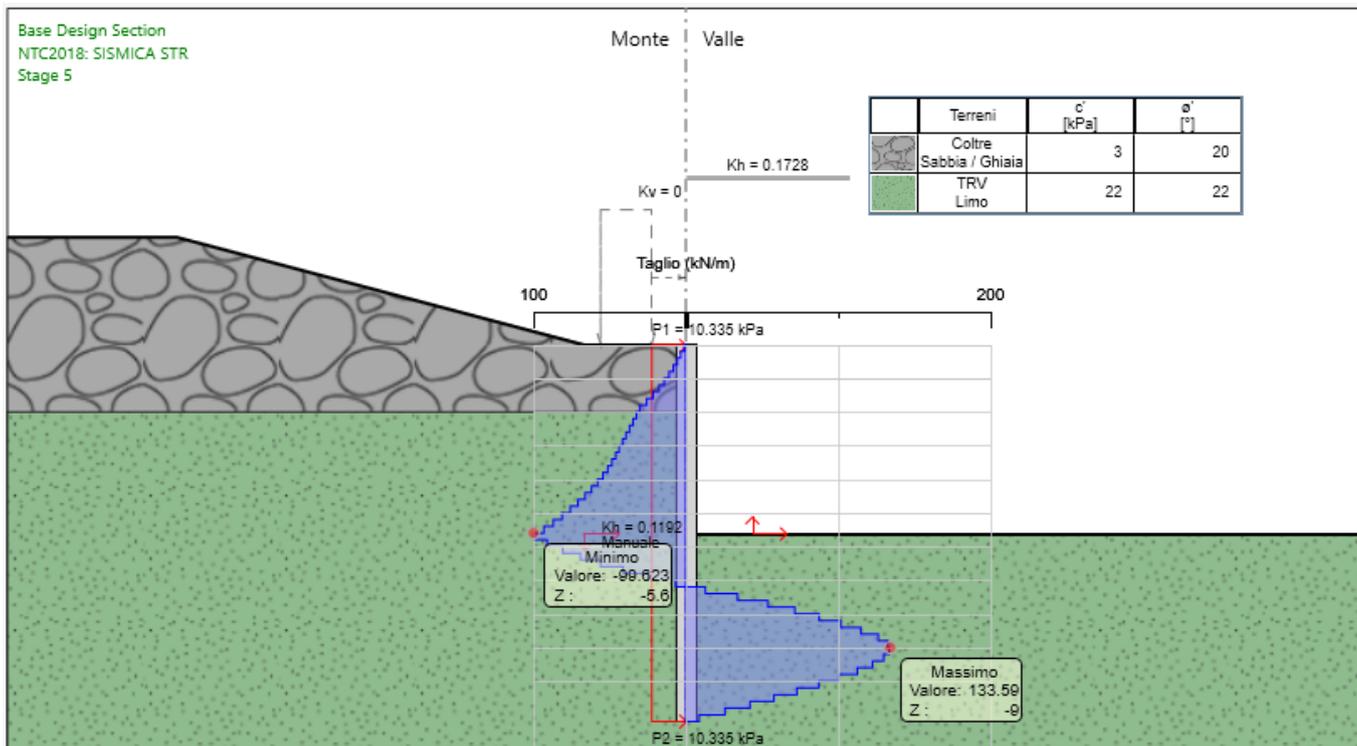


Figura 11-6 – Taglio SLV.

## 11.4 Verifiche geotecniche

### 11.4.1 Verifiche SLE

Nell'immagine che segue si riporta lo spostamento della paratia in fase 4.

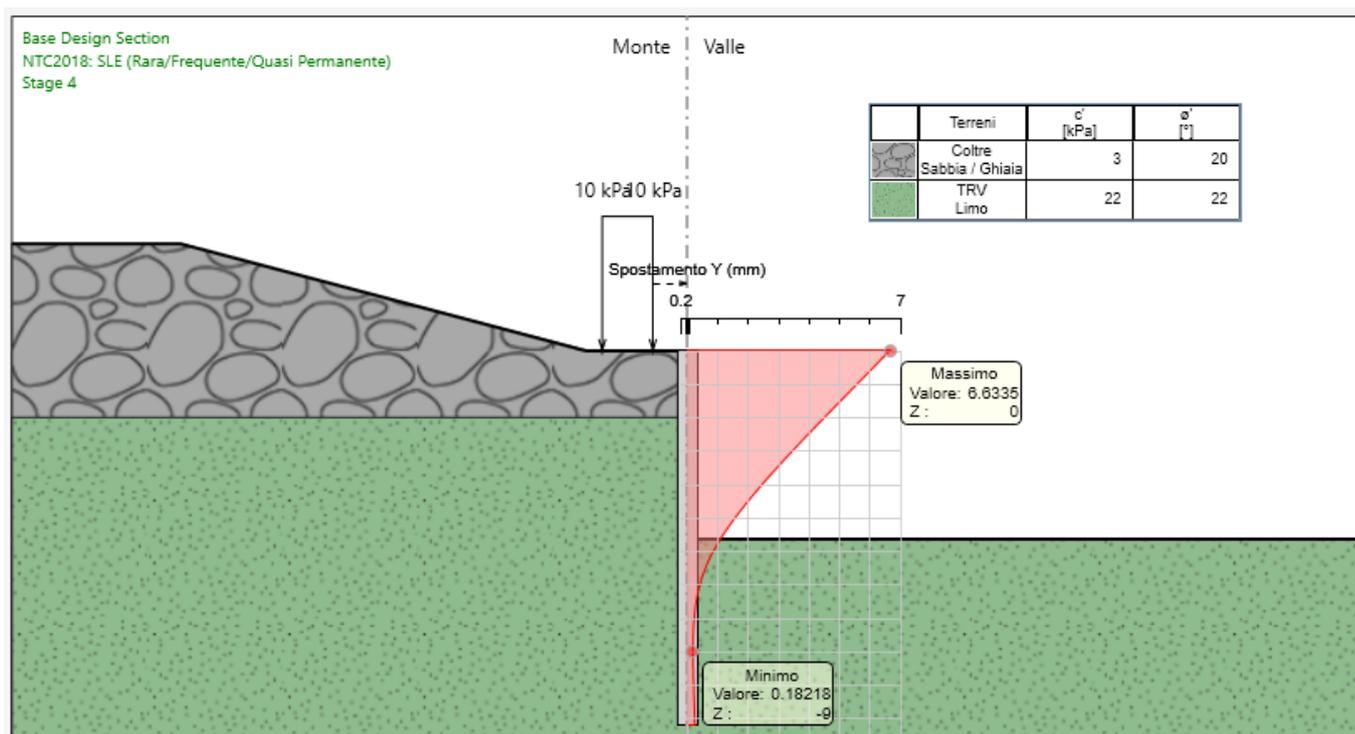
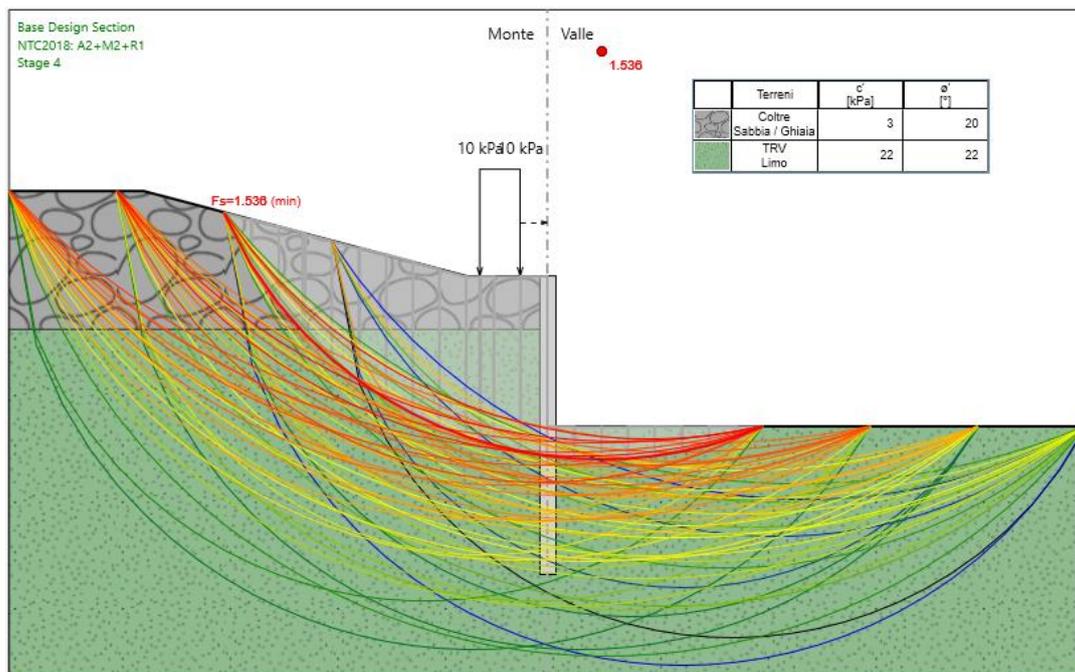


Figura 11-7 – Deformata dell'opera di sostegno nella configurazione di fondo scavo.

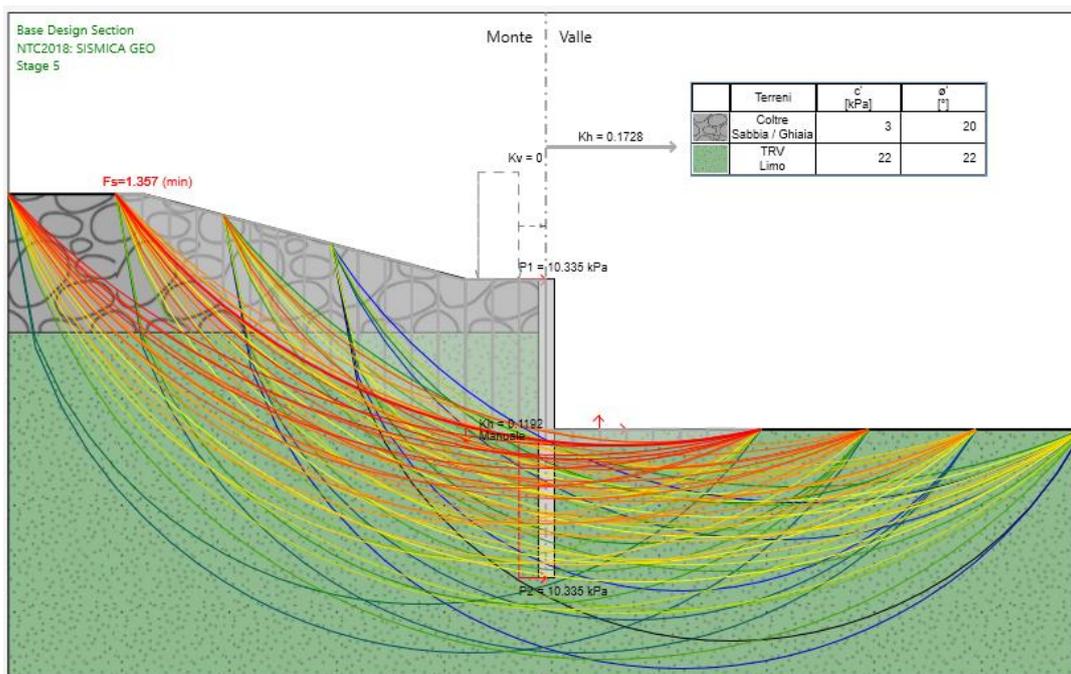
La deformata dell'opera rientra nei limiti progettuali stabiliti.

### 11.4.2 Verifica di stabilità globale

CONDIZIONI STATICHE: verifica soddisfatta (1.536 > 1.1)



CONDIZIONI SISMICHE: verifica soddisfatta (1.357 > 1.2)



### Summary for DA <NTC2018: A2+M2+R1>

Parete <Left Wall>

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.21 D.A. NTC2018:  
A2+M2+R1 (Stage 2)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.55 D.A. NTC2018:  
A2+M2+R1 (Stage 4)

### Summary for DA <NTC2018: SISMICA GEO>

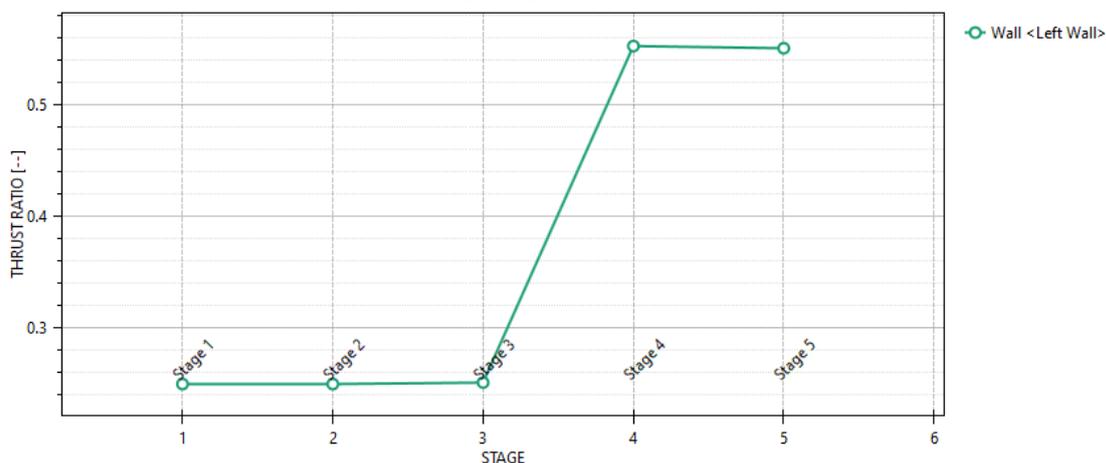
Parete <Left Wall>

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.17 D.A. NTC2018:  
SISMICA GEO (Stage 2)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.52 D.A. NTC2018:  
SISMICA GEO (Stage 5)

#### Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

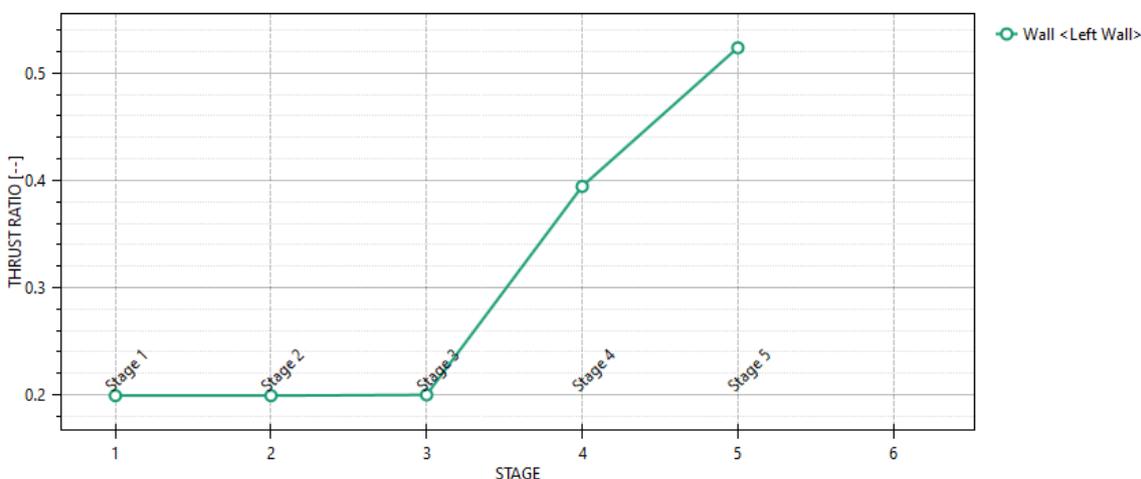
D.A. <NTC2018: A2+M2+R1>



Design Assumption: NTC2018: A2+M2+R1 | Scegli grafico: Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

#### Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

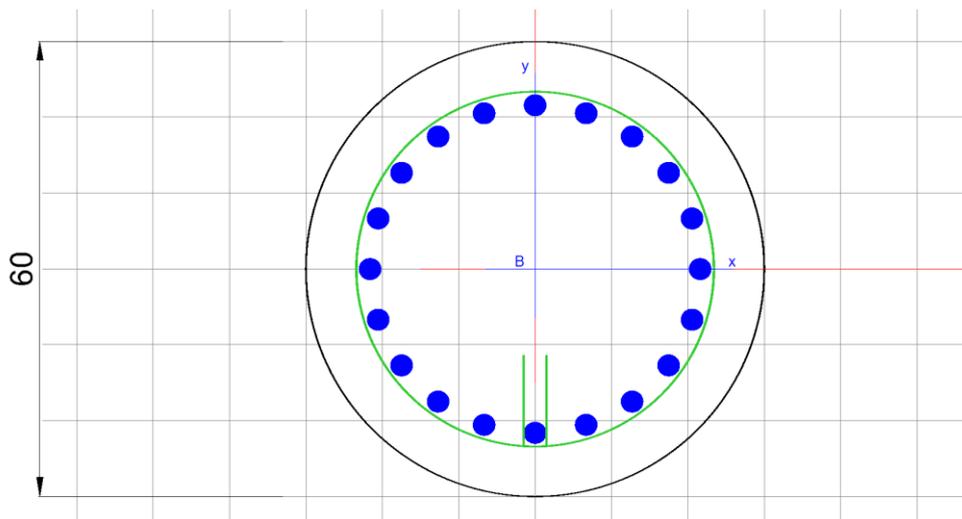
D.A. <NTC2018: SISMICA GEO>



Design Assumption: NTC2018: SISMICA GEO | Scegli grafico: Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

### 11.1 Verifiche strutturali

Per l'armatura della paratia di pali sono state impiegate 20 barre con diametro  $\varnothing 24$  mm e una spirale  $\varnothing 12/15$  cm.



Si riportano di seguito le verifiche a taglio e a flessione in condizioni statiche e sismiche.

### 11.1.1 Verifica a taglio – condizioni statiche

VERIFICA A TAGLIO - SLU						
r	300	mm				
c	82	mm				
rs	218	mm				
$\alpha$	0.48	rad				
Atot	282743	mm <sup>2</sup>				
A	221568	mm <sup>2</sup>				
h	559.9	mm	Rck	30		
d	438.8	mm	fck	24.9		
bw	505.0	mm	$\gamma_c$	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.675			N.ro		area_ferro
k	1.675		As	20	$\phi$	24.0
Asl	9048	mm <sup>2</sup>				
Asl/(bw·d)	0.041					
$\rho_1$	0.020		Vrd	163.9	kN	
vmin	0.379		Ved	40	kN	
vmin·bw·d	83898	N	Vrd/Ved	4.08	-	
Vrd	163863	N				
Non necessita di armatura a taglio						

### 11.1.2 Verifica a taglio – condizioni sismiche

VERIFICA A TAGLIO - SLV						
r	300	mm				
c	82	mm				
rs	218	mm				
$\alpha$	0.48	rad				
Atot	282743	mm <sup>2</sup>				
A	221568	mm <sup>2</sup>				
h	559.9	mm	Rck	30		
d	438.8	mm	fck	24.9		
bw	505.0	mm	$\gamma_c$	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.675			N.ro		area_ferro
k	1.675		As	20	$\phi$	24.0
Asl	9048	mm <sup>2</sup>				
Asl/(bw·d)	0.041					
$\rho_1$	0.020		Vrd	163.9	kN	
vmin	0.379		Ved	107	kN	
vmin·bw·d	83898	N	Vrd/Ved	1.53	-	
Vrd	163863	N				
Non necessita di armatura a taglio						

La sezione analizzata non necessita armatura a taglio per entrambe le configurazioni (statica e sismica), tuttavia si prevede una spirale  $\phi 12$  passo 15 cm a favore di sicurezza.

### 11.1.3 Verifiche a flessione - condizioni statiche

#### DATI GENERALI SEZIONE CIRCOLARE DI PALO IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Palo
Forma della sezione:	Circolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resistenza compress. di progetto fcd:	14.16 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	7.08 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.56 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	15.0 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	15.0 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	11.3 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa	

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	60.0	cm
Barre circonferenza:	20Ø24	(90.5 cm <sup>2</sup> )
Coprif.(dal baric. barre):	8.4	cm

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.      N                      Mx                      Vy                      MT

NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 88 N 0 001	C	33 di 37

1	0.00	80.90	40.20	0.00
---	------	-------	-------	------

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	61.00

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	61.00 (81.30)

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	61.00 (81.30)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	4.4	cm
Interferro massimo barre longitudinali:	0.0	cm [deve essere < 0.0]
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

#### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
As Tot. Area complessiva armature long. pilastro [cm<sup>2</sup>]. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	0.00	80.90	-0.09	599.66	7.412	8.5	---	---	90.5 (8.5)

#### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione

NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 88 N 0 001	C	34 di 37

Yc max      Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min      Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Ys min      Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max      Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
Ys max      Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	0.00214	21.6	-0.00488	-21.6

#### ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe/legature:      12      mm  
Passo staffe:                      15.0      cm      [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]  
N.Bracci staffe:                    2  
Area staffe/m :                      15.1      cm<sup>2</sup>/m      [Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm<sup>2</sup>/m]

#### VERIFICHE A TAGLIO

Ver              S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
Ved             Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vrd             Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]  
Vcd             Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd             Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]  
bw|z            Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Braccio coppia interna  
Ctg             Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo  
Acw             Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast             Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	ASt
1	S	40.20	477.30	535.31	53.9 36.3	2.500	1.000	1.1

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver              S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
Sc max        Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])  
Yc max        Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sc min        Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])  
Yc min        Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
Ss min        Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]  
Ys min        Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
Dw Eff.       Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
Ac eff.        Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
As eff.        Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.74	-30.0	0.00	30.0	-51.2	21.6	21.0	1277	40.7	----

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver              Esito verifica  
e1              Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
e2              Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
K2              = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2\*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
Kt              fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
e sm            Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
srm            Distanza massima in mm tra le fessure  
wk            Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
M fess.        Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
--------	-----	----	----	----	----	----	------	-----	----	---------

NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 88 N 0 001	C	35 di 37

1	S	-0.00033	0.00021	0.50	0.60	0.000154 (0.000154)	373	0.057 (990.00)	81.30
---	---	----------	---------	------	------	---------------------	-----	----------------	-------

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.74	-30.0	0.00	30.0	-51.2	21.6	21.0	1277	40.7	---

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00033	0.00021		0.50	0.60	0.000154 (0.000154)	373	0.057 (0.40)	81.30

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.74	-30.0	0.00	30.0	-51.2	21.6	21.0	1277	40.7	---

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00033	0.00021		0.50	0.40	0.000154 (0.000154)	373	0.057 (0.30)	81.30

### 11.1.4 Verifiche strutturali – condizioni sismiche

#### DATI GENERALI SEZIONE CIRCOLARE DI PALO IN C.A.

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Palo
Forma della sezione:	Circolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resistenza compress. di progetto fcd:	14.16 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	7.08 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.56 MPa	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa	



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)  
 OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b

NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
 MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 88 N 0 001	C	36 di 37

Diagramma tensioni-deformaz.:

Bilineare finito

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione: 60.0 cm  
 Barre circonferenza: 20Ø24 (90.5 cm<sup>2</sup>)  
 Coprif.(dal baric. barre): 8.4 cm

### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	260.00	106.90	0.00

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.4 cm  
 Interferro massimo barre longitudinali: 0.0 cm [deve essere < 0.0]  
 Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata									
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)									
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)									
Mx re	Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000									
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.									
As Tot.	Area complessiva armature long. pilastro [cm <sup>2</sup> ]. (tra parentesi l'area minima di normativa)									
N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	0.00	260.00			1.730	6.2	---	---	90.5 (8.5)

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione					
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)					
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)					
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)					
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)					
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)					
N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00168	30.0	0.00109	21.6	-0.00196	-21.6

### ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)  
 OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3b**

NV65: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
 MU88N - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 88 N 0 001	C	37 di 37

Diametro staffe/legature: 12 mm  
 Passo staffe: 15.0 cm [Passo massimo di normativa = 19.2 cm]  
 N.Bracci staffe: 2  
 Area staffe/m : 15.1 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima NTC = 2.9 cm<sup>2</sup>/m]

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
 Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
 Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]  
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]  
 Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]  
 bw|z Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Braccio coppia interna  
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	ASt
1	S	106.90	464.29	522.82	53.7 35.4	2.500	1.000	3.1