

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

Opere di sostegno viabilità - Lotto 3a

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 26 CL MU17I0 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	M.Salleolini 	Apr-2020	A.Barreca 	Apr-2020	F.Sacchi Apr-2020 

File: RS3T.3.0.D.26.CL.MU.17.I.0.001.A

n. Elab.:

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I  
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	1 di 61

## INDICE

<b>INDICE</b> .....	1
1   PREMESSA.....	4
1.1   DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
3   DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
4   UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	7
5   CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	8
5.1   CALCESTRUZZO.....	8
5.2   ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA B450 C.....	10
6   INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	11
7   CRITERI DI VERIFICA.....	13
7.1   VERIFICHE GEOTECNICHE (SLU) IN CONDIZIONI STATICHE.....	13
7.1.1 <i>VERIFICA A SCORRIMENTO</i> .....	15
7.1.2 <i>VERIFICA A RIBALTAMENTO</i> .....	16
7.1.3 <i>VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE</i> .....	16
7.1.4 <i>VERIFICA A STABILITÀ GLOBALE</i> .....	16
7.2   VERIFICHE GEOTECNICHE (SLV) IN CONDIZIONI SISMICHE.....	17
7.3   VERIFICHE GEOTECNICHE (SLE).....	19
7.3.1 <i>SPOSTAMENTI ATTESI IN CAMPO SLE</i> .....	19
7.4   VERIFICHE STRUTTURALI SLU.....	20
7.4.1 <i>CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.</i> .....	20
7.4.2 <i>VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE - PRESSOFLESSIONE</i> .....	20
7.4.3 <i>VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO</i> .....	21
7.5   VERIFICHE STRUTTURALI (SLE).....	23

NV01: Muro di sottoscarpa MU171  
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	2 di 61

7.5.1	VERIFICHE ALLE TENSIONI.....	23
7.5.2	VERIFICHE A FESSURAZIONE.....	24
8	ANALISI DEI CARICHI .....	26
8.1	PESI PROPRI.....	26
8.2	CARICHI PERMANENTI.....	27
8.2.1	PARAPETTO METALLICO .....	27
8.2.2	BARRIERA DI SICUREZZA.....	27
8.2.3	SPINTA DEL TERRENO.....	27
8.3	CARICHI VARIABILI.....	29
8.3.1	CARICHI MOBILI DA TRAFFICO .....	29
8.4	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	30
8.4.1	VITA NOMINALE .....	30
8.4.2	CLASSE D'USO.....	30
8.4.3	PERIODO DI RIFERIMENTO .....	30
8.4.4	PARAMETRI SISMICI .....	30
8.5	COMBINAZIONI DI CARICO.....	35
9	PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOTTOSCARPA "TIPO 1" .....	38
9.1	DATI DI INPUT .....	38
9.2	CALCOLO DELLE AZIONI .....	41
9.2.1	FORZE VERTICALI E INERZIALI .....	41
9.2.2	SPINTE IN CONDIZIONE STATICA.....	43
9.2.3	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA + .....	44
9.2.4	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA - .....	45
9.3	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	46
9.3.1	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE .....	46

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b>  <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>  <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b></p> <p><b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b></p>												
<p>NV01: Muro di sottoscarpa MU17I</p> <p>Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3T</td> <td>30 D 78</td> <td>CL</td> <td>MU 17 I 0 001</td> <td>A</td> <td>3 di 61</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	3 di 61
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	3 di 61								

9.3.2	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE .....	48
9.3.3	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE.....	52
9.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	56
9.4.1	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.....	56
9.4.2	VERIFICHE SLU .....	58
9.4.3	VERIFICHE SLE TENSIONE .....	60
9.4.4	VERIFICHE SLE FESSURAZIONE.....	61

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	4 di 61

## 1 PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo della direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo, nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Lercara Dir. – Vallelunga (Lotto 3a).

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche del muro di sottoscarpa MU17I che si sviluppa dal km 0+700.90 al km 0+779.61 (Figura 1-1, Figura 1-2).

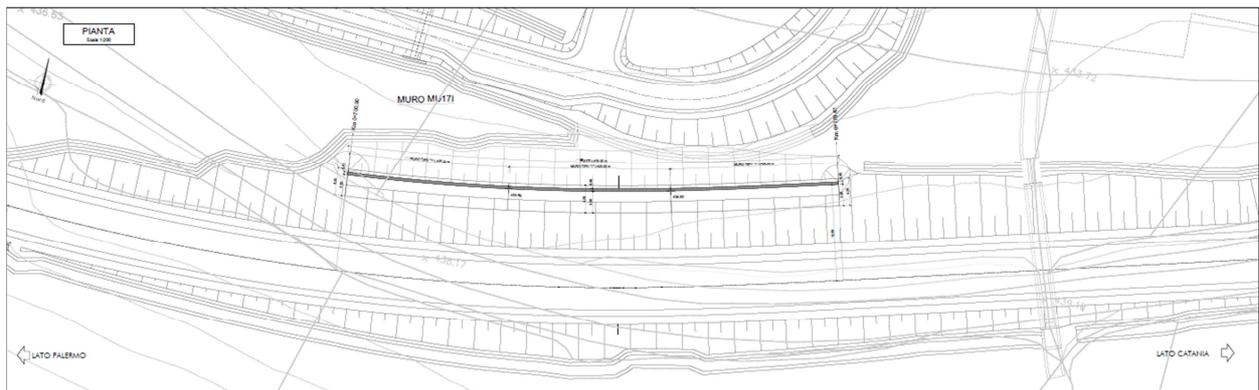


Figura 1-1 – NV01: Muro di sottoscarpa MU17I - Pianta.

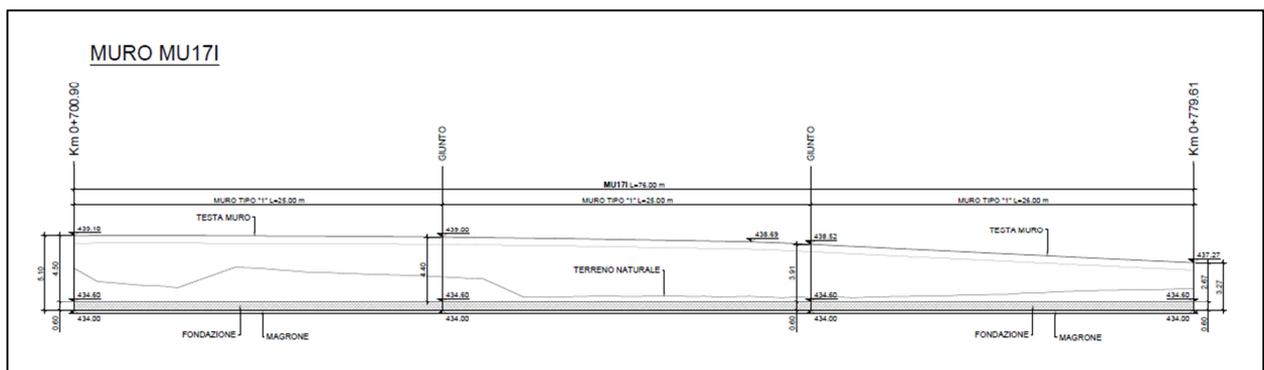


Figura 1-2 – NV01: Muro di sottoscarpa MU17I - Prospetto.

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

NV01: Muro di sottoscarpa MU171

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	5 di 61

L'altezza del muro è variabile da 2.00 m a 4.50 m con lo sviluppo dell'opera stessa, con spessore del paramento in testa di 0.4m, spessore della soletta di fondazione di 0.6m e larghezza della stessa di 4.20m.

Si individua la tipologia di "muri di sottoscarpa" le cui caratteristiche sono di seguito riassunte:

- muro "tipo 1", fino ad altezze del paramento di 4.50 metri circa la fondazione del muro è diretta ed è caratterizzata da una lunghezza di 4.20 m e spessore 0.60 m. Il ricoprimento sopra la zattera di valle è pari ad almeno 40 cm. L'altezza del paramento massima è pari a 4.50 m (Figura 1-3).

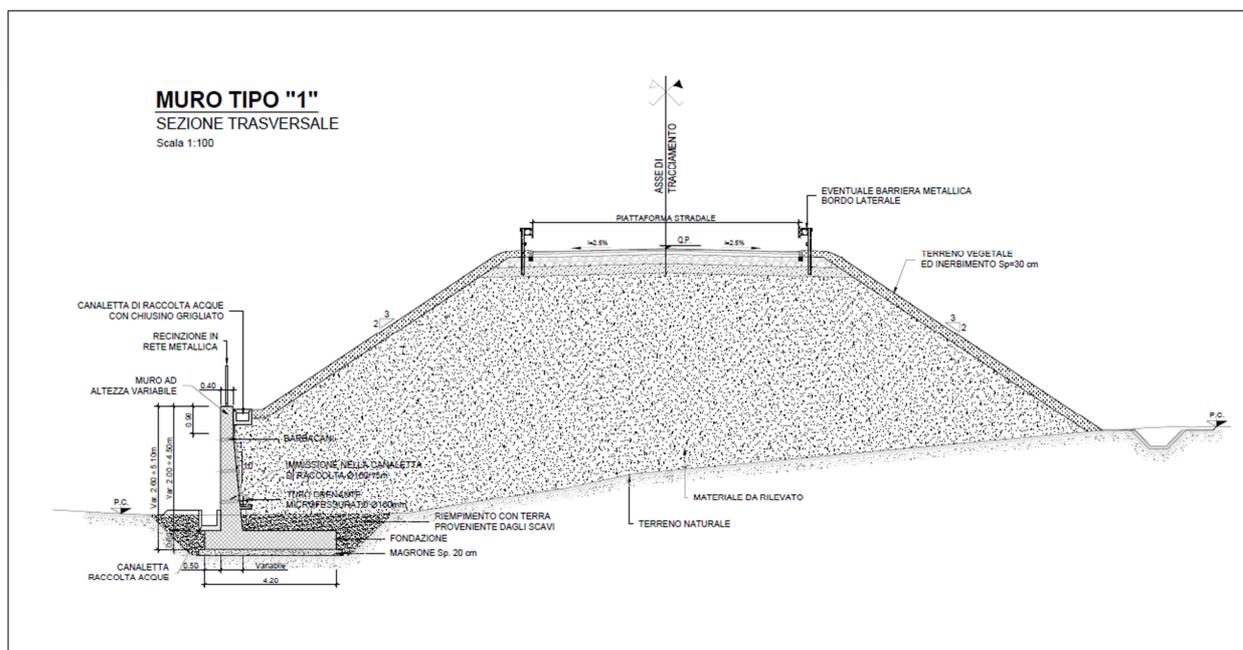


Figura 1-3 – NV01: Muro di sottoscarpa MU171 - Sezione trasversale muro tipo 1.

Di seguito si svolgerà la verifica per ogni tipo di muro precedentemente descritto caratterizzato dall'altezza di paramento massima.

 <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 DI LINEA</b>												
NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3T</td> <td>30 D 78</td> <td>CL</td> <td>MU 17 I 0 001</td> <td>A</td> <td>6 di 61</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	6 di 61
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	6 di 61								

## 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

Il documento è corredato dai seguenti allegati:

- RS3T.3.0.D.26.PZ.MU.17.I.0.002.A: Pianta, prospetto e sezioni
- RS3T.3.0.D.26.TT.OC.00.0.0.006: "Opere civili – Elaborati generali OO. CC. – Tabella incidenze armature Opere Civili – Lotto 3a"
- RS3T.3.0.D.26.GE.GE.00.0.0.001: "Geotecnica – Elaborati generali – *Relazione geotecnica generale - opere all'aperto – Lotto 3a*"

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

#### 4 UNITA' 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 <sup>-2</sup> m
<b>mm</b> (millimetro)	10 <sup>-3</sup> 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

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ MPa} \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$$

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> )

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

$\tau$ (tau)	tensione tangenziale	(N / mm <sup>2</sup> )
$\varepsilon$ (epsilon)	deformazione	(m/m)
$\phi$ (fi)	angolo di resistenza	(° 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: fondazione ed elevazione muro di sostegno

Classe di resistenza = C32/40;

R<sub>ck</sub> = resistenza cubica = 40 N/mm<sup>2</sup>;

f<sub>ck</sub> = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83 R<sub>ck</sub> = 33.20 N/ mm<sup>2</sup>;

f<sub>cm</sub> = resistenza cilindrica media = f<sub>ck</sub> + 8 = 41.20 N/ mm<sup>2</sup>;

f<sub>cd</sub> =  $\alpha_{cc}$  f<sub>ck</sub>/γ<sub>c</sub> = 18,81 N/mm<sup>2</sup>;

f<sub>ctm</sub> = resistenza a trazione media = 0.30 x f<sub>ck</sub><sup>2/3</sup> = 3.10 N/ mm<sup>2</sup>;

f<sub>cfm</sub> = resistenza a traz. per flessione media = 1.20 x f<sub>ctm</sub> = 3.72 N/ mm<sup>2</sup>;

f<sub>cfk</sub> = resistenza a traz. per flessione carati. = 0.70 x f<sub>cfm</sub> = 2.60 N/ mm<sup>2</sup>;

E<sub>cm</sub> = modulo elast. tra 0 e 0.40f<sub>cm</sub> = 22000 x (f<sub>cm</sub>/10)<sup>0.3</sup> = 33642.78 N/ mm<sup>2</sup>;

Tolleranza di posa del copriferro = 10 mm;

Classe di esposizione XC4

Copriferro minimo c<sub>min</sub> = 45 mm

Condizioni ambientali: aggressive

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

### CALCOLO COPRIFERRO - § C4.1.6.1.3 ISTRUZIONI NTC 2018

- Elemento strutturale: fondazione ed elevazione muro di sostegno – muro tipo 1

Diametro (o diametro equivalente) barre longitudinali:	20	[mm]
Diametro staffe:	10	[mm]
Classe Calcestruzzo:	C32/40	
Condizioni ambientali:	Aggressive	
Vita nominale costruzione:	50	[anni]
Tolleranza di posa:	10	[mm]
<b>Copriferro staffe:</b>		
Copriferro minimo $c_{min}$ :	35	[mm]
Copriferro nominale Netto Staffe:	45	[mm]
<b>Copriferro barre longitudinali:</b>		
Copriferro nominale Netto barre longitudinali:	65	[mm]
<b>Copriferro nominale dal Baricentro della Barra longitudinale:</b>	<b>77</b>	<b>[mm]</b>

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

## 5.2 ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA B450 C

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

$f_{v\ nom}$	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 $f_{yk}$	$\geq f_{v\ nom}$	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 $(A_{gt})_k$ :	$\geq 7,5\ %$	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:

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

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

## 6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica: Si riportano di seguito i terreni su cui poggiano i muri di sostegno lungo il tracciato, con i parametri fisici e meccanici ad essi assegnati. In base ai dati a disposizione sono stati scelti dei valori cautelativi per i parametri di calcolo. L'inclinazione del rilevato a monte è apri a circa  $\beta = 25^\circ$ .

Unità litologiche da p.c.	da [m]	a [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [kPa]	$\varphi'_k$ [°]	$c_u$ [kPa]	$E_0$ [MPa]
Coltre sup.	0	5.00	19	5	25	-	50
TRVa	5.00	-	21	0	39	-	800

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

In cui:

$\gamma$  = peso specifico del terreno;

$c'_k$  = coesione efficace;

$\varphi'_k$  = angolo d'attrito efficace;

$c_u$  = coesione non drenata;

$E_0$  = Modulo dinamico del terreno;

La falda è posta a circa 5.00 metri dal piano campagna.

Per le caratteristiche dei rilevati stradali si assumono i seguenti parametri:

- peso volume,  $\gamma = 19$  kN/m<sup>3</sup>;

- angolo d'attrito,  $\varphi' = 35^\circ$ ;

- coesione efficace  $c' = 0$  kPa.

NV01: Muro di sottoscarpa MU171

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	12 di 61

Per l'inquadramento geotecnico si rimanda alla "Relazione geotecnica generale" e ai relativi profili geotecnici, di cui nella seguente figura si riporta uno stralcio relativo alla zona di interesse.

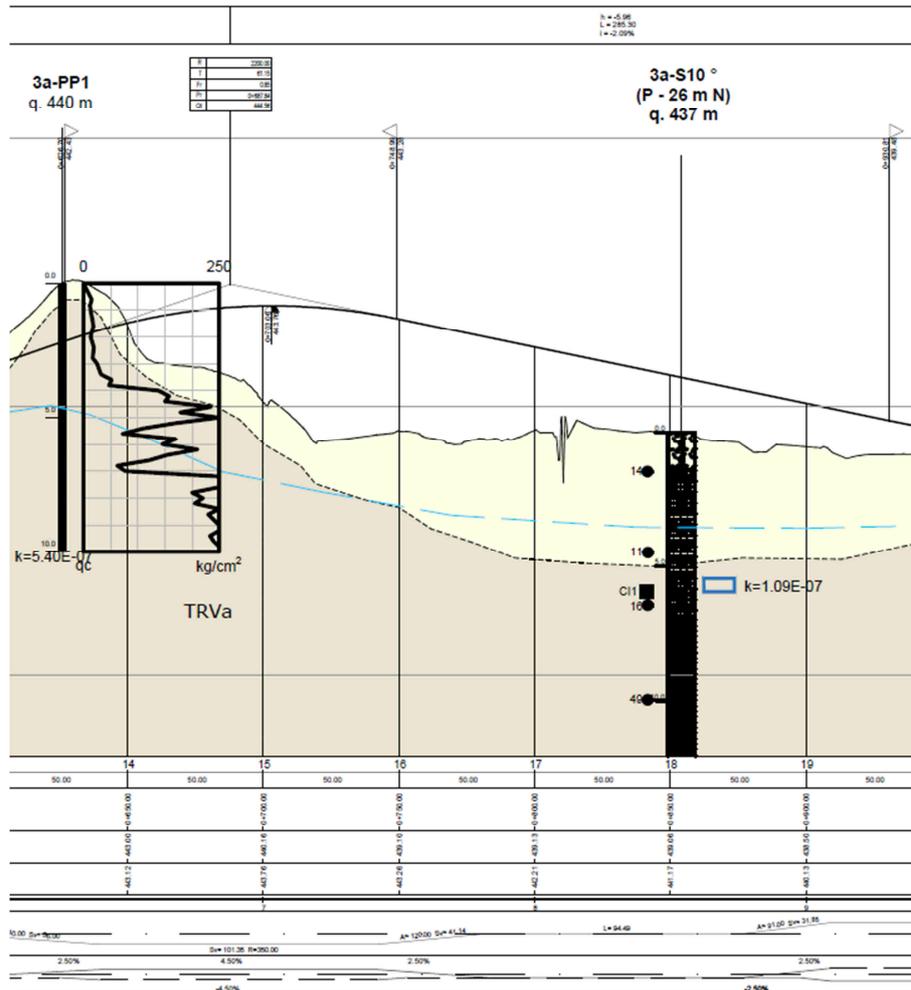


Figura 6-1 – Stralcio del profilo geotecnico.

	<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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

## 7 CRITERI DI VERIFICA

### 7.1 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLU) IN CONDIZIONI STATICHE

Nelle verifiche di sicurezza si è preso in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo sia a breve termine sia a lungo termine. Gli stati limite ultimi delle opere di sostegno si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono le opere stesse.

Per i **muri di sostegno su fondazione diretta** si considerano i seguenti Stati Limite Ultimi:

*SLU di tipo geotecnico (GEO)*

Scorrimento sul piano di posa;

Collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;

Ribaltamento;

Stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.

*SLU di tipo strutturale (STR)*

Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto al §6.8 delle NTC2018, secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC18.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2 con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II e 6.4.VI delle NTC18.

Il progetto e la verifica dei muri di sostegno sono stati effettuati con l'ausilio di fogli di calcolo nei quali vengono implementate tutte le caratteristiche geometriche dei muri insieme ai parametri di resistenza geotecnica.

Per ogni tipologia di muro di sostegno studiata, si è verificato che le caratteristiche geometriche siano tali che il muro possa essere considerato a mensola con suola lunga (vedere Figura 7-1), così come previsto al §3.10.3.3. del Manuale di Progettazione delle Opere Civili (RFI DTC SI MA IFS 001 C).

Si è considerato, pertanto, che la spinta sull'opera di sostegno agisca sul piano verticale cd, assunto come il paramento virtuale del muro.

NV01: Muro di sottoscarpa MU171

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	14 di 61

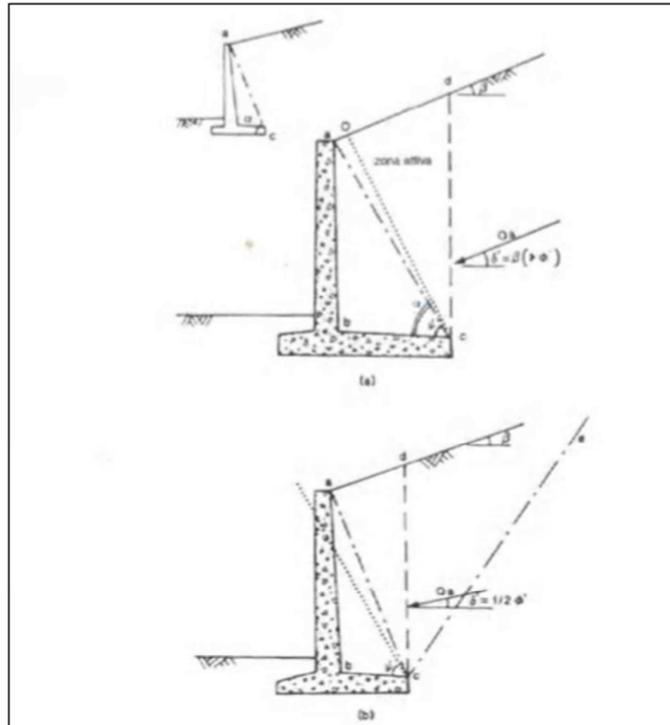


Figura 7-1 – Spinta sui muri di sostegno a mensola con suola lunga (caso a) e con suola corta (caso b).

Su tale paramento l'angolo di inclinazione  $\delta$  della risultante della spinta (applicata ad  $1/3$  dell'altezza del paramento virtuale) si potrà assumere uguale all'angolo di inclinazione  $\beta$  del terrapieno, a meno che  $\beta$  non sia superiore all'angolo di resistenza al taglio del terreno  $\varphi'$ , nel qual caso si potrà assumere  $\delta = \varphi'$ .

Il terreno al di sopra della suola (abcd) è stato considerato stabilizzante nelle verifiche, e ad esso sono da applicarsi le forze d'inerzia in fase sismica.

Inoltre nella verifica a scorrimento e a ribaltamento dei muri di sostegno viene trascurata la resistenza passiva antistante il muro.

Nel nostro caso l'angolo di attrito fondazione-terreno nelle verifiche a scorrimento è pari a

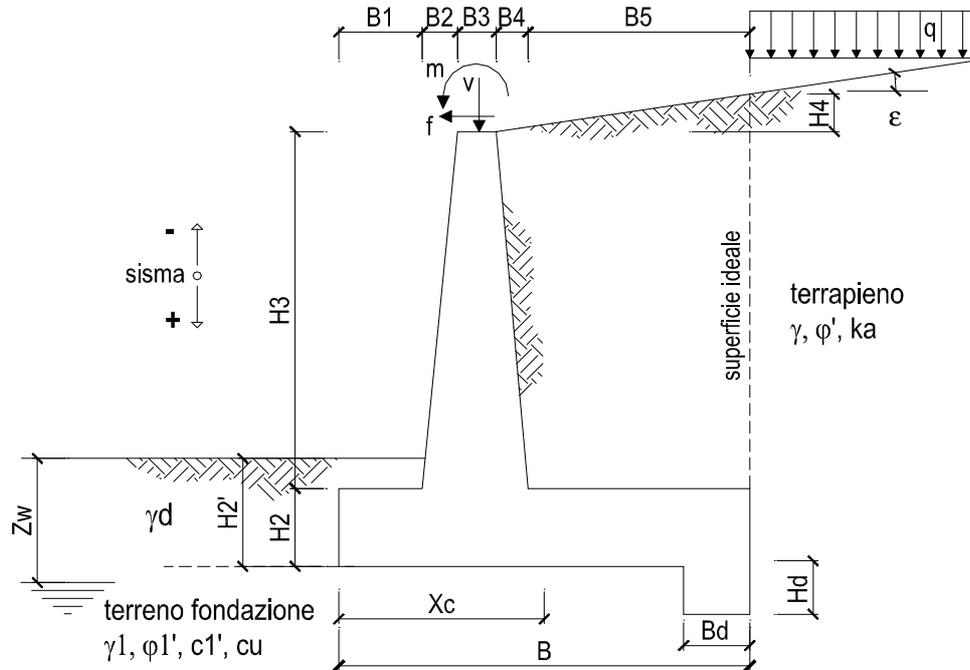
$$\varphi'_{cv} = \arctan (\tan \varphi')$$

Le caratteristiche geometriche sono riportate sinteticamente nel seguente schema:

NV01: Muro di sottoscarpa MU171

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	15 di 61



### 7.1.1 VERIFICA A SCORRIMENTO

La verifica dell'equilibrio allo stato limite di scorrimento viene condotta confrontando l'azione resistente  $R_h$ , pari al prodotto della risultante delle forze verticali per il coefficiente d'attrito con l'azione instabilizzante, pari alla risultante di tutte le componenti orizzontali delle forze agenti sul muro.

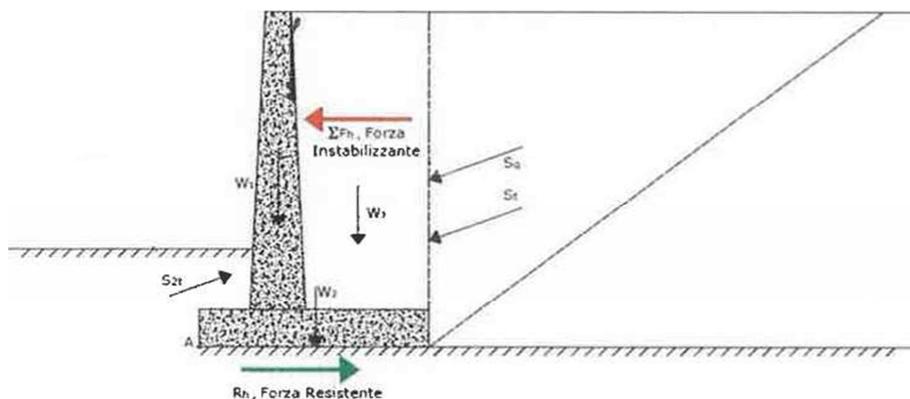


Figura 7-2 – Verifica a scorrimento.

In condizioni sismiche, ai fini del dimensionamento, si fa riferimento ad un sisma agente da monte verso valle del muro, in direzione orizzontale, dal basso verso l'alto e dall'alto verso il basso, in direzione verticale.

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	16 di 61

### 7.1.2 VERIFICA A RIBALTAMENTO

L'equilibrio allo stato limite è condotto confrontando il momento delle forze stabilizzanti e quello delle forze ribaltanti, entrambi rispetto all'estremo A di valle della fondazione.

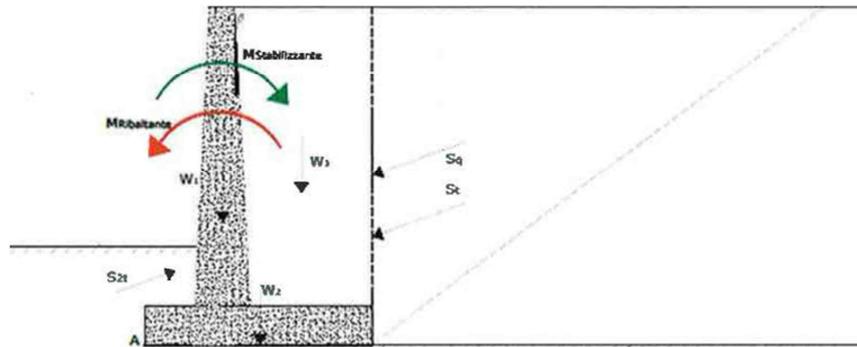


Figura 7-3– Verifica a ribaltamento.

### 7.1.3 VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Per il calcolo della capacità portante della fondazione si è fatto riferimento alla formula di Brinch-Hansen (1970) integrata dai coefficienti sismici di Paolucci e Pecker (1995), di seguito riportata:

$$q_{lim} = c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c z_c + q N_q s_q d_q i_q b_q g_q z_q + 0.5 \gamma B N_s \gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma z_\gamma$$

$$F_s = q_{lim} / q_{es}$$

con  $q_{es} = N / (B \cdot L')$  la pressione dovuta al carico verticale.

### 7.1.4 VERIFICA A STABILITÀ GLOBALE

Per le verifiche di stabilità dei pendii naturali si ricorre, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite, ai cosiddetti metodi delle strisce, in particolare il metodo di Bishop. Si ipotizza una superficie cilindrica di scorrimento potenziale, S, si suddivide idealmente la porzione di terreno delimitato da questa e dalla superficie topografica in n conci e si analizza l'equilibrio limite di ciascun concio.

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

## 7.2 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLV) IN CONDIZIONI SISMICHE

L'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche può essere eseguita mediante i metodi pseudo-statici e i metodi degli spostamenti.

L'analisi pseudo-statica si esegue mediante i metodi dell'equilibrio limite. Il modello di calcolo deve comprendere l'opera di sostegno, il volume di terreno a tergo dell'opera, che si suppone in stato di equilibrio limite attivo, e gli eventuali sovraccarichi agenti sul volume suddetto.

Nell'analisi pseudo-statica, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni

$$k_h = \beta_m \frac{a_g}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

dove:

$\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g$$

dove:

$S$  = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ) di cui al paragrafo 3.2.3.2 delle NTC18.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$\beta_m = 0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD)

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume valore unitario.

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

Nel caso di muri liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di studi specifici, si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

Lo stato limite di ribaltamento deve essere trattato impiegando coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici (paragrafo 7.11.1 delle NTC18) e utilizzando valori di  $\beta_m$  incrementati del 50% rispetto a quelli innanzi indicati e comunque non superiori all'unità.

In condizioni sismiche deve essere soddisfatta la verifica di stabilità del complesso muro – terreno con i criteri indicati al paragrafo 7.11.4 delle NTC2018.

Il calcolo della spinta in condizioni sismiche è stato effettuato impiegando la Teoria di Mononobe – Okabe.

La teoria di Mononobe – Okabe fa uso del metodo dell'equilibrio limite e può essere considerata una estensione della teoria di Coulomb, in cui, alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno, sono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

$$S_{a,t} = \frac{1}{2} \gamma \cdot k_{as} \cdot h^2 \cdot (1 \mp k_v)$$

Il coefficiente  $k_{as}$  è valutato, quindi, secondo tale formulazione, in cui i simboli usati sono:

$\phi$  = angolo di attrito interno del terrapieno;

$\psi$  = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro;

$\beta$  = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del profilo del terrapieno;

$\delta$  = angolo di attrito terrapieno – muro;

$\theta$  = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan\theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\beta \leq \phi - \theta \rightarrow k_{as} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \cdot \sin^2\psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta \rightarrow k_{as} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \cdot \sin^2\psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$k_{ps} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \cdot \sin^2\psi \cdot \sin(\psi + \theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin\phi \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

### 7.3 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLE)

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione [6.2.7] delle NTC 2018:

$$E_d \leq C_d$$

essendo  $E_d$  e  $C_d$  rispettivamente il valore di progetto dell'effetto delle azioni e il prescritto valore limite dell' effetto delle azioni (spostamenti, rotazioni, distorsioni, ecc.).

In particolare, dovranno essere valutati gli spostamenti delle opere di sostegno e del terreno circostante per verificarne la compatibilità con la funzionalità delle opere stesse e con la sicurezza e funzionalità dei manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali.

Per i lavori e le opere da realizzare in prossimità di linee ferroviarie già in esercizio, le verifiche agli SLE dovranno essere condotte assumendo come limite degli spostamenti indotti durante la costruzione sui binari in esercizio i valori limite dei difetti riferiti al secondo livello di qualità descritti nella specifica tecnica RFI TCAR ST AR 01 001 D “Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h” e relativi allegati.

Qualora vengano superati i limiti riferiti al primo livello di qualità, il progetto dovrà prevedere l'esecuzione di un monitoraggio del binario durante la costruzione al fine di controllare l'effettivo andamento delle deformazioni.

#### 7.3.1 SPOSTAMENTI ATTESI IN CAMPO SLE

Gli spostamenti attesi in campo SLE dell'opera di sostegno, con le impostazioni di calcolo assunte (spinta attiva) sono di esigua entità, dell'ordine dei millimetri. Lo spostamento necessario per sviluppare lo stato limite di spinta attiva è legato anche al tipo di cinematismo della parete. Per terreni non coesivi con grado di addensamento medio - alto l'EC7 da spostamenti del seguente ordine di grandezza:

- Rotazione intorno alla sommità 0.002H
- Rotazione intorno alla base 0.005H
- Moto di traslazione 0.001H

	<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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

In cui H è l'altezza del paramento del muro. Altri valori di riferimento sono stati ottenuti da Terzaghi.

Infine, un'altra fonte presa a riferimento è quella del NAFVAC 7.02 (DESIGN MANUAL). La figura riportata nel suddetto manuale mostra anche la curva di sviluppo della spinta in funzione dello spostamento. Anche in questo caso, per sabbia media, risulta ragionevole assumere uno spostamento atteso dell'ordine di 0.001H.

Gli spostamenti dei muri in progetto, quindi, in funzione dell'altezza massima del paramento risultano dell'ordine di pochi cm. Non si riscontrano quindi criticità sulle strutture presenti a monte del muro stesso, in quanto, vista la loro distanza dalla testa del paramento, non subiranno influenze significative.

Per quanto riguarda le distorsioni del muro, l'opera di sostegno risulta lineare in pianta e caricata in modo simmetrico a monte. Non verranno quindi a manifestarsi spinte dissimmetriche che possano generare distorsioni.

#### **7.4 VERIFICHE STRUTTURALI SLU**

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;

coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15;

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

##### **7.4.1 CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.**

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;

verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;

verifiche per gli stati limite di esercizio.

##### **7.4.2 VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE - PRESSOFLESSIONE**

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione sono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

### 7.4.3 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal DM17/01/2018, per elementi con armatura a taglio verticali.

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

- resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\}$$

- valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

- valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta)$$

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \text{ con } d \text{ in mm};$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq 0,02;$$

$A_{s1}$  è l'area dell'armatura tesa;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \cdot f_{cd};$$

$N_{Ed}$  è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

$A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo;

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2};$$

$1 \leq \operatorname{ctg} \theta \leq 2,5$  è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave;

$A_{sw}$  è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

$s$  è il passo delle staffe;

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

$f_{ywd}$  è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio;

$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$  è la resistenza ridotta a compressione del calcestruzzo d'anima;

$\alpha_{cw} = 1$  è un coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

$\sigma_c < 0.55 f_{ck}$  per combinazione di carico caratteristica (rara);

$\sigma_c < 0.40 f_{ck}$  per combinazione di carico quasi permanente;

$\sigma_s < 0.75 f_k$  per combinazione di carico caratteristica (rara).

Nel secondo caso, si assume che le condizioni ambientali del sito in cui sorge l'opera siano ordinarie e aggressive, rispettivamente per la zattera di fondazione e per il paramento verticale, e si verifica che il valore limite di apertura della fessura, calcolato per armature poco sensibili, sia al più pari ai

seguenti valori nominali:

$w_1 = 0.2$  mm per condizioni ambientali aggressive (comb. Frequente e quasi permanente);

$w_2 = 0.3$  mm per condizioni ambientali ordinarie (comb. Frequente e quasi permanente).

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

## 7.5 VERIFICHE STRUTTURALI (SLE)

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

### 7.5.1 VERIFICHE ALLE 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" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento "Manuale di progettazione opere civili"

#### 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  $0,75 f_{yk}$ .

Per il caso in esame risulta in particolare :

#### Muro di sostegno:

##### CALCESTRUZZO

$$\sigma_{\text{cmax QP}} = (0,40 f_{ck}) = \mathbf{13.28} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{\text{cmax R}} = (0,55 f_{ck}) = \mathbf{18.26} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

##### ACCIAIO

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

$$\sigma_{s \max} = (0,75 f_{yk}) = \mathbf{337.5} \text{ MPa} \quad \text{Combinazione di Carico Caratteristica(Rara)}$$

## 7.5.2 VERIFICHE A 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:

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	$\leq w_1$

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 17 I 0 001</b>	REV. <b>A</b>

**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

**Tabella 7-1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e condizioni ambientali**

Risultando:

w1= 0.2 mm

w2= 0.3 mm

w3= 0.4 mm

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dalle specifiche RFI (Manuale di progettazione delle opere civili parte II sezione 2 – Requisiti concernenti la fessurazione per strutture in c.a., c.a.p. e miste acciaio-calcestruzzo) secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

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 prevista al punto " C4.1.2.2.4.5 Verifica allo stato limite di fessurazione" della Circolare n.7/19.

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	26 di 61

## 8 ANALISI DEI CARICHI

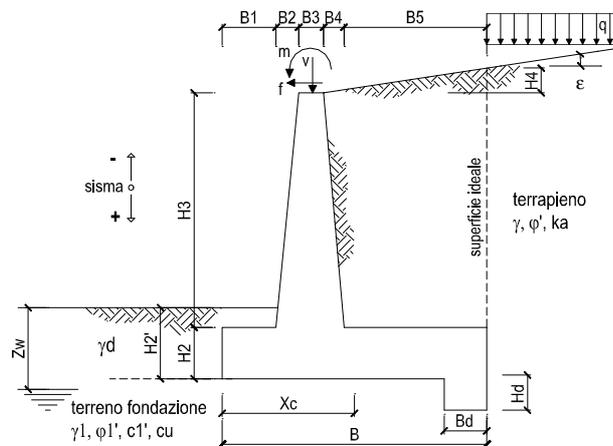
Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

Tutti i carichi elementari si riferiscono all'unità di sviluppo del muro, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

### 8.1 PESI PROPRI

Il peso proprio del muro è calcolato in automatico dal foglio di calcolo elettronico.

I dati di input per i muri su fondazione diretta sono i seguenti:



#### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	4.50	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.36	(m)

#### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	4.20	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0.60	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0.50	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	2.94	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	2.10	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	$\gamma_{cls}$ =	25.00	(kN/m <sup>3</sup> )
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

Figura 8-1 – Caratteristiche geometriche muri di sostegno con fondazione diretta – tipo 1.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
NV01: Muro di sottoscarpa MU17I	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo	RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	27 di 61

## 8.2 CARICHI PERMANENTI

### 8.2.1 PARAPETTO METALLICO

Per il parapetto metallico si considerano le seguenti azioni agenti sul muro:

$$V_{\text{parapetto}} = 1.00 \text{ kN/m}$$

### 8.2.2 BARRIERA DI SICUREZZA

Per la barriera di sicurezza si considerano le seguenti azioni agenti sul muro:

$$V_{\text{barriera}} = 2.50 \text{ kN/m}$$

### 8.2.3 SPINTA DEL TERRENO

A tergo del muro agisce la spinta del terreno del rilevato.

La spinta in condizioni di esercizio viene calcolata con il coefficiente di spinta attiva  $k_a$ .

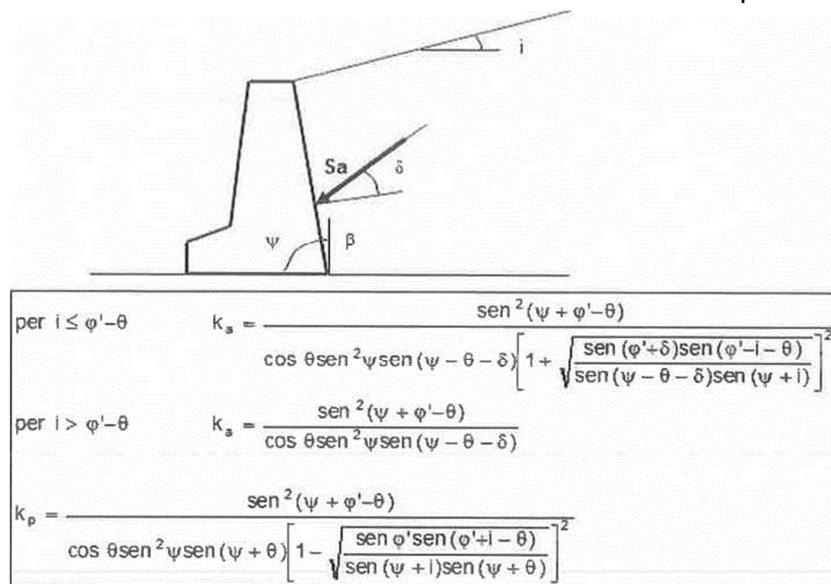


Figura 8-2 – Coefficiente di spinta attiva e passiva.

La spinta sull'opera di sostegno dovrà essere applicata sul piano verticale, assunto come paramento virtuale del muro, definito a partire dall'estremo a monte della scarpa di fondazione.

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

Su tale paramento l'angolo di inclinazione  $\delta$  della risultante della spinta (applicata ad 1/3 dell'altezza del paramento virtuale) si potrà assumere uguale all'angolo di inclinazione  $\beta$  del terrapieno, a meno che  $\beta$  non sia superiore all'angolo di resistenza al taglio del terreno  $\varphi'$ , nel qual caso si assumerà  $\delta = \varphi'$ .

<b>Dati Geotecnici</b>				<i>valori caratteristici</i> SLE	<i>valori di progetto</i>	
					STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\varphi'$	35.00	35.00	35.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$	19.00	19.00	19.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$	25.00	25.00	25.00

Figura 8-3 – Dati geotecnici

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

## 8.3 CARICHI VARIABILI

### 8.3.1 CARICHI MOBILI DA TRAFFICO

Per quanto attiene il sovraccarico variabile dovuto al carico stradale si applica il carico verticale statico di 20 kPa che, in condizioni sismiche, è stato ridotto al 20% (4 kPa) ed è stato distribuito attraverso il rilevato stradale fino alla testa del muro di sottoscarpa.

<b>Carichi Agenti</b>		<b>valori caratteristici</b>		<b>valori di progetto</b>		
		<b>SLE - sisma</b>		<b>STR/GEO</b>	<b>EQU</b>	
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m <sup>2</sup> )	qp	0.00	0.00	0.00
	Sovraccarico su zattera di monte <input type="radio"/> si <input checked="" type="radio"/> no					
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	fp	0.00	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	vp	3.50	3.50	3.50
	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp	0.00	0.00	0.00
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m <sup>2</sup> )	q	8.00	11.60	11.60
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	0.00	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	0.00	0.00	0.00
	Coefficienti di combinazione	condizione frequente $\Psi_1$	1.00	condizione quasi permanente $\Psi_2$	0.00	
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m <sup>2</sup> )	qs	1.60		
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	fs	0.00		
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	vs	0.00		
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kNm/m)	ms	0.00		

Figura 8-4 – Carichi agenti

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU171 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

## 8.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

### 8.4.1 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) *Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale*

La cui vita nominale è pari a: 50 anni.

### 8.4.2 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.

### 8.4.3 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  $V_R = 50 \times 1.5 = 75$  anni.

### 8.4.4 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	$P_{V_R}$ : 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 8-1 – Probabilità di superamento al variare dello stato limite considerato.

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I  
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	31 di 61

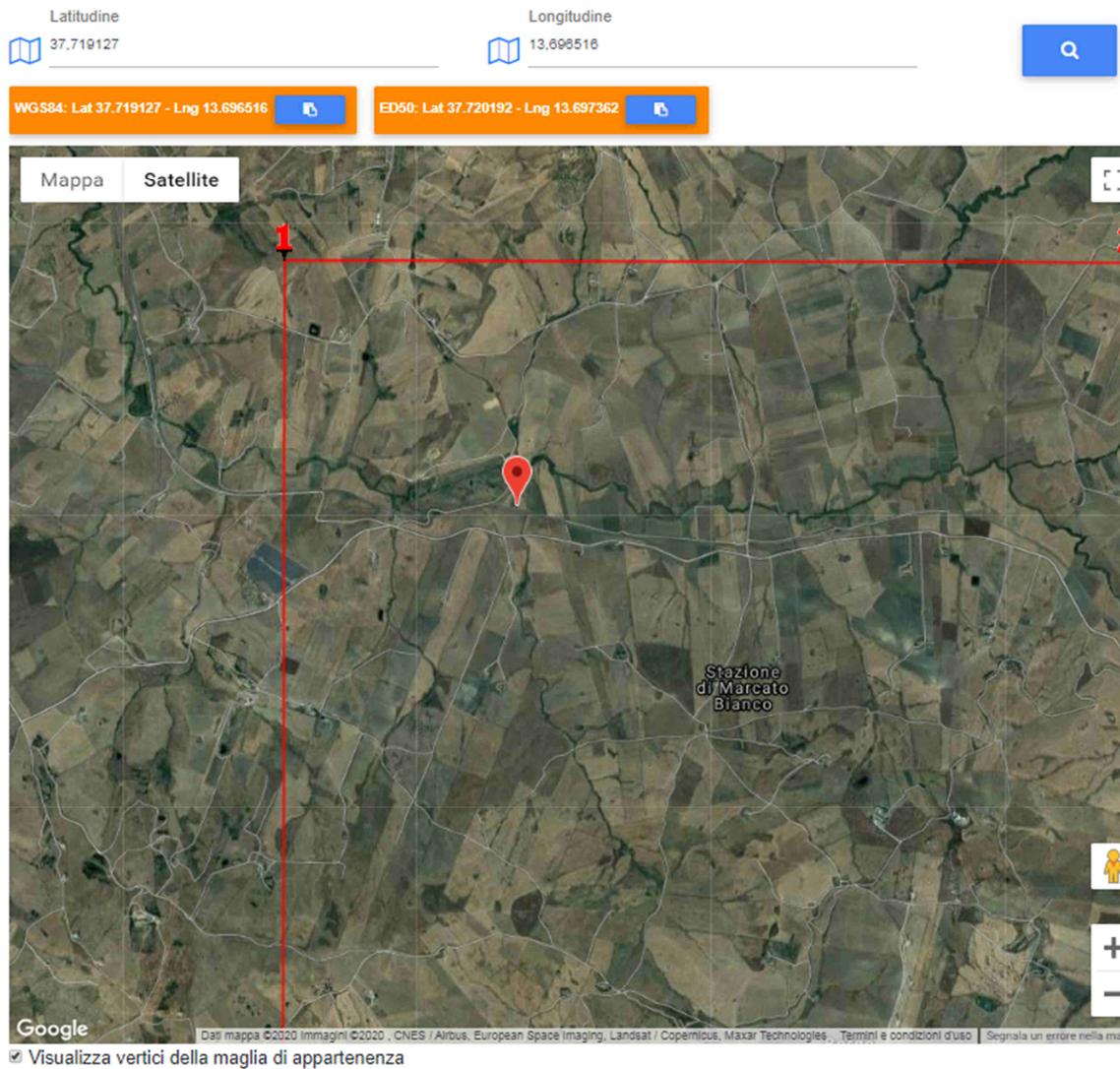


Tabella 8-2 – Localizzazione del sito ove sorgerà l'opera.

Da cui si ottiene la seguente tabella:

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

### Stati limite

	Classe Edificio			
	III. Affollamento significativo...			
	Vita Nominale	50		
	Interpolazione	Media ponderata		
<b>CU = 1.5</b>				
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	45	0.038	2.453	0.250
Danno (SLD)	75	0.047	2.441	0.281
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.097	2.625	0.368
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.117	2.673	0.393
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 75				

Tabella 8-3 – 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 8-4 – Categorie topografiche.

L'area interessata risulta classificabile come T1.

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:

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 17 I 0 001</b>	REV. <b>A</b>

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 8-5 – 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 8-6 – Valori massimi dei coefficienti di amplificazione topografica  $S_T$ .

valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica sono pari a  $S_s = 1.5$  e  $C_c = 1.44$

valore del coefficiente di amplificazione topografica è posto pari a  $S_T = 1.0$

Dalla sezione dedicata al calcolo dei parametri sismici di base del programma "GeoStru", si ricavano i seguenti parametri dello spettro di risposta relativo al sito più gravoso.

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	34 di 61

## Coefficienti sismici

 Tipo Muri di sostegno NTC 2018 ▼

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)	us (m)
1	0.1

 Cat. Sottosuolo C ▼

 Cat. Topografica T1 ▼

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,66	1,60	1,46	1,43
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>] ↔ 0.6 ⋮

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.033	0.055	0.000
kv	--	0.017	0.028	--
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.558	0.690	1.426	1.727
Beta	--	0.470	0.380	--

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

## 8.5 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 (SILU):  

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.1]
  - Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:  

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.2]
  - Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili:  

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.3]
  - Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:  

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.4]
  - Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:  

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.5]
  - Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:  

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.6]
- Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:
- $$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$
- [2.5.7]

Per i muri di sostegno o per altre strutture miste ad essi assimilabili devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

Scorrimento sul piano di posa;

Collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;

Ribaltamento;

Stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

SLU di tipo strutturale (STR)

Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2).

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3).

Per ciascuna verifica si deve tenere conto dei coefficienti parziali per le azioni, dei parametri geotecnici e dei coefficienti di amplificazione per le verifiche di sicurezza, tutti riportati nelle seguenti tabelle.

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

Nella verifica a ribaltamento i coefficienti R3 si applicano agli effetti delle azioni stabilizzanti.

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ce}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

Tabella 8-7 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

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 8-8 - 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 8-9 – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi dei muri di sostegno.

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Tabella 8-10 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

	<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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

Le combinazioni sismiche, in maniera del tutto analoga alle combinazioni statiche, sono effettuate con l'approccio 2, ponendo però pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati nella seguente tabella.

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

*Tabella 8-11 – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.*

Le verifiche pseudo-statiche di sicurezza dei fronti di scavo e dei rilevati in condizioni sismiche si eseguono adottando valori unitari dei coefficienti parziali del gruppo A e M per il calcolo delle azioni e dei parametri geotecnici di progetto e un coefficiente parziale  $\gamma_R$  pari a 1.2.

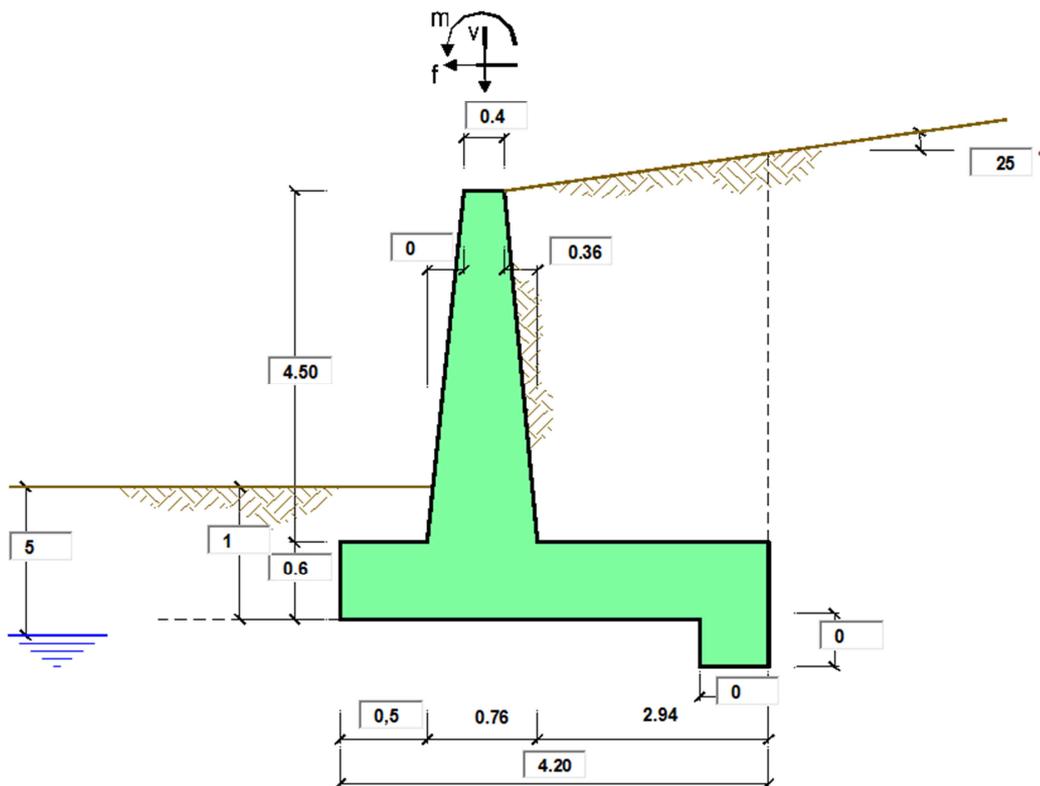
NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	38 di 61

## 9 PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOTTOSCARPA “TIPO 1”

### 9.1 DATI DI INPUT



#### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	4.50	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.36	(m)

#### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	4.20	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0.60	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0.50	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	2.94	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzzeria Sezione	Xc =	2.10	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	$\gamma_{cls}$ =	25.00	(kN/m <sup>3</sup> )
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

*Dati geotecnici e carichi agenti – Condizione statica e sismica*

				valori caratteristici SLE		valori di progetto	
				STR/GEO	EQU		
<b>Dati Geotecnici</b>							
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\varphi'$	35.00	35.00	35.00	
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$	19.00	19.00	19.00	
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$	25.00	25.00	25.00	
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	<input checked="" type="radio"/> drenate <input type="radio"/> Non Drenate					
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c_1'$	5.00	5.00	5.00	
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\varphi_1'$	25.00	25.00	25.00	
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_1$	21.00	21.00	21.00	
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$	19.00	19.00	19.00	
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	8.00			
	Modulo di deformazione	(kN/m <sup>2</sup> )	E	10000			

Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	0.097	(-)		
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	$S_S$	1.5	(-)		
	Coefficiente Amplificazione Topografico	$S_T$	1	(-)		
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	$\beta_s$	0.38	(-)		
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.05529	(-)		
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0276	(-)		
	Muro libero di traslare o ruotare	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no				

<b>RIBALTAMENTO</b>	
$\beta_s$	0.57
kh	0.08294
kv	0.04147

				STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.363	0.363	0.363
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.441	0.441	0.490
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.447	0.447	0.504
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	2.464	2.464	2.464
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	2.378	2.378	2.335
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	2.373	2.373	2.323

				valori caratteristici SLE - sisma		valori di progetto	
				STR/GEO	EQU		
<b>Carichi Agenti</b>							
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m <sup>2</sup> )	qp	0.00	0.00	0.00	
	Sovraccarico su zattera di monte						
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	fp	0.00	0.00	0.00	
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	vp	3.50	3.50	3.50	
Condizioni Statiche	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp	0.00	0.00	0.00	
	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m <sup>2</sup> )	q	8.00	11.60	11.60	
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	0.00	0.00	0.00	
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00	0.00	
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	0.00	0.00	0.00	
Condizioni Sismiche	Coefficienti di combinazione	condizione frequente $\Psi_1$	1.00	condizione quasi permanente $\Psi_2$		0.00	
	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m <sup>2</sup> )	qs	1.60			
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	fs	0.00			
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	vs	0.00			
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kNm/m)	ms	0.00			

NV01: Muro di sottoscarpa MU171

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	40 di 61

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

#### Calcestruzzo

classe cls

Rck	40	(MPa)
fck	32	(MPa)
fc <sub>m</sub>	40	(MPa)
E <sub>c</sub>	33346	(MPa)
α <sub>cc</sub>	0.85	
γ <sub>c</sub>	1.50	

f <sub>cd</sub> = α <sub>cc</sub> * f <sub>ck</sub> / γ <sub>c</sub>	18.13	(MPa)
f <sub>ctm</sub> = 0.30 * f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup>	3.02	(MPa)

#### Tensioni limite (tensioni ammissibili)

##### condizioni statiche

σ <sub>c</sub>	19.2	Mpa
σ <sub>f</sub>	360	Mpa

##### condizioni sismiche

σ <sub>c</sub>	19.2	Mpa
σ <sub>f</sub>	360	Mpa

#### Valore limite di apertura delle fessure

Frequente	<input type="text" value="w1"/>	0.2	mm
Quasi Permanente	<input type="text" value="w1"/>	0.2	mm

#### Acciaio

tipo di acciaio

f <sub>yk</sub>	=	450	(MPa)
γ <sub>s</sub>	=	1.15	
f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>s</sub> / γ <sub>E</sub>	=	391.30	(MPa)
E <sub>s</sub>	=	210000	(MPa)
ε <sub>ys</sub>	=	0.19%	

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

#### Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

c = 7.70 (cm)

#### Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

c<sub>min</sub> = 4.50 (cm)

#### Interfero tra I e II strato

i<sub>I-II</sub> = 5.00 (cm)

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	41 di 61

## 9.2 CALCOLO DELLE AZIONI

### 9.2.1 FORZE VERTICALI E INERZIALI

#### FORZE VERTICALI

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
<b>- Peso del Muro (Pm)</b>				
Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	0.00	0.00
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	45.00	45.00
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	20.25	20.25
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	63.00	63.00
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	0.00	0.00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m)	128.25	128.25
<b>- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)</b>				
Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m)	251.37	251.37
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$	(kN/m)	48.24	48.24
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')/2$	(kN/m)	15.39	15.39
Sovr =	qp * (B4+B5)	(kN/m)	0.00	0.00
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr	(kN/m)	315.00	315.00
<b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b>				
Sovr acc. Stat	q * (B4+B5)	(kN/m)	26.4	38.28
Sovr acc. Sism	qs * (B4+B5)	(kN/m)	5.28	

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
<b>- Muro (Mm)</b>				
Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$	(kNm/m)	31.50	31.50
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	(kNm/m)	20.66	20.66
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	132.30	132.30
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m)	184.46	184.46
<b>- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro</b>				
Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	(kNm/m)	686.24	686.24
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	149.55	149.55
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	(kNm/m)	17.54	17.54
Msovr =	$Sovr \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	0.00	0.00
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr	(kNm/m)	853.33	853.33
<b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b>				
Sovr acc. Stat	$q \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	67.32	97.614
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	13.464	

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	42 di 61

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps h =	$Pm \cdot kh$	(kN/m)	7.09	10.64
Ps v =	$Pm \cdot kv$	(kN/m)	3.55	5.32

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

Ptsh =	$Pt \cdot kh$	(kN/m)	17.42	26.12
Ptsv =	$Pt \cdot kv$	(kN/m)	8.71	13.06

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs h)

MPs1 h=	$kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 h=	$kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3/2)$	(kNm/m)	7.09	10.64
MPs3 h=	$kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3/3)$	(kNm/m)	2.35	3.53
MPs4 h=	$kh \cdot Pm4 \cdot (H2/2)$	(kNm/m)	1.04	1.57
MPs5 h=	$-kh \cdot Pm5 \cdot (Hd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs h=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	10.49	15.73

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs v)

MPs1 v=	$kv \cdot Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 v=	$kv \cdot Pm2 \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	(kNm/m)	0.87	1.31
MPs3 v=	$kv \cdot Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4/3)$	(kNm/m)	0.57	0.86
MPs4 v=	$kv \cdot Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	3.66	5.49
MPs5 v=	$kv \cdot Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs v=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	5.10	7.65

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts h)

MPts1 h=	$kh \cdot Pt1 \cdot (H2 + H3/2)$	(kNm/m)	39.61	59.42
MPts2 h=	$kh \cdot Pt2 \cdot (H2 + H3 + H4/3)$	(kNm/m)	24.57	36.86
MPts3 h=	$kh \cdot Pt3 \cdot (H2 + H3 \cdot 2/3)$	(kNm/m)	3.06	4.59
MPts h=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	67.25	100.87

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts v)

MPts1 v=	$kv \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3/2) - (B - B5/2) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	18.97	28.46
MPts2 v=	$kv \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	4.29	6.44
MPts3 v=	$kv \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2/3) - (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	0.61	0.92
MPts v=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	23.88	35.82

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	43 di 61

Relazione di calcolo

## 9.2.2 SPINTE IN CONDIZIONE STATICA

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
St =	$0,5 \cdot \gamma \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$	(kN/m) 152.05	197.66	197.66
Sq perm =	$q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
Sq acc =	$q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$	(kN/m) 19.29	27.97	27.97

- Componente orizzontale condizione statica

Sth =	$St \cdot \cos \delta$	(kN/m) 137.80	179.14	179.14
Sqh perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
Sqh acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m) 17.48	25.35	25.35

- Componente verticale condizione statica

Stv =	$St \cdot \sin \delta$	(kN/m) 64.26	83.53	83.53
Sqv perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
Sqv acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m) 8.15	11.82	11.82

- Spinta passiva sul dente

Sp =	$\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H_d^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot H_d^2 \cdot k_p + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot H_d$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
------	--	-------------	------	------

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
MSt1 =	$St \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 3 - H_d)$	(kNm/m) 304.94	396.43	396.43
MSt2 =	$St \cdot B$	(kNm/m) 269.88	350.84	350.84
MSq1 perm =	$Sq \text{ perm} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSq1 acc =	$Sq \text{ acc} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m) 58.02	84.13	84.13
MSq2 perm =	$Sq \text{ perm} \cdot B$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSq2 acc =	$Sq \text{ acc} \cdot B$	(kNm/m) 34.23	49.64	49.64
MSp =	$\gamma_1 \cdot H_d^3 \cdot k_p / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot H_d^2 / 2$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1 =	$m_p + m$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
Mfext2 =	$(f_p + f) \cdot (H_3 + H_2)$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
Mfext3 =	$(v_p + v) \cdot (B_1 + B_2 + B_3 / 2)$	(kNm/m) 2.45	2.45	2.45

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	44 di 61

Relazione di calcolo

### 9.2.3 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica +

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
$Sst1\ stat = 0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	152.05	152.05	152.05
$Sst1\ sism = 0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1\ stat$	(kN/m)	37.84	37.84	61.51
$Ssq1\ perm = qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1\ acc = qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	4.69	4.69	5.20

- Componente orizzontale condizione sismica +

$Sst1h\ stat = Sst1\ stat \cdot \cos\delta$	(kN/m)	137.80	137.80	137.80
$Sst1h\ sism = Sst1\ sism \cdot \cos\delta$	(kN/m)	34.29	34.29	55.75
$Ssq1h\ perm = Ssq1\ perm \cdot \cos\delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1h\ acc = Ssq1\ acc \cdot \cos\delta$	(kN/m)	4.25	4.25	4.71

- Componente verticale condizione sismica +

$Sst1v\ stat = Sst1\ stat \cdot \sin\delta$	(kN/m)	64.26	64.26	64.26
$Sst1v\ sism = Sst1\ sism \cdot \sin\delta$	(kN/m)	15.99	15.99	25.99
$Ssq1v\ perm = Ssq1\ perm \cdot \sin\delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1v\ acc = Ssq1\ acc \cdot \sin\delta$	(kN/m)	1.98	1.98	2.20

- Spinta passiva sul dente

$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1 \cdot (1+kv) \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
---	--------	------	------	------

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica +

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
$MSst1\ stat = Sst1h\ stat \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	( kNm/m )	304.94	304.94	304.94
$MSst1\ sism = Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	( kNm/m )	75.89	75.89	123.36
$MSst2\ stat = Sst1v\ stat \cdot B$	( kNm/m )	269.88	269.88	269.88
$MSst2\ sism = Sst1v\ sism \cdot B$	( kNm/m )	67.16	67.16	109.18
$MSsq1 = Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	( kNm/m )	14.10	14.10	15.65
$MSsq2 = Ssq1v \cdot B$	( kNm/m )	8.32	8.32	9.23
$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1 \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$Mfext1 = mp+ms$	( kNm/m )		0.00	
$Mfext2 = (fp+fs) \cdot (H3 + H2)$	( kNm/m )		0.00	
$Mfext3 = (vp+vs) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	( kNm/m )		2.45	

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	45 di 61

## 9.2.4 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
$Sst1\ stat = 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	152.05	152.05	152.05
$Sst1\ sism = 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas - Sst1\ stat$	(kN/m)	29.77	29.77	50.38
$Ssq1\ perm = qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1\ acc = qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas$	(kN/m)	4.74	4.74	5.36

- Componente orizzontale condizione sismica -

$Sst1h\ stat = Sst1\ stat \cdot \cos\delta$	(kN/m)	137.80	137.80	137.80
$Sst1h\ sism = Sst1\ sism \cdot \cos\delta$	(kN/m)	26.98	26.98	45.66
$Ssq1h\ perm = Ssq1\ perm \cdot \cos\delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1h\ acc = Ssq1\ acc \cdot \cos\delta$	(kN/m)	4.30	4.30	4.86

- Componente verticale condizione sismica -

$Sst1v\ stat = Sst1\ stat \cdot \sin\delta$	(kN/m)	64.26	64.26	64.26
$Sst1v\ sism = Sst1\ sism \cdot \sin\delta$	(kN/m)	12.58	12.58	21.29
$Ssq1v\ perm = Ssq1\ perm \cdot \sin\delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1v\ acc = Ssq1\ acc \cdot \sin\delta$	(kN/m)	2.00	2.00	2.26

- Spinta passiva sul dente

$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot (1-kv) \cdot Hd^2 \cdot kps + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{0.5} + \gamma_1 \cdot (1-kv) \cdot kps \cdot H2) \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
---	--------	------	------	------

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
$MSst1\ stat = Sst1h\ stat \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	( kNm/m )	304.94	304.94	304.94
$MSst1\ sism = Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	( kNm/m )	59.71	59.71	101.04
$MSst2\ stat = Sst1v\ stat \cdot B$	( kNm/m )	269.88	269.88	269.88
$MSst2\ sism = Sst1v\ sism \cdot B$	( kNm/m )	52.84	52.84	89.42
$MSsq1 = Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	( kNm/m )	14.27	14.27	16.12
$MSsq2 = Ssq1v \cdot B$	( kNm/m )	8.42	8.42	9.51
$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kps + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{0.5} + \gamma_1 \cdot kps \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$Mfext1 = mp+ms$	( kNm/m )		0.00	
$Mfext2 = (fp+fs) \cdot (H3 + H2)$	( kNm/m )		0.00	
$Mfext3 = (vp+vs) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	( kNm/m )		2.45	

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

### 9.3 VERIFICHE GEOTECNICHE

#### 9.3.1 VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE

##### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)				
$N = P_m + P_t + v + St_v + Sq_v \text{ perm} + Sq_v \text{ acc}$	542.10	(kN/m)		
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{th} + S_{qh} + f$	204.48	(kN/m)		
Coefficiente di attrito alla base (f)				
$f = \text{tg}\phi_1'$	0.47	(-)		
<b>Fs scorr.</b>	<b><math>(N \cdot f + S_p) / T</math></b>	<b>1.24</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.1</b>

##### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
$M_s = M_m + M_t + M_{\text{fext}3}$	1040.24	(kNm/m)		
Momento ribaltante (Mr)				
$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{\text{fext}1} + M_{\text{fext}2} + M_{Sp}$	80.07	(kNm/m)		
<b>Fs ribaltamento</b>	<b><math>M_s / M_r</math></b>	<b>12.99</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.15</b>

##### VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)		$N_{\min}$	$N_{\max}$	
$N = P_m + P_t + v + St_v + Sq_v (+ \text{Sovr acc})$	542.10	542.10	580.38	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p$	204.48	204.48	204.48	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
$MM = \sum M$	960.17	960.17	1057.78	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
$M = X_c \cdot N - MM$	178.25	178.25	161.03	(kNm/m)

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

$c'$	coesione terreno di fondaz.	5.00		(kPa)
$\phi_1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	20.52		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma \cdot d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	19.00		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.33	0.28	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.54	3.65	(m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	10.66		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	20.72		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	10.88		(-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi')))^m$	(1 in cond. nd)	0.42	0.45	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.36	0.36	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi')))^{m+1}$		0.27	0.27	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	229.47	235.78	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b>F = <math>q_{lim} \cdot B^* / N</math></b>	$N_{min}$	<b>1.50</b>	>	<b>1.4</b>
		$N_{max}$	<b>1.48</b>	>	

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

### 9.3.2 VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE

Condizione sismica +

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)				
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$		541.24	(kN/m)	
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$		200.85	(kN/m)	
Coefficiente di attrito alla base (f)				
$f = \operatorname{tg}\phi_1'$		0.47	(-)	
<b>Fs = (N*f + Sp) / T</b>		<b>1.26</b>	<b>&gt;</b>	<b>1</b>

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
$M_s = M_m + M_t + M_{fext3}$		1040.24	(kNm/m)	
Momento ribaltante (Mr)				
$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$		128.80	(kNm/m)	
<b>Fr = Ms / Mr</b>		<b>8.08</b>	<b>&gt;</b>	<b>1</b>

#### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)		N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (Sovr\ acc)$		541.24	546.52	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - Sp$		200.85		(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
$MM = \Sigma M$		941.91	955.38	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
$M = X_c * N - MM$		194.68	192.31	(kNm/m)

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c i_c + q_0 N_q i_q + 0,5 \gamma_1 B^* N_\gamma i_\gamma$$

$c'$	coesione terreno di fondaz.	5.00		(kN/mq)
$\phi'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	20.52		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d^* H^2$	sovraccarico stabilizzante	19.00		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.36	0.35	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.48	3.50	(m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	10.66		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	20.72		(-)
$N_\gamma = 2(N_q + 1) \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	10.88		(-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.43	0.43	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.37	0.37	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi'))^{m+1}$		0.28	0.28	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	232.44	234.32	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b><math>F = q_{lim} B^* / N</math></b>	$N_{min}$	<b>1.49</b>	>	<b>1.2</b>
		$N_{max}$	<b>1.50</b>	>	

 <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 DI LINEA</b>					
	NV01: Muro di sottoscarpa MU17I Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 17 I 0 001	REV. A

Condizione sismica -

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)					
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$			513.34	(kN/m)	
Risultante forze orizzontali (T)					
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$			193.59	(kN/m)	
Coefficiente di attrito alla base (f)					
$f = \tan \phi_1'$			0.47	(-)	
<b>Fs = (N*f + Sp) / T</b>			<b>1.24</b>	<b>&gt;</b>	<b>1</b>

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)					
$M_s = M_m + M_t + M_{fext3}$			1040.24	(kNm/m)	
Momento ribaltante (Mr)					
$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$			213.36	(kNm/m)	
<b>Fr = Ms / Mr</b>			<b>4.88</b>	<b>&gt;</b>	<b>1</b>

### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)			Nmin	Nmax	
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$			513.34	518.62	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)					
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - Sp$			193.59		(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)					
$MM = \sum M$			885.75	899.21	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)					
$M = X_c * N - MM$			192.27	189.89	(kNm/m)

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	51 di 61

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c i_c + q_0 N_q i_q + 0,5 \gamma_1 B^* N_\gamma i_\gamma$$

$c_1'$	coesione terreno di fondaz.	5.00		(kN/mq)
$\phi_1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	20.52		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d H_2'$	sovraccarico stabilizzante	19.00		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.37	0.37	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.45	3.47	(m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) e^{(\pi \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	10.66		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	20.72		(-)
$N_\gamma = 2(N_q + 1) \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	10.88		(-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.42	0.42	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.36	0.37	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi'))^{m+1}$		0.27	0.27	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	227.37	229.36	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b>F = <math>q_{lim} * B^* / N</math></b>	<b>Nmin</b>	<b>1.53</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.2</b>
		<b>Nmax</b>	<b>1.53</b>	<b>&gt;</b>	

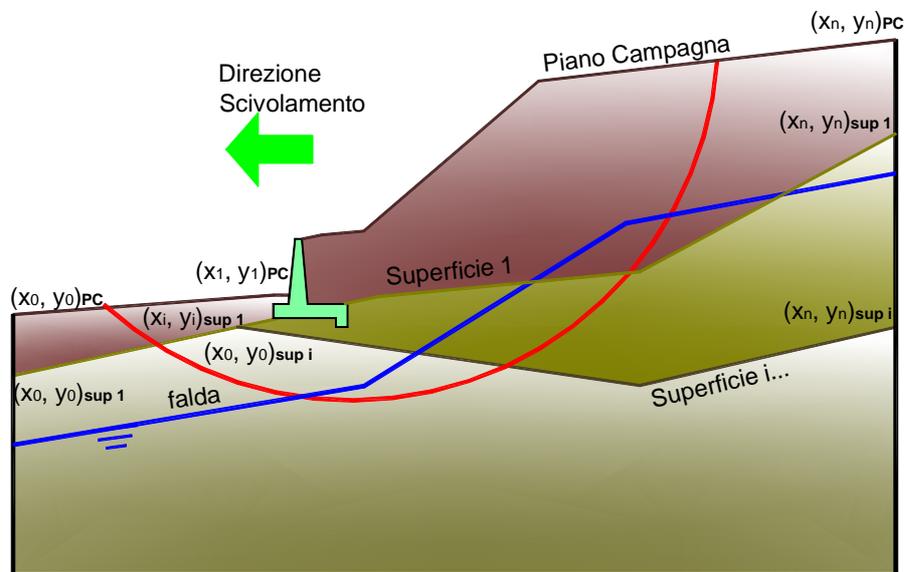
NV01: Muro di sottoscarpa MU171

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	52 di 61

### 9.3.3 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE

Le analisi di stabilità, di seguito riportate, sono state effettuate limitando la ricerca delle potenziali superfici di scorrimento critiche alla fascia più prossima alla linea ferroviaria.

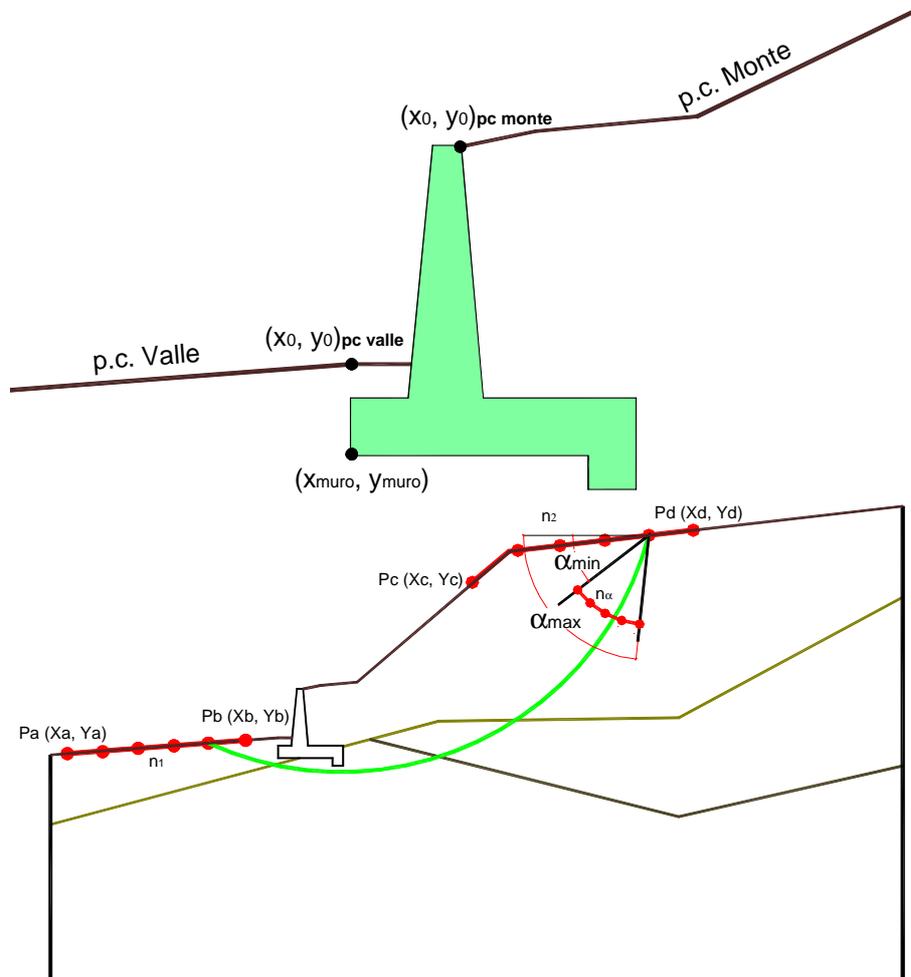


	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	$c$ [kPa]	Descrizione
<b>materiale 1</b>	19.00	35	0	Rilevato - riporto
<b>materiale 2</b>	19.00	25	5	Unità geotecnica 1 - Coltre sup.
<b>materiale 3</b>	21.00	39	0	Unità geotecnica 2 - TRVa
<b>materiale 4</b>				

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	53 di 61



p.c. valle		p.c. monte		superficie 1		superficie 2		superficie 3		falsa				
materiale 1				materiale 2		materiale 3		materiale 4		falsa				
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y			
0	100.000	100.800	0	100.900	105.100	0	50.000	100.000	0	50.000	95.000	0	50.000	95.800
1	50.000	100.800	1	105.900	108.100	1	150.000	100.000	1	150.000	95.000	1	150.000	95.800
2			2	150.000	108.100	2			2			2		
3			3			3			3			3		
4			4			4			4			4		
5			5			5			5			5		
6			6			6			6			6		
7			7			7			7			7		
8			8			8			8			8		
9			9			9			9			9		
10			10			10			10			10		

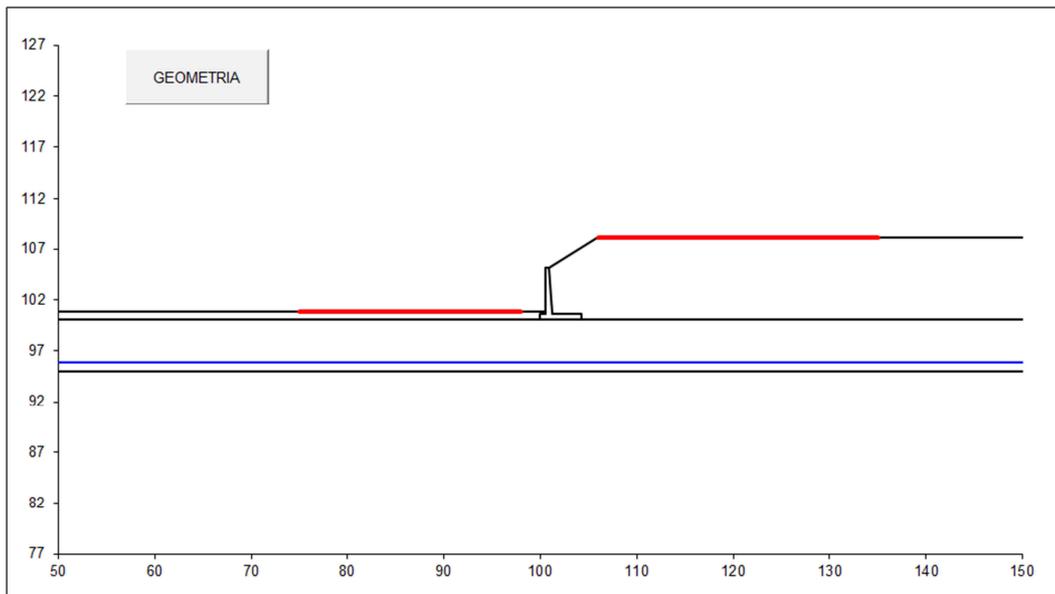
**Sovraccarichi**

	<input type="checkbox"/>	$x_{in}$	$q_{in}$	$x_{fin}$	$q_{fin}$	% sisma
sovraccarico 1	<input checked="" type="checkbox"/>	108.900	8	111.500	8	20%
sovraccarico 2	<input type="checkbox"/>					

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

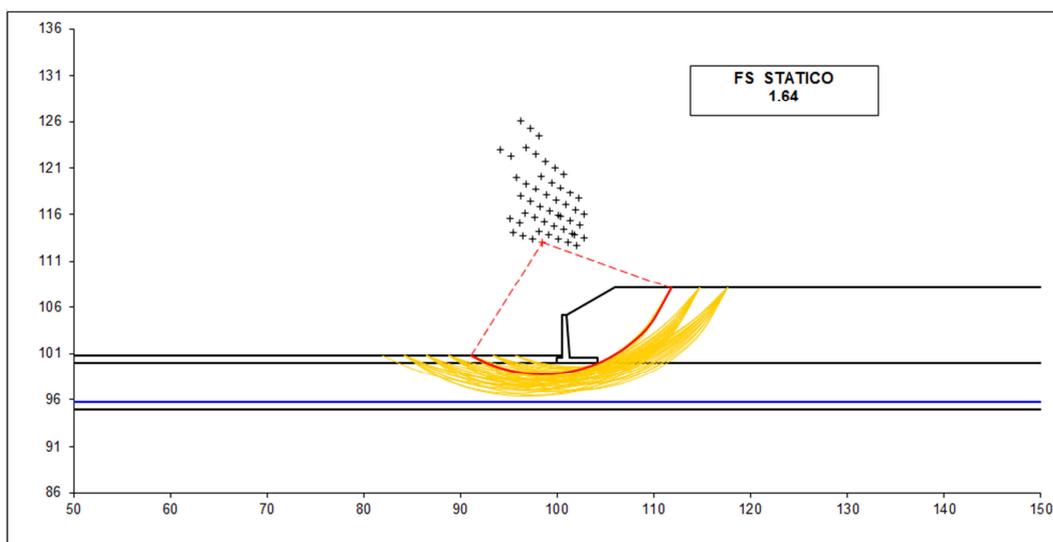
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	54 di 61



#strisce
30

# Superfici Calcolate	FS Bishop	
	651	STATICO
	SISMICO	1.395

### Condizioni statiche

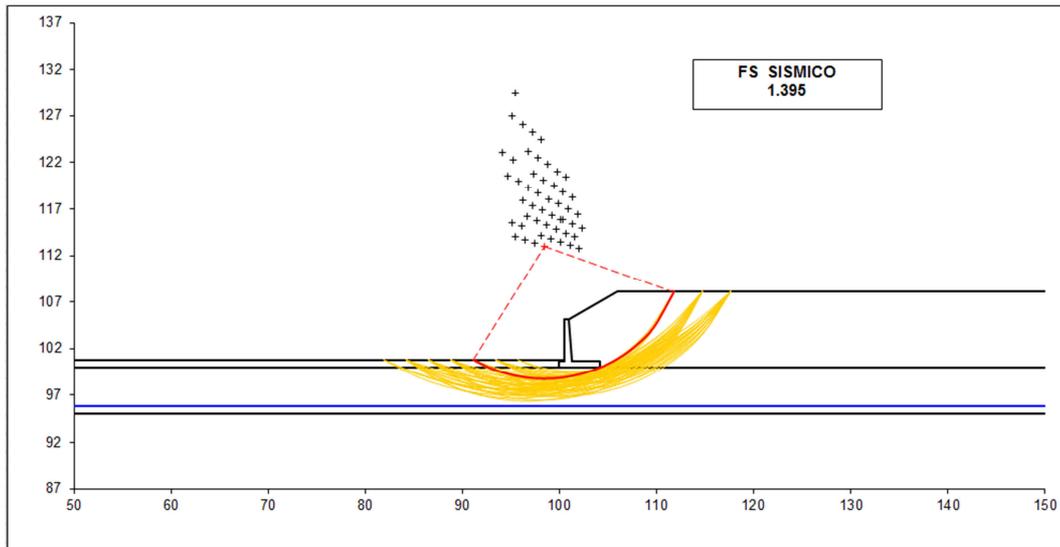


NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	55 di 61

### Condizioni sismiche



NV01: Muro di sottoscarpa MU171

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	56 di 61

## 9.4 VERIFICHE STRUTTURALI

### 9.4.1 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Reazione del terreno

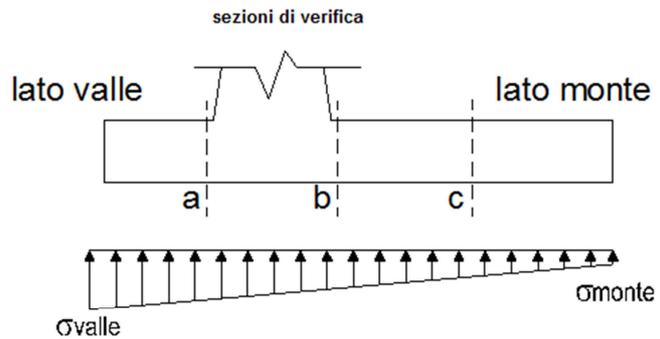
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 4.20 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 2.94 \quad (m^3)$$

caso	N	M	$\sigma_{valle}$	$\sigma_{monte}$
	[kN]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
statico	542.10	178.25	189.70	68.44
	580.38	161.03	192.96	83.42
sisma+	541.24	194.68	195.08	62.65
	546.52	192.31	195.53	64.71
sisma-	513.34	192.27	187.62	56.83
	518.62	189.89	188.07	58.89



#### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 15.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_a = \sigma_1 \cdot B + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B / 2 - PP \cdot B \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$	$\sigma_1$	$M_a$	$V_a$
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	189.70	175.27	21.24	83.74
	192.96	179.92	21.70	85.72
sisma+	195.08	179.32	21.80	89.83
	195.53	179.96	21.92	90.06
sisma-	187.62	172.05	20.98	86.10
	188.07	172.69	20.99	86.33

#### Mensola Lato Monte

PP = 15.00 (kN/m<sup>2</sup>) peso proprio soletta fondazione  
PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	114.74	126.34	116.34	(kN/m <sup>2</sup> )
pvb	88.69	100.29	90.29	(kN/m <sup>2</sup> )
pvc	101.71	113.31	103.31	(kN/m <sup>2</sup> )

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 +$$

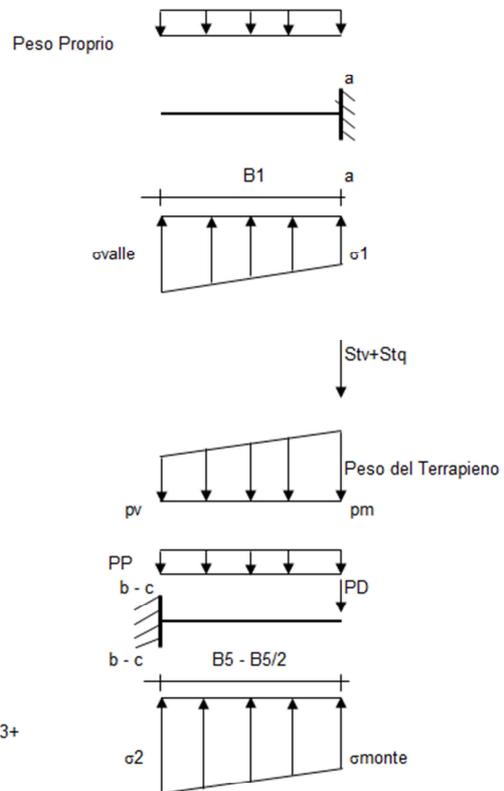
$$-(Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2)^2 / 3 +$$

$$-(Stv + Sqv) \cdot (B5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H2 / 2$$

$$V_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B5 / 2 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B5 / 2 - (Stv + Sqv) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B5 / 2) + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B5 / 2) / 2 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2) / 2 - (Stv + Sqv) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$



NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
RS3T 30 D 78 CL MU 17 I 0 001 A 57 di 61

Relazione di calcolo

caso	omonte	α2b	Mb	Vb	α2c	Mc	Vc
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	68.44	153.32	-385.44	-112.49	110.88	-186.42	-147.56
	83.42	160.10	-382.68	-114.63	121.76	-184.25	-145.62
sisma+	62.65	155.35	-375.09	-114.39	109.00	-175.73	-142.22
	64.71	156.29	-374.90	-114.82	110.50	-175.47	-142.01
sisma-	56.83	148.38	-363.02	-110.84	102.61	-169.75	-137.79
	58.89	149.32	-362.45	-111.00	104.10	-169.41	-137.46

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

$$M_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$M_{t \text{ sism}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz.}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a \text{ orizz.}}) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad o \quad h/3$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{\text{ext}} = m \cdot f \cdot h$$

$$M_{\text{inerzia}} = \Sigma P_m \cdot b_i \cdot kh$$

$$N_{\text{ext}} = v$$

$$N_{\text{pp+inerzia}} = \Sigma P_m \cdot (1 \pm kv)$$

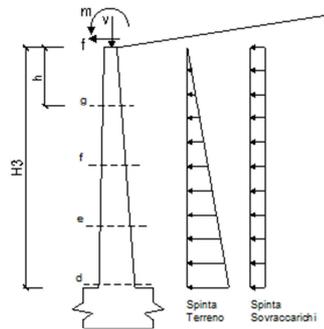
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$V_{t \text{ sism}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz.}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a \text{ orizz.}}) \cdot h^2$$

$$V_q = K_{a \text{ orizz.}} \cdot q \cdot h$$

$$V_{\text{ext}} = f$$

$$V_{\text{inerzia}} = \Sigma P_m \cdot kh$$



**condizione statica**

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.50	123.46	38.65	0.00	162.11	3.50	65.25	68.75
e-e	3.38	52.08	21.74	0.00	73.83	3.50	45.14	48.64
f-f	2.25	15.43	9.66	0.00	25.10	3.50	27.56	31.06
g-g	1.13	1.93	2.42	0.00	4.34	3.50	12.52	16.02

sezione	h	Vt	Vq	V <sub>ext</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.50	82.31	17.18	0.00	99.49
e-e	3.38	46.30	12.88	0.00	59.18
f-f	2.25	20.58	8.59	0.00	29.17
g-g	1.13	5.14	4.29	0.00	9.44

**condizione sismica +**

sezione	h	M <sub>t stat</sub>	M <sub>t sism</sub>	M <sub>q</sub>	M <sub>ext</sub>	M <sub>inerzia</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp+inerzia</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.50	94.97	26.08	6.48	0.00	7.28	134.80	3.50	67.05	70.55
e-e	3.38	40.07	11.00	3.64	0.00	3.86	58.57	3.50	46.39	49.89
f-f	2.25	11.87	3.26	1.62	0.00	1.61	18.36	3.50	28.32	31.82
g-g	1.13	1.48	0.41	0.40	0.00	0.38	2.67	3.50	12.86	16.36

sezione	h	V <sub>t stat</sub>	V <sub>t sism</sub>	V <sub>q</sub>	V <sub>ext</sub>	V <sub>inerzia</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.50	63.31	17.39	2.88	0.00	3.61	87.19
e-e	3.38	35.61	9.78	2.16	0.00	2.50	50.05
f-f	2.25	15.83	4.35	1.44	0.00	1.52	23.14
g-g	1.13	3.96	1.09	0.72	0.00	0.69	6.46

**condizione sismica -**

sezione	h	M <sub>t stat</sub>	M <sub>t sism</sub>	M <sub>q</sub>	M <sub>ext</sub>	M <sub>inerzia</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp+inerzia</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.50	94.97	20.52	6.56	0.00	7.28	129.32	3.50	63.45	66.95
e-e	3.38	40.07	8.66	3.69	0.00	3.86	56.27	3.50	43.89	47.39
f-f	2.25	11.87	2.56	1.64	0.00	1.61	17.68	3.50	26.80	30.30
g-g	1.13	1.48	0.32	0.41	0.00	0.38	2.59	3.50	12.17	15.67

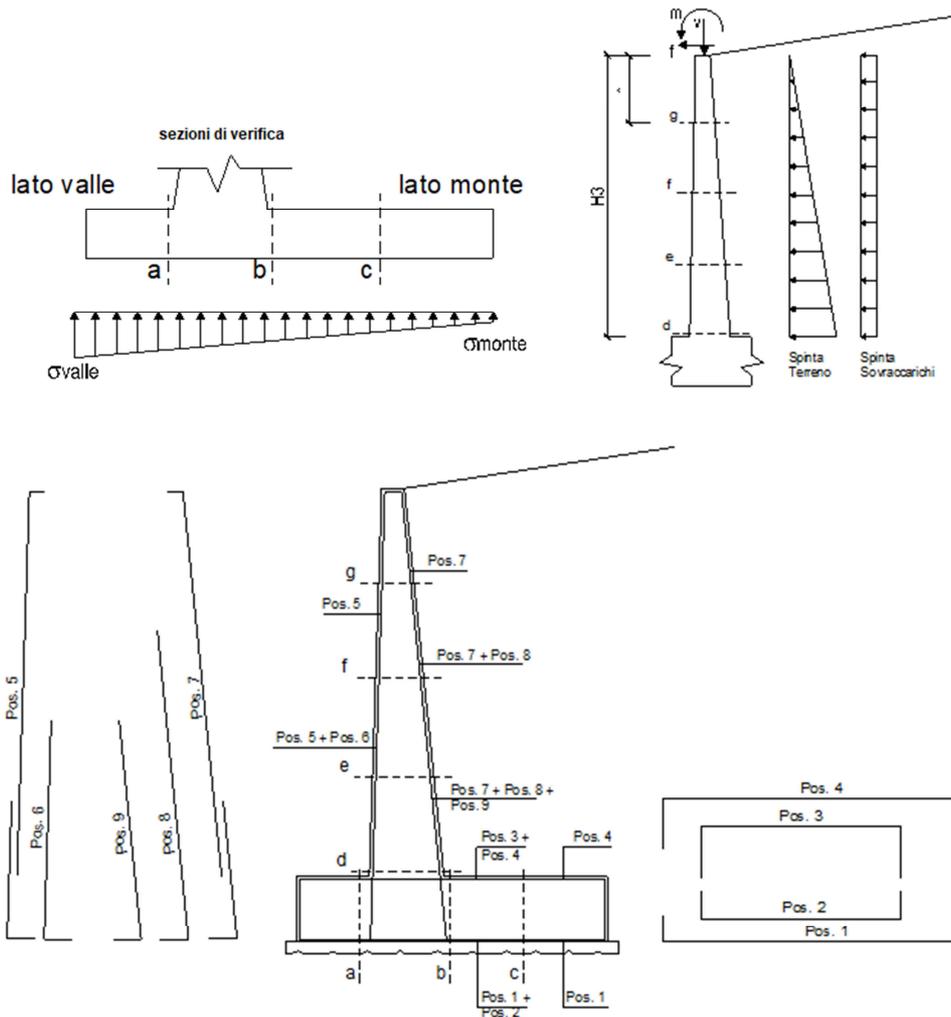
sezione	h	V <sub>t stat</sub>	V <sub>t sism</sub>	V <sub>q</sub>	V <sub>ext</sub>	V <sub>inerzia</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.50	63.31	13.68	2.91	0.00	3.61	83.51
e-e	3.38	35.61	7.69	2.19	0.00	2.50	47.99
f-f	2.25	15.83	3.42	1.46	0.00	1.52	22.23
g-g	1.13	3.96	0.85	0.73	0.00	0.69	6.23

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	58 di 61

### 9.4.2 VERIFICHE SLU



#### Armatura minima

L'armatura minima principale in fondazione deve essere in percentuale non inferiore allo 0.20% dell'area di conglomerato.

L'armatura minima principale presente in zona tesa deve essere in percentuale non inferiore allo 0.15% dell'area di conglomerato per l'intera lunghezza.

L'armatura secondaria, ortogonale a quella principale, deve essere pari al massimo delle seguenti percentuali:

- 0.10% dell'area di conglomerato in entrambi i lembi;
- 20% dell'armatura principale.

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	59 di 61

Muro  $h = 4,50m$  su fondazione diretta

**ARMATURE**

pos	n°/ml	φ	II strato	pos	n°/ml	φ	II strato
1	10.0	20		5	10.0	20	
2	0.0	0	<input type="checkbox"/>	6	0.0	0	<input type="checkbox"/>
3	0.0	0	<input type="checkbox"/>	7	10.0	24	
4	10.0	24		8	0.0	0	<input type="checkbox"/>
				9	0.0	0	<input type="checkbox"/>

Pertanto l'armatura secondaria sarà pari a:

sez a – a: φ10/20cm (ripartitori in fondazione e in elevazione);

sez b – b: φ10/20cm (ripartitori in fondazione);

sez c – c: φ10/20cm (ripartitori in fondazione);

sez d – d: φ10/20cm (ripartitori in fondazione);

sez e – e: φ10/20cm (ripartitori in fondazione);

sez f – f: φ10/20cm (ripartitori in fondazione);

sez g – g: φ10/20cm (ripartitori in fondazione);

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)
a - a	21.92	0.00	0.60	31.42	45.24	592.17
b - b	-385.44	0.00	0.60	45.24	31.42	833.71
c - c	-186.42	0.00	0.60	45.24	31.42	833.71
d - d	162.11	68.75	0.76	45.24	31.42	1137.58
e - e	73.83	48.64	0.67	45.24	31.42	970.04
f - f	25.10	31.06	0.58	45.24	31.42	804.84
g - g	4.34	16.02	0.49	45.24	31.42	641.64

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

Sez.	V <sub>Ed</sub>	h	V <sub>Rd</sub>	σ staffe	i orizz.	i vert.	θ	V <sub>Rsd</sub>	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	90.06	0.60	272.08	10	20	20	21.8	904.13	Armatura a taglio non necessaria
b - b	114.82	0.60	307.25	10	20	20	21.8	904.13	Armatura a taglio non necessaria
c - c	147.56	0.60	307.25	10	20	20	21.8	904.13	Armatura a taglio non necessaria
d - d	99.49	0.76	358.83	10	20	20	21.8	1180.72	Armatura a taglio non necessaria
e - e	59.18	0.67	332.77	10	20	20	21.8	1025.14	Armatura a taglio non necessaria
f - f	29.17	0.58	305.66	10	20	20	21.8	869.55	Armatura a taglio non necessaria
g - g	9.44	0.49	277.09	10	20	20	21.8	713.97	Armatura a taglio non necessaria

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	60 di 61

### 9.4.3 VERIFICHE SLE TENSIONE

#### Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
a - a	18.16	0.00	0.60	31.42	45.24	0.35	12.47
b - b	-287.17	0.00	0.60	45.24	31.42	5.17	138.84
c - c	-139.04	0.00	0.60	45.24	31.42	2.50	67.22
d - d	121.63	68.75	0.76	45.24	31.42	1.48	37.32
e - e	55.06	48.64	0.67	45.24	31.42	0.86	18.40
f - f	18.54	31.06	0.58	45.24	31.42	0.39	6.27
g - g	3.15	16.02	0.49	45.24	31.42	0.10	0.54

#### Condizione Sismica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
a - a	21.87	0.00	0.60	31.42	45.24	0.42	15.01
b - b	-375.09	0.00	0.60	45.24	31.42	6.75	181.35
c - c	-175.73	0.00	0.60	45.24	31.42	3.16	84.96
d - d	134.80	66.95	0.76	45.24	31.42	1.63	42.26
e - e	58.57	47.39	0.67	45.24	31.42	0.91	19.99
f - f	18.36	30.30	0.58	45.24	31.42	0.38	6.26
g - g	2.67	15.67	0.49	45.24	31.42	0.09	0.33

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

NV01: Muro di sottoscarpa MU17I

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 17 I 0 001	A	61 di 61

#### 9.4.4 VERIFICHE SLE FESSURAZIONE

##### condizione Frequente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$	wk	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	18.16	0.00	0.60	31.42	45.24	0.35	12.47	0.014	0.200
b - b	-287.17	0.00	0.60	45.24	31.42	5.17	138.84	0.155	0.200
c - c	-139.04	0.00	0.60	45.24	31.42	2.50	67.22	0.066	0.200
d - d	121.63	68.75	0.76	45.24	31.42	1.48	37.32	0.040	0.200
e - e	55.06	48.64	0.67	45.24	31.42	0.86	18.40	0.018	0.200
f - f	18.54	31.06	0.58	45.24	31.42	0.39	6.27	0.006	0.200
g - g	3.15	16.02	0.49	45.24	31.42	0.10	0.54	0.000	0.200

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

##### condizione Quasi Permanente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$	wk	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	15.99	0.00	0.60	31.42	45.24	0.31	10.98	0.012	0.200
b - b	-239.53	0.00	0.60	45.24	31.42	4.31	115.81	0.117	0.200
c - c	-117.63	0.00	0.60	45.24	31.42	2.12	56.87	0.056	0.200
d - d	94.97	68.75	0.76	45.24	31.42	1.17	27.68	0.029	0.200
e - e	40.07	48.64	0.67	45.24	31.42	0.63	12.13	0.012	0.200
f - f	11.87	31.06	0.58	45.24	31.42	0.26	3.04	0.003	0.200
g - g	1.48	16.02	0.49	45.24	31.42	0.06	-0.10	0.000	0.200

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)