

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

Opere di sostegno piazzali - Lotto 3b

PT55: Muro di sostegno MU94A

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 78 CL MU94A0 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Feb-2020	M.Salleolini	Feb-2020	A.Barreca	Feb-2020	D.Tiberti Apr-2020
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	M.Salleolini	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	

ITR RFI 5 s.p.a.  
Direzione delle Infrastrutture  
UO Infrastrutture Sud  
Dist. Ing. Paolo Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 1187/8



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

## INDICE

1.	PREMESSA.....	4
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
4.	UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	8
5.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	9
5.1	CALCESTRUZZO.....	9
5.2	ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA B450 C.....	11
6.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	12
7.	CRITERI DI VERIFICA.....	14
7.1	VERIFICHE GEOTECNICHE (SLU) IN CONDIZIONI STATICHE.....	14
7.1.1	VERIFICA A SCORRIMENTO.....	16
7.1.2	VERIFICA A RIBALTAMENTO.....	17
7.1.3	VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE.....	17
7.1.4	VERIFICA A STABILITÀ GLOBALE .....	17
7.2	VERIFICHE GEOTECNICHE (SLV) IN CONDIZIONI SISMICHE .....	18
7.3	VERIFICHE GEOTECNICHE (SLE).....	20
	VERIFICHE STRUTTURALI SLU .....	21
7.3.1	CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.....	21
7.3.2	VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE - PRESSOFLESSIONE.....	21
7.3.3	VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO.....	21
7.4	VERIFICHE STRUTTURALI SLE .....	23
7.4.1	VERIFICHE ALLE TENSIONI.....	23
7.4.2	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	VALUTAZIONE DELL' AZIONE SISMICA .....	29
8.4	COMBINAZIONI DI CARICO .....	31
9.	PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOSTEGNO "TIPO 1".....	35
9.1	DATI DI INPUT .....	35
9.2	CALCOLO DELLE AZIONI.....	38
9.2.1	FORZE VERTICALI E INERZIALI.....	38
9.2.2	SPINTE IN CONDIZIONE STATICA .....	40
9.2.3	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +.....	41
9.2.4	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -.....	42
9.3	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	43
9.3.1	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE.....	43
9.3.2	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE.....	45
9.3.3	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE.....	49
9.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	53
9.4.1	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.....	53
9.4.2	VERIFICHE SLU .....	55
9.4.3	VERIFICHE SLE TENSIONE .....	57
9.4.4	VERIFICHE SLE FESSURAZIONE .....	58

## 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 Vallelunga – Caltanissetta Xirbi (Lotto 3b).

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche del muro di sostegno MU94A che si sviluppa in corrispondenza del piazzale PT55 – Piazzale – Imbocco lato CT galleria Marianopoli all'interno della viabilità NV58 (Figura 1-1, Figura 1-2).

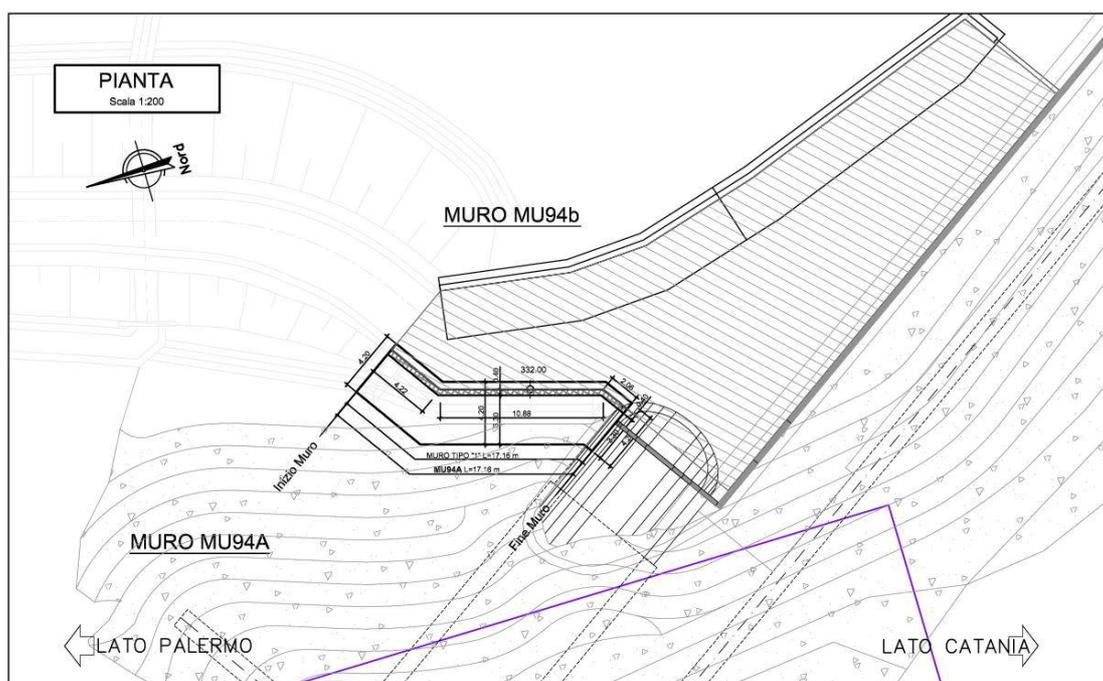


Figura 1-1 – PT55: Muro di sostegno MU94A - Pianta.

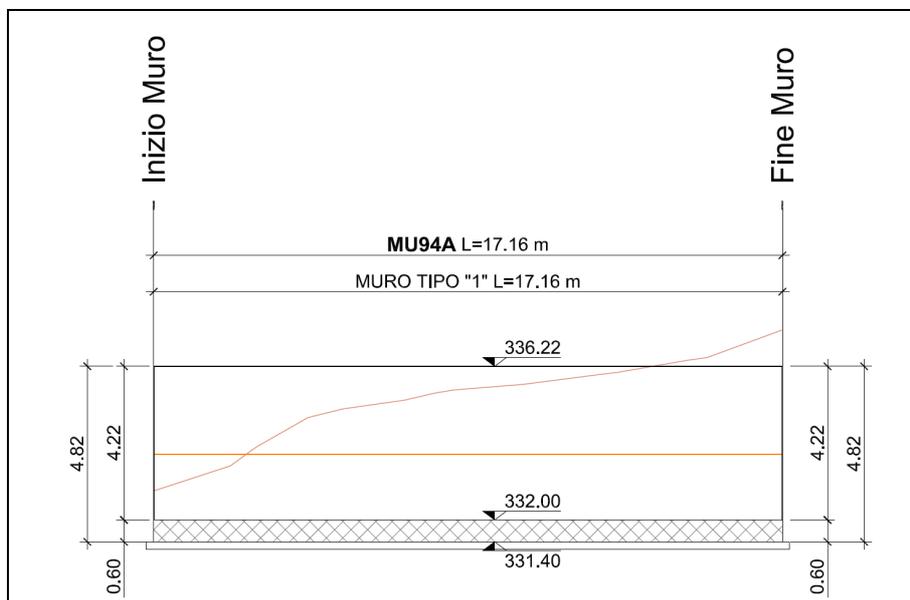


Figura 1-2 – PT55: Muro di sostegno MU94A - Prospetto.

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

L'altezza del muro è variabile con lo sviluppo dell'opera stessa fino ad un massimo di 4.22m, con spessore del paramento in testa di 0.4m, spessore della soletta di fondazione pari a 0.60m e larghezza della stessa pari a 4.20m.

E' stata individuata la tipologia di "muro di sostegno" le cui caratteristiche sono di seguito riassunte:

- muro "tipo 1" per altezze fino a 4.50 metri 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 100 cm. L'altezza del paramento massima è pari a 4.22 m (Figura 1-3).

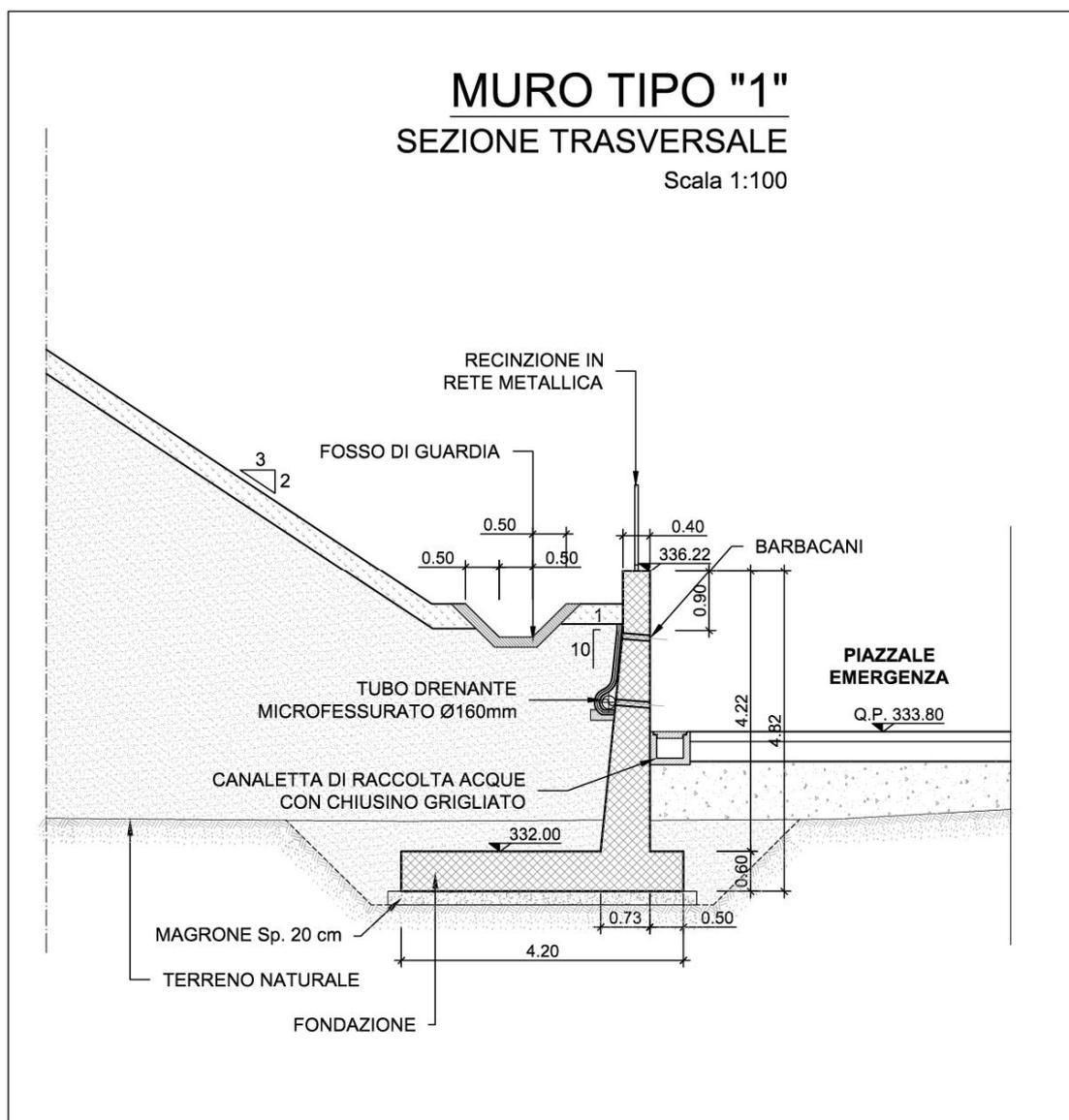


Figura 1-3 – PT55: Muro di sostegno MU94A - Sezione.

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B					
PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B	FOGLIO 7 di 58

## 2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

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

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

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

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

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

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

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

## 3. **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

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

RS3T.3.0.D.78.P9.MU.94.A.0.001: “Opere di sostegno viabilità – Lotto 3b – PT55: Muro di sostegno MU94A – Pianta, prospetto e sezioni”

RS3T.3.0.D.78.TT.OC.00.0.0.007.A: “Opere civili – Elaborati generali OO. CC. – Tabella incidenze armature Opere Civili Viabilità – Lotto 3b”

RS3T.3.0.D.78.GE.GE.00.0.0.002.B: “Geotecnica – Elaborati generali – Relazione geotecnica generale – Lotto 3b”

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

#### 4. UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

unità di misura principali

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

unità di misura derivate **kN**

(kiloNewton)	103N
<b>MN</b> (megaNewton)	106N
<b>kgf</b> (kilogrammo-forza)	1 kgf = 9.81 N
<b>cm</b> (centimetro)	10 <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	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

$\tau$ (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;

Rck = resistenza cubica = 40 N/mm<sup>2</sup>;

fck = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83 Rck = 33.20 N/ mm<sup>2</sup>;

fcm = resistenza cilindrica media = fck + 8 = 41.20 N/ mm<sup>2</sup>;

fcd = acc fck/ $\gamma_c$  = 18,81 N/mm<sup>2</sup>;

fctm = resistenza a trazione media = 0.30 x fck<sup>2/3</sup> = 3.10 N/ mm<sup>2</sup>;

fcfm = resistenza a traz. per flessione media = 1.20 x fctm = 3.72 N/ mm<sup>2</sup>;

fckf = resistenza a traz. per flessione carati. = 0.70 x fcfm = 2.60 N/ mm<sup>2</sup>;

Ecm = modulo elast. tra 0 e 0.40fcm = 22000 x (fcm/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  $c_{min}$  = 50 mm

Condizioni ambientali: aggressive

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B												
PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A 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>MU94A0 001</td> <td>B</td> <td>10 di 58</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30 D 78	CL	MU94A0 001	B	10 di 58
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30 D 78	CL	MU94A0 001	B	10 di 58								

### 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:	14	[mm]
Classe Calcestruzzo:	C32/40	
Condizioni ambientali:	Aggressive	
Vita nominale costruzione:	75	[anni]
Tolleranza di posa:	10	[mm]
<b>Copriferro staffe:</b>		
Copriferro minimo $c_{min}$ :	40	[mm]
Copriferro nominale Netto Staffe:	50	[mm]
<b>Copriferro barre longitudinali:</b>		
Copriferro nominale Netto barre longitudinali:	70	[mm]
<b>Copriferro nominale dal Baricentro della Barra longitudinale:</b>	<b>80</b>	<b>[mm]</b>

## 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:

$f_{v \text{ nom}}$	450 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t \text{ nom}}$	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 $f_{yk}$	$\geq f_{v \text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t \text{ nom}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_v/f_{v \text{ nom}})_k$	$\leq 1,25$	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:		
$\phi < 12 \text{ mm}$	4 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 $\phi$	

Tabella 5-2 Requisiti acciaio.

Inoltre si ha:

- $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$
- 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:

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

## 6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

I risultati delle indagini geotecniche, in sito e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico, rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dalle opere.

Si definiscono dunque i parametri geotecnici caratteristici utilizzati nelle analisi numeriche mostrate nel seguito.

U.G.	da	a	$\gamma$	$c'$	$c_u$	$\phi'$	$E_{op}$	$\nu$
[-]	[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
C	0	5	19	3	-	20	15	0.3
TRV	5	40	21	20	200	20	230	0.3

Tabella 3. Parametri geotecnici caratteristici

in cui:

$\gamma$  = peso specifico del terreno;

$c'_k$  = coesione efficace;

$c_u$  = coesione non drenata;

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

$E'_{op}$  = modulo di Young

La falda è posta ad una profondità superiore a 30 metri dal piano campagna.

PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A  
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU94A0 001	B	13 di 58

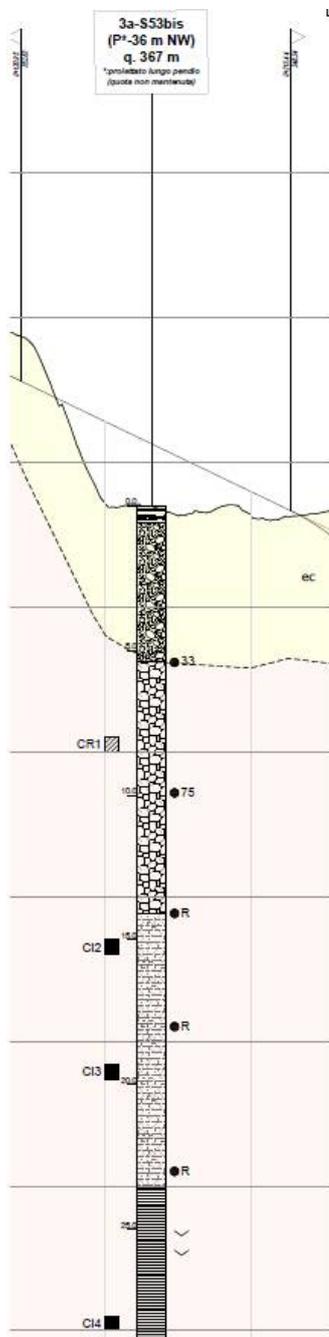


Figura 6-1. Stralcio del profilo geotecnico

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

## 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.

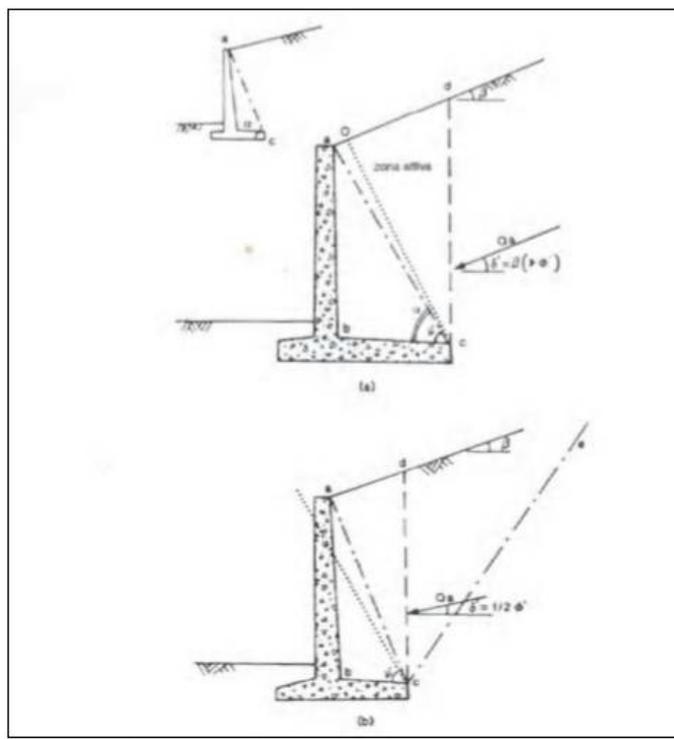


Figura 7-1 – Spinta sui muri di sostegno a mensola con suola lunga (caso a) e con suola corta (caso b).

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  $\delta = \varphi'$ .

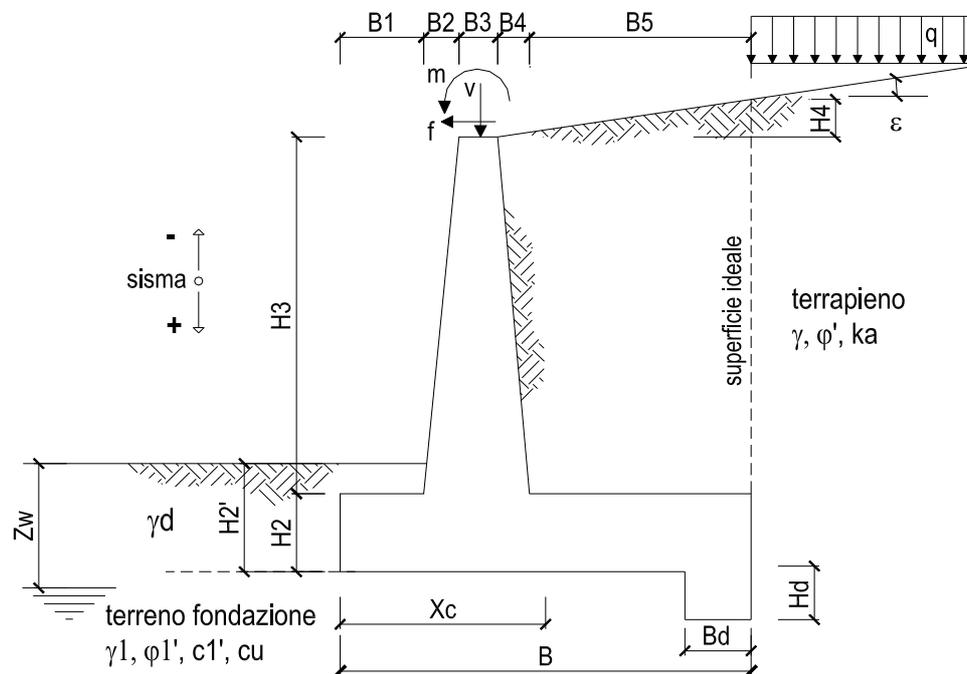
Il terreno al di sopra della suola (abcd) è stato considerato stabilizzante nelle verifiche, e ad esso sono da applicarsi le forze d'inerzia in fase sismica.

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:



### 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.

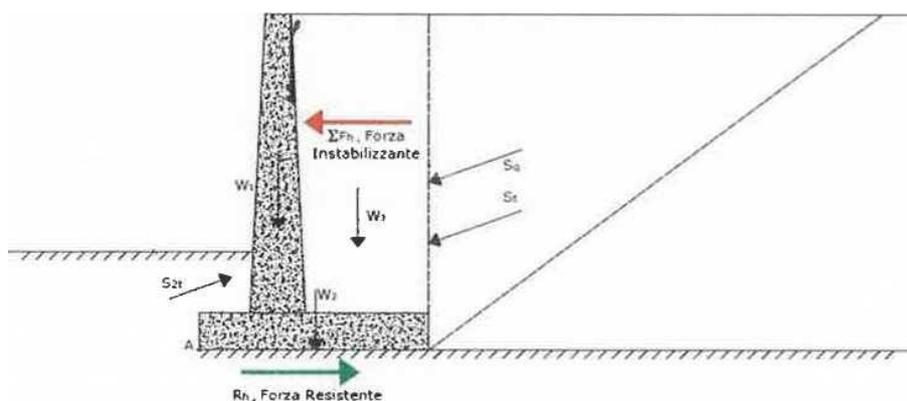


Figura 7-2 – Verifica a scorrimento.

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.

### 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.

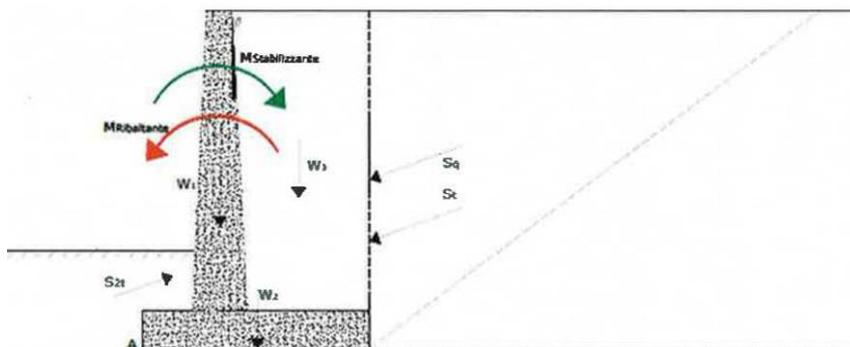


Figura 7-3– Verifica a ribaltamento.

### 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:

$$q_{lim} = c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c z_c + q N_q s_q d_q i_q b_q g_q z_q + 0.5 \gamma B N s_y d_y i_y b_y g_y z_y$$

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

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>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

## 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)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B</b>					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

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

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:

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

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

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

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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

## 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.

### 7.3.1 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.

### 7.3.2 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.

### 7.3.3 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:

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B</p>												
<p>PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A 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>MU94A0 001</td> <td>B</td> <td>22 di 58</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30 D 78	CL	MU94A0 001	B	22 di 58
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30 D 78	CL	MU94A0 001	B	22 di 58								

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

- 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;

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2};$$

$1 \leq \operatorname{cot}\theta \leq 2.5$  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;

$f_{ywd}$  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;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B</b>					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

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

## 7.4 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

### 7.4.1 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".

La verifica consiste nel 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).

#### 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  $0.75 f_{yk}$ .

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B</b>					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

Per il caso in esame risulta in particolare :

- Muro di sostegno:

#### CALCESTRUZZO

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

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

#### ACCIAIO

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

#### 7.4.2 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	$\leq w_1$

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:

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

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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b)          OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B</p>					
<p>PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A          RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>COMMESSA RS3T</p>	<p>LOTTO 30 D 78</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO MU94A0 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 25 di 58</p>

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.

## 8. ANALISI DEI CARICHI

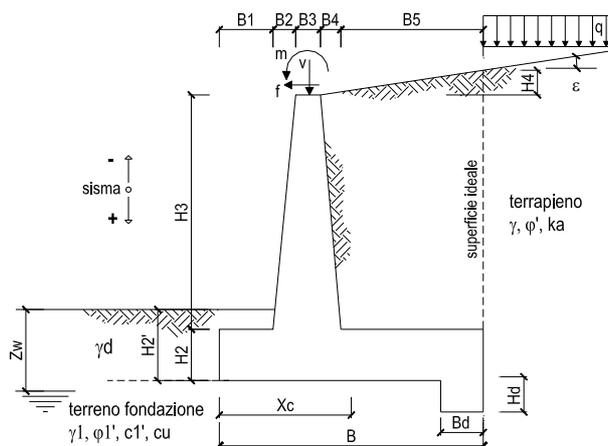
Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

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.

## 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 di riporto (materiale proveniente da cava).

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

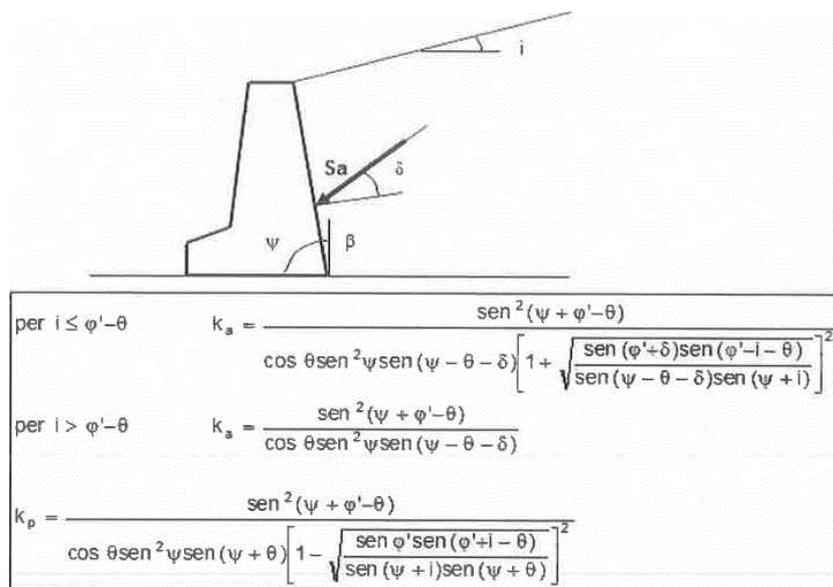


Figura 8-2 – Coefficiente di spinta attiva e passiva.

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.

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  $\delta = \varphi'$ .

<i><b>Dati Geotecnici</b></i>			<i>valori caratteristici SLE</i>	<i>valori di progetto</i>	
				STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\varphi'$	30.00	30.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$	19.00	19.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$	10.00	10.00

*Figura 8-3 – Dati geotecnici*

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B</b>					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

### 8.3 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Le opere in progetto interessano un sito con le seguenti coordinate geografiche: lat = 37.736472 e long.= 13.666408

Alle strutture di sostegno, trattandosi di opere definitive, si attribuisce un periodo di riferimento  $V_R = 75$  anni (cfr. tab. C2.4.I della Circolare 7/19).

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica,  $P_{VR}$ , attribuita allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), nel periodo  $V_R$  dell'opera in progetto, si determina il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma di progetto:

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

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale è stato valutato con approccio semplificato (cfr. § 3.2.2 del DM 17/01/2018) basato sulla classificazione del sottosuolo sulla base dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.3.II del DM 17/01/2018.

La categoria di suolo di riferimento è la categoria di suolo C.

Pertanto, tenendo conto dei fattori locali del sito, l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è valutata con la relazione (cfr. cap. 7 DM 17/01/2018):

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)$$

dove:

$a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido;

$S_s$  è il fattore di amplificazione stratigrafica del terreno, funzione della categoria del sottosuolo di fondazione e dei parametri sismici  $F_0$  e  $a_g/g$  (Tabella 3.2.IV del D.M. 17/01/2018);

$S_T$  è il fattore di amplificazione che tiene conto delle condizioni topografiche, il cui valore dipende dalla categoria topografica e dall'ubicazione dell'opera (Tabella 3.2.V del D.M. 17/01/2018).

I valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica per le opere sono riportati nella seguente tabella:

**Tabella 1 – Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto**

	MU94A	
	Strutture di sostegno	
Coord. geografiche	Latitudine: 37.736472	Longitudine: 13.666408
$T_R$	1068 (SLV)	
$a_g(g)$	0.115	
$F_0$	2.654	
Categoria sottosuolo	C	
$S_s$	1.50	
Categoria topografica	T2	
$S_T$	1.20	
$a_{max}/g$	0.171	

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B</b>					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

## 8.4 COMBINAZIONI DI CARICO

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

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B</b>					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

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.

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 8-1 - 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 8-2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

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

Tabella 8-3 – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi dei muri di sostegno.

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B</b>					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

Tabella 8-4 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

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 8-5 – 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.

Al fine della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si devono considerare, generalmente, le combinazioni riportate nella seguente tabella:

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5kN/m <sup>2</sup>
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(\*) Ponti pedonali  
 (\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
 (\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Tabella 8-6 – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico.

Questa fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimo.

I valori dei coefficienti di combinazione  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$ ,  $\psi_{2j}$  per le diverse categorie sono riportati nella tabella successiva:

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combi- nazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequent)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Tabella 8-7 – Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali.

Per le azioni da urto sono eccezionali, pertanto, si segue la rispettiva combinazione di carico per la sua valutazione.

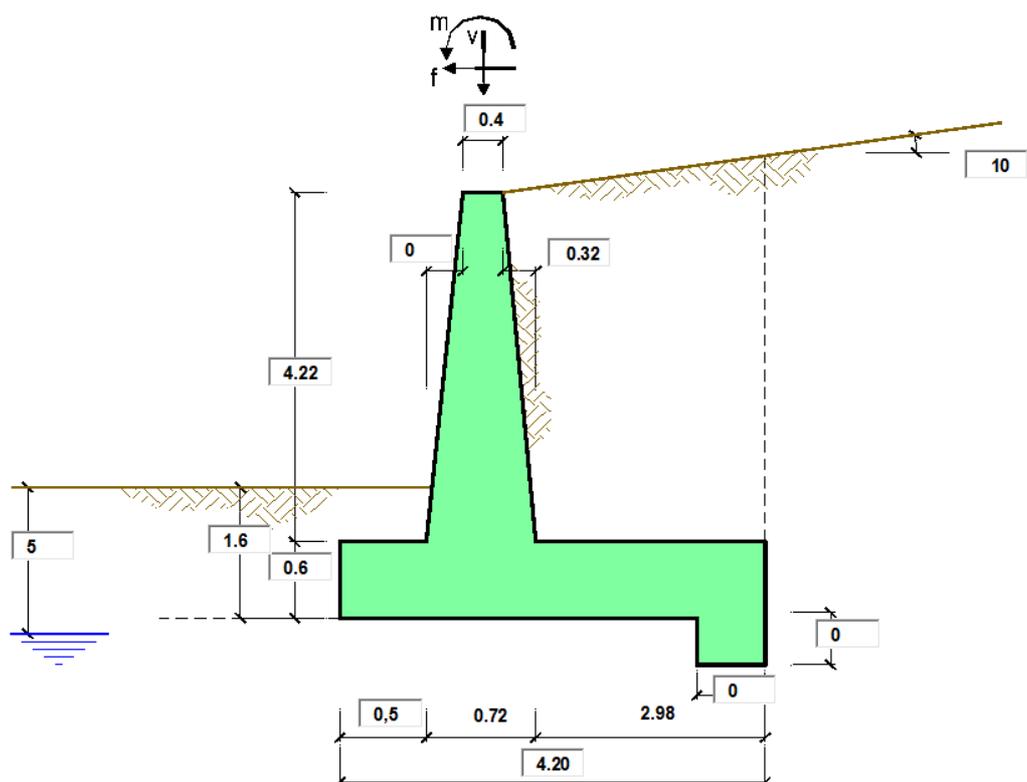
Si ottengono le seguenti combinazioni di carico per le verifiche:

Caso	Peso proprio	Traffico	Pav. Stradale	Spinta	Qecc	$\tan \varphi'$	$c'$	$c_u$
A1+M1+R3	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1	1	1
A2+M2+R2	1	1.15	1	1	0	1.25	1.25	1.4
SISMA+M1+R3 (+)	1	0.2	1	1	0	1	1	1
SISMA+M1+R3 (-)	1	0.2	1	1	0	1	1	1
SISMA+M2+R2 (+)	1	0.2	1	1	0	1.25	1.25	1.4
SISMA+M2+R2 (-)	1	0.2	1	1	0	1.25	1.25	1.4
SLE, rara	1	1	1	1	0	1	1	1
SLE, frequente	1	1	1	1	0	1	1	1
SLE, quasi permanente	1	0	1	1	0	1	1	1
ECC, urto	1	0	1	1	1	1	1	1

Tabella 8-8– Combinazioni di carico.

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

### 9.1 DATI DI INPUT



#### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	4.22	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.32	(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 =	2.98	(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> )
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

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

<b>Dati Geotecnici</b>			valori caratteristici		valori di progetto	
			SLE		STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\phi'$	30.00	30.00	30.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$	19.00	19.00	19.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$	10.00	10.00	10.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni		<input checked="" type="radio"/> drenate <input type="radio"/> Non Drenate			
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c1'$	3.00	3.00	3.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\phi1'$	20.00	20.00	20.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma1$	19.00	19.00	19.00
	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	1500		

Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	0.115	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	$S_s$	1.5	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Topografico	$S_T$	1.2	(-)	
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	$\beta_s$	0.38	(-)	
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.07866	(-)	
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0393	(-)	
Muro libero di traslare o ruotare			<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no		

			STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.350	0.350
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.413	0.449
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.419	0.464
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	2.040	2.040
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	1.927	1.870
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	1.917	1.846

<b>Carichi Agenti</b>			valori caratteristici		valori di progetto	
			SLE - sisma		STR/GEO	EQU
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	0.00	0.00	0.00
	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 $\Psi1$		1.00	condizione quasi permanente $\Psi2$	0.00	0.00
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m <sup>2</sup> )	qs	0.00		
	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		

PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A  
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU94A0 001	B	37 di 58

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

#### Calcestruzzo

classe cls	C32/40		
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		
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$	18.13	(MPa)	
$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	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	w1	0.2	mm
Quasi Permanente	w1	0.2	mm

#### Acciaio

tipo di acciaio	B450C		
f <sub>yk</sub> =	450	(MPa)	
γ <sub>s</sub> =	1.15		
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / \gamma_E =$	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 = 8.00 (cm)

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

c<sub>min</sub> = 5.00 (cm)

#### Interferro tra I e II strato

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

## 9.2 CALCOLO DELLE AZIONI

### 9.2.1 FORZE VERTICALI E INERZIALI

#### FORZE VERTICALI

##### - Peso del Muro (Pm)

			SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	42.20	42.20	42.20
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	(kN/m)	16.88	16.88	16.88
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	63.00	63.00	63.00
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m)	122.08	122.08	122.08

##### - Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	(kN/m)	238.94	238.94	238.94
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	(kN/m)	18.24	18.24	18.24
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	(kN/m)	12.83	12.83	12.83
Sovr =	$qp \cdot (B4 + B5)$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr	(kN/m)	270.01	270.01	270.01

##### - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B4 + B5)$	(kN/m)	0	0	
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B4 + B5)$	(kN/m)	0		

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

##### - Muro (Mm)

			SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$	(kNm/m)	29.54	29.54	29.54
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 \cdot B4)$	(kNm/m)	16.99	16.99	16.99
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	132.30	132.30	132.30
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m)	178.83	178.83	178.83

##### - Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	(kNm/m)	647.52	647.52	647.52
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	56.55	56.55	56.55
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	(kNm/m)	14.28	14.28	14.28
Msovr =	$Sovr \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr	(kNm/m)	718.35	718.35	718.35

##### - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	0	0	
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	0		

PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A  
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU94A0 001	B	39 di 58

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps h =	$P_m \cdot kh$	(kN/m)	9.60	14.40
Ps v =	$P_m \cdot kv$	(kN/m)	4.80	7.20

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

Ptsh =	$P_t \cdot kh$	(kN/m)	21.24	31.86
Ptsh v =	$P_t \cdot kv$	(kN/m)	10.62	15.93

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

MPs1 h =	$kh \cdot P_m1 \cdot (H_2 + H_3/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 h =	$kh \cdot P_m2 \cdot (H_2 + H_3/2)$	(kNm/m)	9.00	13.49
MPs3 h =	$kh \cdot P_m3 \cdot (H_2 + H_3/3)$	(kNm/m)	2.66	4.00
MPs4 h =	$kh \cdot P_m4 \cdot (H_2/2)$	(kNm/m)	1.49	2.23
MPs5 h =	$-kh \cdot P_m5 \cdot (H_d/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs h =	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	13.15	19.72

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

MPs1 v =	$kv \cdot P_m1 \cdot (B_1 + 2/3 \cdot B_2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 v =	$kv \cdot P_m2 \cdot (B_1 + B_2 + B_3/2)$	(kNm/m)	1.16	1.74
MPs3 v =	$kv \cdot P_m3 \cdot (B_1 + B_2 + B_3 + B_4/3)$	(kNm/m)	0.67	1.00
MPs4 v =	$kv \cdot P_m4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	5.20	7.81
MPs5 v =	$kv \cdot P_m5 \cdot (B - B_d/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs v =	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	7.03	10.55

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

MPts1 h =	$kh \cdot P_t1 \cdot (H_2 + H_3/2)$	(kNm/m)	50.93	76.40
MPts2 h =	$kh \cdot P_t2 \cdot (H_2 + H_3 + H_4/3)$	(kNm/m)	12.36	18.54
MPts3 h =	$kh \cdot P_t3 \cdot (H_2 + H_3 \cdot 2/3)$	(kNm/m)	3.44	5.17
MPts h =	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	66.74	100.11

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

MPts1 v =	$kv \cdot P_t1 \cdot ((H_2 + H_3/2) - (B - B_5/2) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	25.47	38.20
MPts2 v =	$kv \cdot P_t2 \cdot ((H_2 + H_3 + H_4/3) - (B - B_5/3) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	2.30	3.45
MPts3 v =	$kv \cdot P_t3 \cdot ((H_2 + H_3 \cdot 2/3) - (B_1 + B_2 + B_3 + 2/3 \cdot B_4) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	0.70	1.04
MPts v =	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	28.46	42.70

## 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) 96.89	125.96	125.96
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) 0.00	0.00	0.00

- Componente orizzontale condizione statica

Sth =	$St \cdot \cos \delta$	(kN/m) 95.42	124.05	124.05
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) 0.00	0.00	0.00

- Componente verticale condizione statica

Stv =	$St \cdot \sin \delta$	(kN/m) 16.83	21.87	21.87
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) 0.00	0.00	0.00

- Spinta passiva sul dente

$Sp = \frac{1}{2} \cdot g_1 \cdot H_d^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot H_d^2 \cdot k_p + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot H_d$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
--	--------	------	------	------

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
MSt1 =	$Sth \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 3 - H_d)$	(kNm/m) 171.81	223.36	223.36
MSt2 =	$Stv \cdot B$	(kNm/m) 70.67	91.86	91.86
MSq1 perm =	$Sqh \text{ perm} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSq1 acc =	$Sqh \text{ acc} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSq2 perm =	$Sqv \text{ perm} \cdot B$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSq2 acc =	$Sqv \text{ acc} \cdot B$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
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 =	$mp + m$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
Mfext2 =	$(fp + f) \cdot (H_3 + H_2)$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
Mfext3 =	$(vp + v) \cdot (B_1 + B_2 + B_3 / 2)$	(kNm/m) 2.45	2.45	2.45

### 9.2.3 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica +

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	96.89	96.89	96.89
Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	22.14	22.14	34.81
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)	0.00	0.00	0.00

- Componente orizzontale condizione sismica +

Sst1h stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	95.42	95.42	95.42
Sst1h sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	21.80	21.80	34.28
Ssq1h perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1h acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente verticale condizione sismica +

Sst1v stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	16.83	16.83	16.83
Sst1v sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	3.84	3.84	6.04
Ssq1v perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1v acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- 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 = $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	(kNm/m)	171.81	171.81	171.81
MSst1 sism = $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	(kNm/m)	39.26	39.26	61.72
MSst2 stat = $Sst1v \text{ stat} \cdot B$	(kNm/m)	70.67	70.67	70.67
MSst2 sism = $Sst1v \text{ sism} \cdot B$	(kNm/m)	16.15	16.15	25.39
MSsq1 = $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSsq2 = $Ssq1v \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
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	

## 9.2.4 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$	(kN/m)	96.89	96.89	96.89
Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (1 - k_v) \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a \cdot S_{st1 \text{ stat}}$	(kN/m)	14.69	14.69	24.06
Ssq1 perm = $q_p \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1 acc = $q_s \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente orizzontale condizione sismica -

Sst1h stat = $S_{st1 \text{ stat}} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	95.42	95.42	95.42
Sst1h sism = $S_{st1 \text{ sism}} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	14.47	14.47	23.70
Ssq1h perm = $S_{sq1 \text{ perm}} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1h acc = $S_{sq1 \text{ acc}} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente verticale condizione sismica -

Sst1v stat = $S_{st1 \text{ stat}} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	16.83	16.83	16.83
Sst1v sism = $S_{st1 \text{ sism}} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	2.55	2.55	4.18
Ssq1v perm = $S_{sq1 \text{ perm}} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1v acc = $S_{sq1 \text{ acc}} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Spinta passiva sul dente

$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma'_1 \cdot (1 - k_v) \cdot H_d^2 \cdot k_{ps} + (2 \cdot c_1 \cdot k_{ps}^{0.5} + \gamma'_1 \cdot (1 - k_v) \cdot k_{ps} \cdot H_2) \cdot H_d$	(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 = $S_{st1h \text{ stat}} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + h_d) / 3 - h_d)$	(kNm/m)	171.81	171.81	171.81
MSst1 sism = $S_{st1h \text{ sism}} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 3 - H_d)$	(kNm/m)	26.06	26.06	42.67
MSst2 stat = $S_{st1v \text{ stat}} \cdot B$	(kNm/m)	70.67	70.67	70.67
MSst2 sism = $S_{st1v \text{ sism}} \cdot B$	(kNm/m)	10.72	10.72	17.55
MSsq1 = $S_{sq1h} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSsq2 = $S_{sq1v} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSp = $\gamma'_1 \cdot H_d^3 \cdot k_{ps} / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot k_{ps}^{0.5} + \gamma'_1 \cdot k_{ps} \cdot H_2) \cdot H_d^2 / 2$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

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

### 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)				
$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} \text{ perm} + S_{qv} \text{ acc}$	417.46	(kN/m)		
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{th} + S_{qh} + f$	124.05	(kN/m)		
Coefficiente di attrito alla base (f)				
$f = \text{tg}\phi_1'$	0.36	(-)		
<b>Fs scorr.</b>	<b>(N*f + Sp) / T</b>	<b>1.22</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.1</b>

##### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
$M_s = M_m + M_t + M_{fext3}$	899.63	( kNm/m )		
Momento ribaltante (Mr)				
$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp}$	131.49	( kNm/m )		
<b>Fs ribaltamento</b>	<b>Ms / Mr</b>	<b>6.84</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.15</b>

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

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{Sovr acc})$	417.46	417.46	417.46	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p$	124.05	124.05	124.05	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
$MM = \sum M$	768.14	768.14	768.14	( kNm/m )
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
$M = X_c * N - MM$	108.53	108.53	108.53	( kNm/m )

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

Fondazione Nastriforme

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

c1'	coesione terreno di fondaz.	3.00		(kPa)
φ1'	angolo di attrito terreno di fondaz.	20.00		(°)
γ1	peso unità di volume terreno fondaz.	17.10		(kN/m <sup>3</sup> )
q <sub>0</sub> = γ <sub>d</sub> *H <sub>2</sub> '	sovraccarico stabilizzante	30.40		(kN/m <sup>2</sup> )
e = M / N	eccentricità	0.26	0.26	(m)
B* = B - 2e	larghezza equivalente	3.68	3.68	(m)

I valori di N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub> e N<sub>γ</sub> sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

N <sub>q</sub> = tg <sup>2</sup> (45 + φ'/2)*e <sup>(π*tg(φ'))</sup>	(1 in cond. nd)	6.40		(-)
N <sub>c</sub> = (N <sub>q</sub> - 1)/tg(φ')	(2+π in cond. nd)	14.83		(-)
N <sub>γ</sub> = 2*(N <sub>q</sub> + 1)*tg(φ')	(0 in cond. nd)	5.39		(-)

I valori di i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub> e i<sub>γ</sub> sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

i <sub>q</sub> = (1 - T/(N + B*c'*cotgφ')) <sup>m</sup>	(1 in cond. nd)	0.52	0.52	(-)
i <sub>c</sub> = i <sub>q</sub> - (1 - i <sub>q</sub> )/(N <sub>q</sub> - 1)		0.43	0.43	(-)
i <sub>γ</sub> = (1 - T/(N + B*c'*cotgφ')) <sup>m+1</sup>		0.38	0.38	(-)

(fondazione nastriforme m = 2)

q <sub>lim</sub>	(carico limite unitario)	185.05	185.05	(kN/m <sup>2</sup> )
------------------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b>F = q<sub>lim</sub>*B*/ N</b>	N <sub>min</sub>	<b>1.63</b>	>	<b>1.4</b>
		N <sub>max</sub>	<b>1.63</b>	>	

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA VALLELUNGA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3b) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI – LOTTO 3B					
	PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU94A0 001	REV. B

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

Condizione sismica +

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)				
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$		431.68	(kN/m)	
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$		148.07	(kN/m)	
Coefficiente di attrito alla base (f)				
$f = \operatorname{tg}\varphi_1'$		0.36	(-)	
<b><math>F_s = (N \cdot f + S_p) / T</math></b>		<b>1.06</b>	<b>&gt;</b>	<b>1</b>

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
$M_s = M_m + M_t + M_{fext3}$		899.63	(kNm/m)	
Momento ribaltante (Mr)				
$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$		204.07	(kNm/m)	
<b><math>F_r = M_s / M_r</math></b>		<b>4.41</b>	<b>&gt;</b>	<b>1</b>

#### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (Sovr\ acc)$		431.68	431.68	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$		148.07		(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
$MM = \sum M$		730.98	730.98	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
$M = X_c \cdot N - MM$		175.54	175.54	(kNm/m)

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

Fondazione Nastriforme

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

c1'	coesione terreno di fondaz.	3.00			(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	20.00			(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	17.10			(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d^*H2'$	sovraccarico stabilizzante	30.40			(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.41	0.41		(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.39	3.39		(m)

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

$N_q = tg^2(45 + \phi/2)*e^{(\pi*tg(\phi))}$	(1 in cond. nd)	6.40			(-)
$N_c = (N_q - 1)/tg(\phi)$	( $2+\pi$ in cond. nd)	14.83			(-)
$N_\gamma = 2*(N_q + 1)*tg(\phi)$	(0 in cond. nd)	5.39			(-)

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

$i_q = (1 - T/(N + B*c'*cotg\phi))^m$	(1 in cond. nd)	0.46	0.46		(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$		0.36	0.36		(-)
$i_\gamma = (1 - T/(N + B*c'*cotg\phi))^{m+1}$		0.31	0.31		(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	153.94	153.94		(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	--	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b><math>F = q_{lim}*B^*/ N</math></b>	<b>Nmin</b>	<b>1.21</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.2</b>
		<b>Nmax</b>	<b>1.21</b>	<b>&gt;</b>	

Condizione sismica -

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO**

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{t sv} \quad 399.54 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{t sh} \quad 140.73 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\phi_1' \quad 0.36 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.03} \quad > \quad \mathbf{1}$$

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO**

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 899.63 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 299.34 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{3.01} \quad > \quad \mathbf{1}$$

**VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{t sv} \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 399.54 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 399.54 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{t sh} - S_p \quad 140.73 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 667.76 \quad 667.76 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 171.28 \quad 171.28 \quad (\text{kNm/m})$$

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

Fondazione Nastriforme

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

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	3.00			(kN/mq)
$\phi'1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	20.00			(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	17.10			(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d^*H2'$	sovraccarico stabilizzante	30.40			(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.43	0.43		(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.34	3.34		(m)

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

$N_q = tg^2(45 + \phi'/2)*e^{(\pi*tg(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	6.40			(-)
$N_c = (N_q - 1)/tg(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	14.83			(-)
$N_\gamma = 2*(N_q + 1)*tg(\phi')$	(0 in cond. nd)	5.39			(-)

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

$i_q = (1 - T/(N + B*c'*cotg\phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.45	0.45		(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$		0.35	0.35		(-)
$i_\gamma = (1 - T/(N + B*c'*cotg\phi'))^{m+1}$		0.30	0.30		(-)

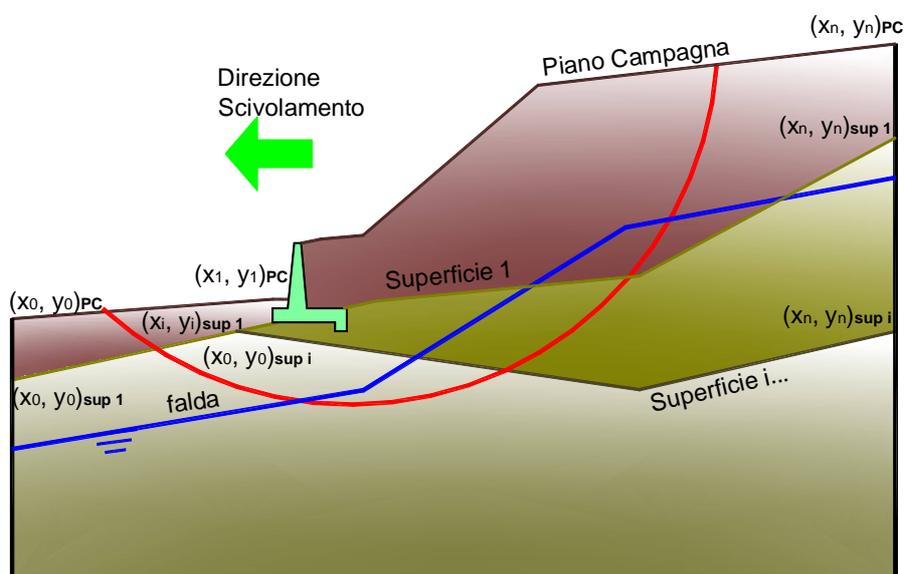
(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	149.32	149.32		(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	--	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b><math>F = q_{lim}*B^*/N</math></b>	$N_{min}$	<b>1.25</b>	>	<b>1.2</b>
		$N_{max}$	<b>1.25</b>	>	

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

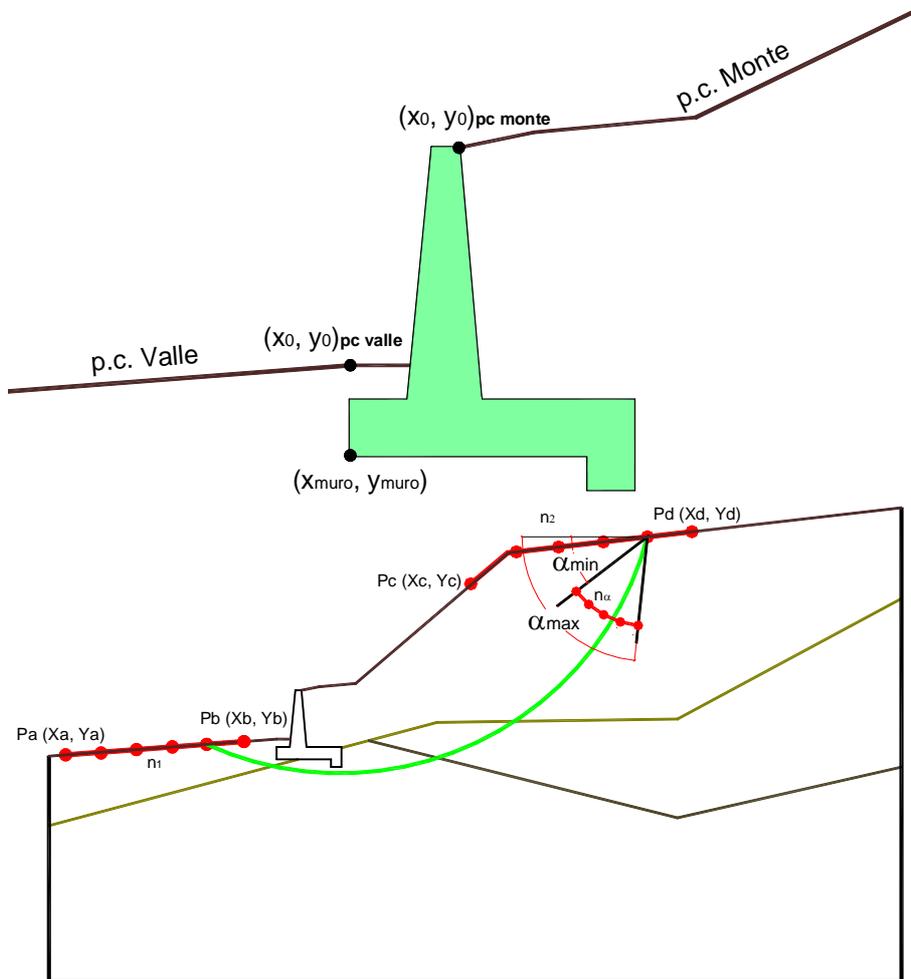
Le analisi di stabilità, di seguito riportate, sono state effettuate limitando la ricerca delle potenziali superfici di scorrimento critiche alla fascia più prossima alla linea stradale.



	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	$c$ [kPa]	Descrizione
<b>materiale 1</b>	19.00	30	0	Rilevato - riporto
<b>materiale 2</b>	21.00	20	3	Unità geotecnica 1 - COLTRE
<b>materiale 3</b>				
<b>materiale 4</b>				

PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A  
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU94A0 001	B	50 di 58



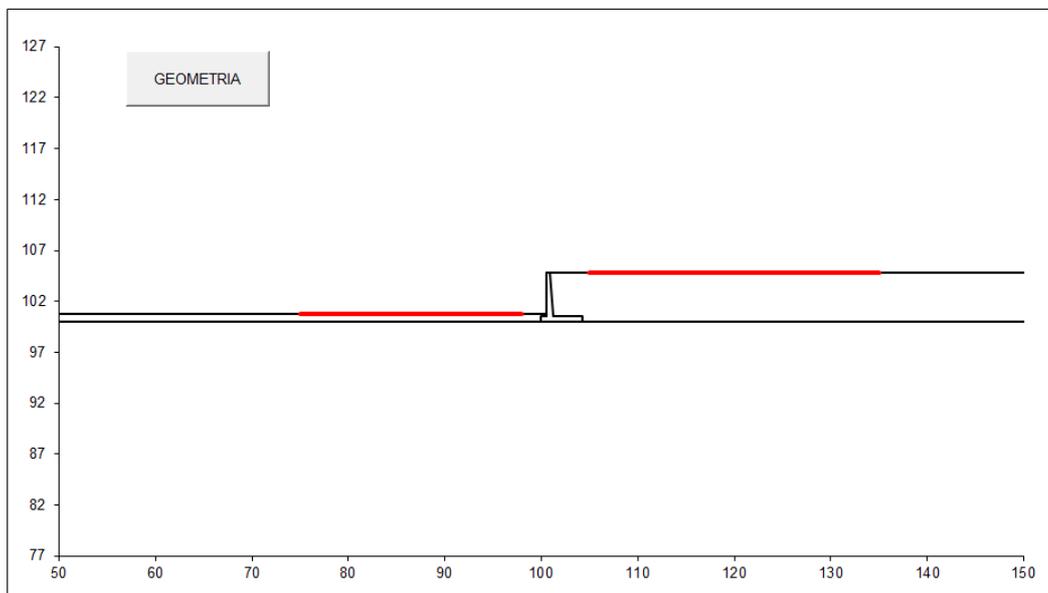
p.c. valle			p.c. monte			superficie 1		superficie 2		superficie 3		fida	
materiale 1						materiale 2		materiale 3		materiale 4			
x	y		x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	
0	100.000	100.800	0	100.900	104.820	0	50.000	100.000	0		0	50.000	70.800
1	50.000	100.800	1	150.000	104.820	1	150.000	100.000	1		1	150.000	70.800
2			2			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 <sub>in</sub>	Q <sub>in</sub>	X <sub>rin</sub>	Q <sub>rin</sub>	% sisma
sovraccarico 1	<input checked="" type="checkbox"/>	103.900	0	106.500	0	20%
sovraccarico 2	<input type="checkbox"/>					

PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A  
RELAZIONE DI CALCOLO

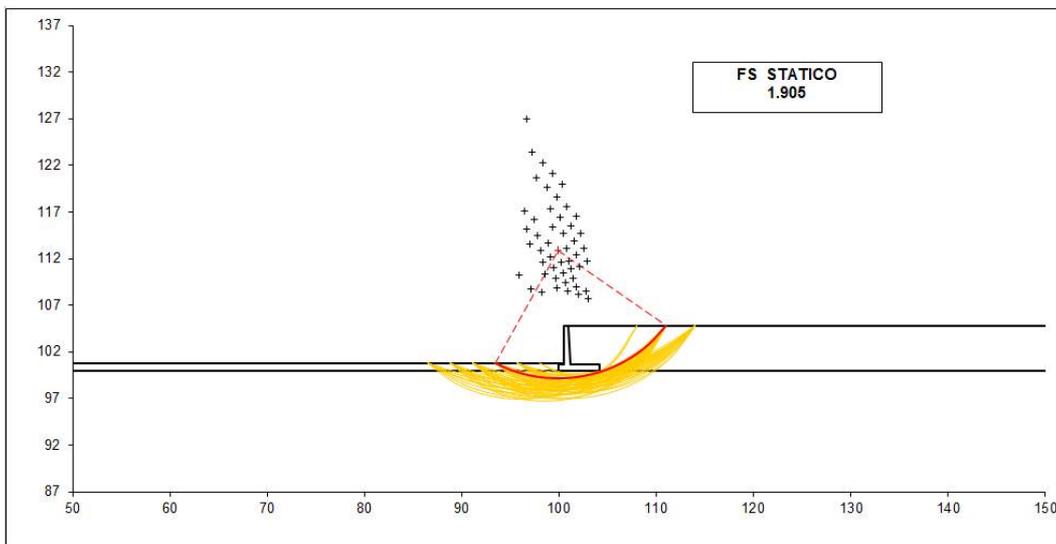
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU94A0 001	B	51 di 58



#strisce
30

# Superfici Calcolate	FS Bishop	
	887	STATICO
	SISMICO	1.417

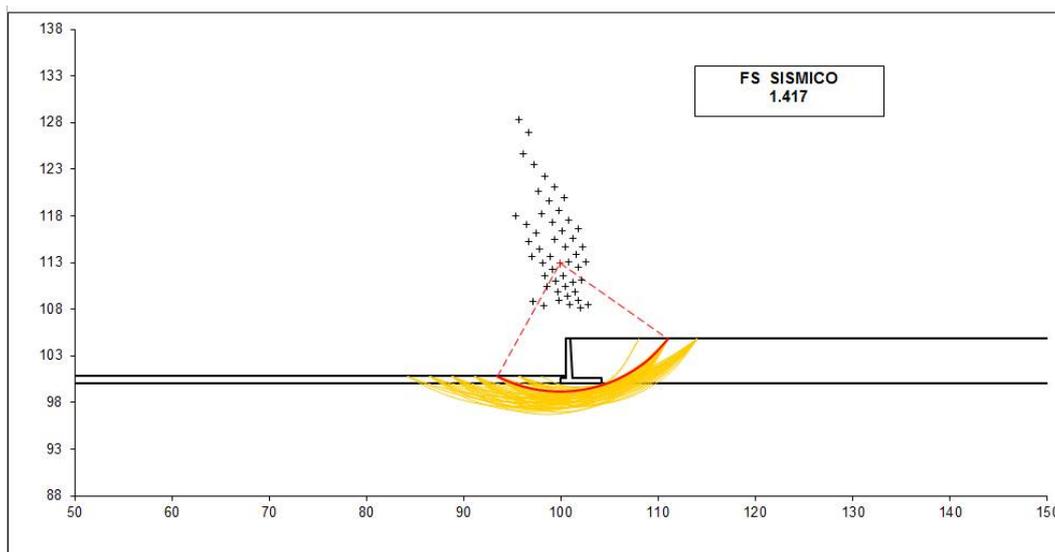
### Condizioni statiche



PT55: MURO DI SOSTEGNO MU94A  
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU94A0 001	B	52 di 58

## Condizioni sismiche



## 9.4 VERIFICHE STRUTTURALI

### 9.4.1 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

#### Reazione del terreno

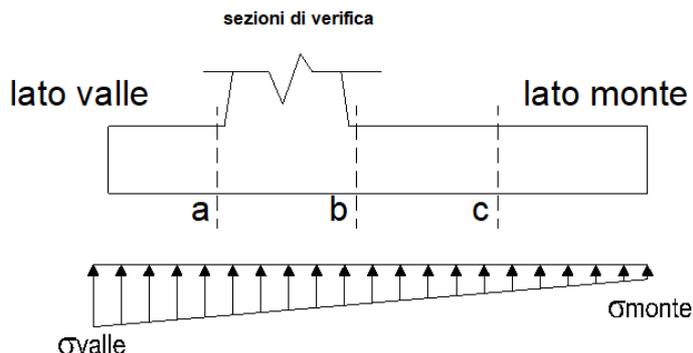
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

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

$$A = 1.0 \cdot B = 4.20 \text{ (m}^2\text{)}$$

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

caso	N	M	$\sigma_{valle}$	$\sigma_{monte}$
	[kN]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
statico	398.51	196.37	161.67	28.09
	494.21	153.30	169.81	65.53
sisma+	409.66	144.28	146.61	48.46
	422.86	138.34	147.73	53.63
sisma-	387.36	141.56	140.38	44.08
	400.56	135.62	141.50	49.24



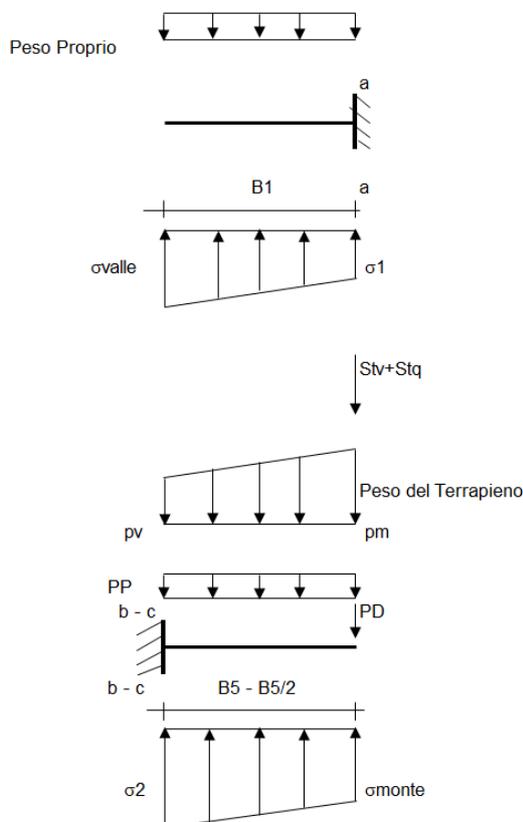
#### Mensola Lato Valle

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	161.67	145.77	17.67	69.36
	169.81	157.40	18.83	74.30
sisma+	146.61	134.93	15.91	65.59
	147.73	136.53	16.12	66.16
sisma-	140.38	128.92	15.25	62.48
	141.50	130.52	15.36	63.04



#### Mensola Lato Monte

PP = 15.00 (kN/m<sup>2</sup>)

PD = 0.00 (kN/m)

peso proprio soletta fondazione

peso proprio dente

	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	85.50	114.50	89.50	(kN/m <sup>2</sup> )
pvb	85.50	114.50	89.50	(kN/m <sup>2</sup> )
pvc	85.50	114.50	89.50	(kN/m <sup>2</sup> )

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$V_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B_5 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B_5 / 2 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B_5 / 2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2) + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2) / 2 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2) / 2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{monte}$	$\sigma_{2b}$	$M_b$	$V_b$	$\sigma_{2c}$	$M_c$	$V_c$
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	28.09	121.60	-178.23	-75.42	74.85	-61.39	-72.08
	65.53	138.53	-171.32	-80.77	102.03	-55.98	-67.21
sisma+	48.46	117.17	-138.18	-60.33	82.81	-46.92	-55.41
	53.63	119.50	-137.71	-61.40	86.56	-46.29	-54.91
sisma-	44.08	111.49	-134.47	-58.45	77.78	-45.76	-54.00
	49.24	113.82	-133.03	-58.85	81.53	-44.89	-53.16

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

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

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

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot q \cdot h^2$$

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

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

$$N_{ext} = v$$

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

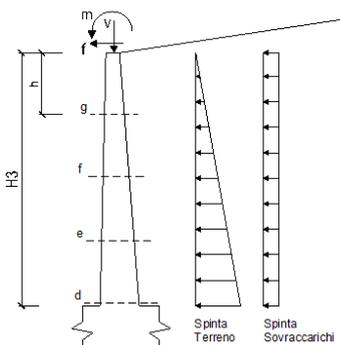
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

$$V_q = K_{a_{orizz}} \cdot q \cdot h$$

$$V_{ext} = f$$

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



**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	101.66	79.57	0.00	181.23	3.50	65.25	68.75
e-e	3.38	42.89	44.76	0.00	87.64	3.50	45.14	48.64
f-f	2.25	12.71	19.89	0.00	32.60	3.50	27.56	31.06
g-g	1.13	1.59	4.97	0.00	6.56	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	67.77	35.36	0.00	103.14
e-e	3.38	38.12	26.52	0.00	64.64
f-f	2.25	16.94	17.68	0.00	34.62
g-g	1.13	4.24	8.84	0.00	13.08

**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	78.20	11.09	12.19	0.00	7.43	108.90	3.50	67.09	70.59
e-e	3.38	32.99	4.68	6.86	0.00	3.94	48.46	3.50	46.41	49.91
f-f	2.25	9.77	1.39	3.05	0.00	1.64	15.85	3.50	28.34	31.84
g-g	1.13	1.22	0.17	0.76	0.00	0.38	2.54	3.50	12.87	16.37

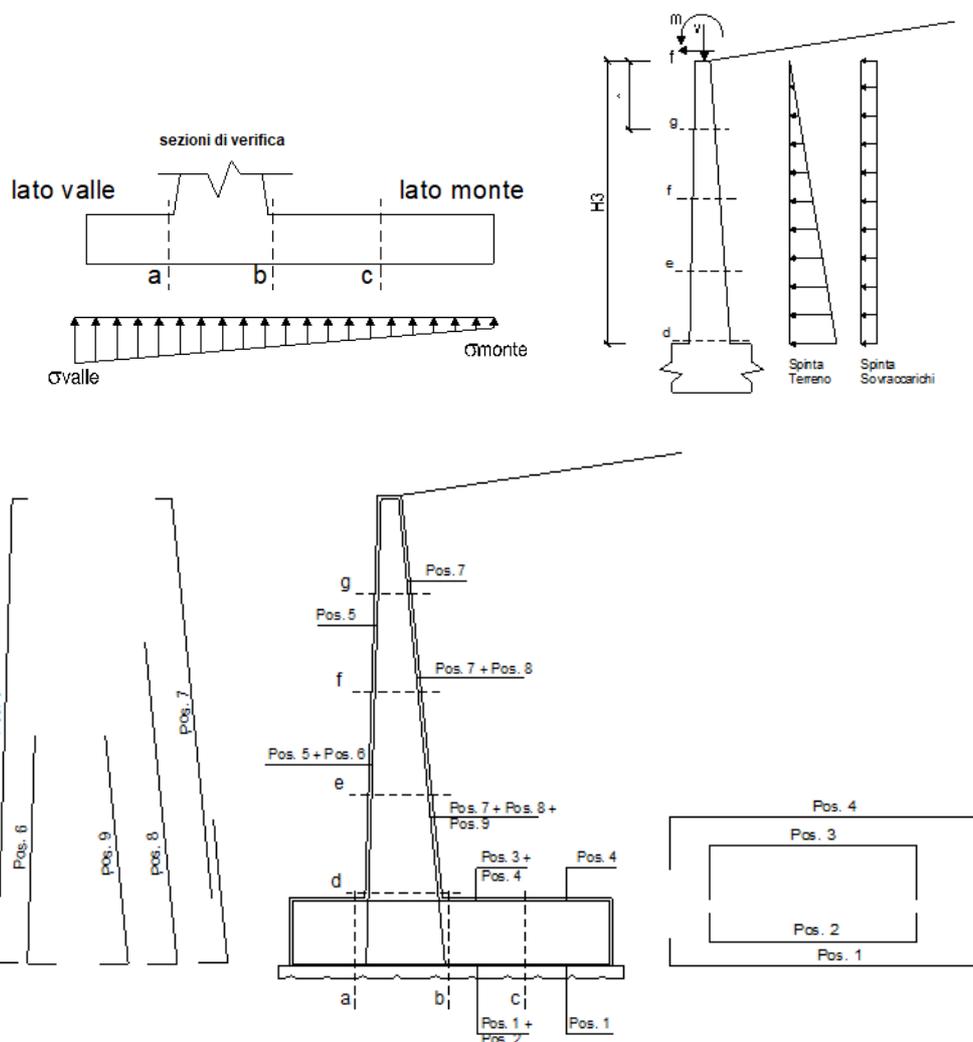
sezione	h	V <sub>t stat</sub>	V <sub>t sism</sub>	V <sub>q</sub>	V <sub>ext</sub>	V <sub>inerzia</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.50	52.13	7.39	5.42	0.00	3.68	68.62
e-e	3.38	29.32	4.16	4.06	0.00	2.55	40.09
f-f	2.25	13.03	1.85	2.71	0.00	1.56	19.14
g-g	1.13	3.26	0.46	1.35	0.00	0.71	5.78

**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	78.20	6.70	12.26	0.00	7.43	104.59	3.50	63.41	66.91
e-e	3.38	32.99	2.83	6.90	0.00	3.94	46.65	3.50	43.87	47.37
f-f	2.25	9.77	0.84	3.07	0.00	1.64	15.32	3.50	26.78	30.28
g-g	1.13	1.22	0.10	0.77	0.00	0.38	2.48	3.50	12.16	15.66

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	52.13	4.47	5.45	0.00	3.68	65.73
e-e	3.38	29.32	2.51	4.09	0.00	2.55	38.47
f-f	2.25	13.03	1.12	2.72	0.00	1.56	18.43
g-g	1.13	3.26	0.28	1.36	0.00	0.71	5.61

## 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.

Muro  $h = 4,22m$  su fondazione diretta

**ARMATURE**

pos	n°/ml	$\phi$	II strato	pos	n°/ml	$\phi$	II strato
1	10.0	16		5	10.0	16	
2	0.0	0	<input type="checkbox"/>	6	0.0	0	<input type="checkbox"/>
3	0.0	0	<input type="checkbox"/>	7	10.0	20	
4	10.0	20		8	0.0	0	<input type="checkbox"/>
				9	0.0	0	<input type="checkbox"/>

Pertanto l'armatura secondaria sarà pari a:

sez a – a:  $\phi 10/20cm$  (ripartitori in fondazione e in elevazione);

sez b – b:  $\phi 10/20cm$  (ripartitori in fondazione);

sez c – c:  $\phi 10/20cm$  (ripartitori in fondazione);

sez d – d:  $\phi 10/20cm$  (ripartitori in fondazione);

sez e – e:  $\phi 10/20cm$  (ripartitori in fondazione);

sez f – f:  $\phi 10/20cm$  (ripartitori in fondazione);

sez g – g:  $\phi 10/20cm$  (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	17.84	0.00	0.60	20.11	31.42	391.87
b - b	-219.84	0.00	0.60	31.42	20.11	588.54
c - c	-87.96	0.00	0.60	31.42	20.11	588.54
d - d	109.79	64.90	0.72	31.42	20.11	754.40
e - e	47.30	46.26	0.64	31.42	20.11	648.95
f - f	14.60	29.82	0.56	31.42	20.11	545.42
g - g	2.04	15.56	0.48	31.42	20.11	443.56

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

Sez.	V <sub>Ed</sub>	h	V <sub>rd</sub>	$\phi$ staffe	i orizz.	i vert.	$\theta$	V <sub>Rsd</sub>	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	73.45	0.60	233.83	10	20	20	21.8	898.94	Armatura a taglio non necessaria
b - b	79.64	0.60	271.34	10	20	20	21.8	898.94	Armatura a taglio non necessaria
c - c	85.58	0.60	271.34	10	20	20	21.8	898.94	Armatura a taglio non necessaria
d - d	76.39	0.72	308.51	10	20	20	21.8	1106.39	Armatura a taglio non necessaria
e - e	43.59	0.64	287.18	10	20	20	21.8	968.09	Armatura a taglio non necessaria
f - f	19.93	0.56	265.09	10	20	20	21.8	829.79	Armatura a taglio non necessaria
g - g	5.40	0.48	241.97	10	20	20	21.8	691.49	Armatura a taglio non necessaria

### 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	13.04	0.00	0.60	20.11	31.42	0.32	13.88
b - b	-124.86	0.00	0.60	31.42	20.11	2.73	86.32
c - c	-51.63	0.00	0.60	31.42	20.11	1.13	35.70
d - d	81.91	62.58	0.72	31.42	20.11	1.33	36.23
e - e	34.56	44.65	0.64	31.42	20.11	0.70	15.57
f - f	10.24	28.82	0.56	31.42	20.11	0.27	3.68
g - g	1.28	15.11	0.48	31.42	20.11	0.06	-0.12

#### 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	17.77	0.00	0.60	20.11	31.42	0.44	18.91
b - b	-219.84	0.00	0.60	31.42	20.11	4.81	151.99
c - c	-87.96	0.00	0.60	31.42	20.11	1.92	60.81
d - d	109.79	60.26	0.72	31.42	20.11	1.76	51.94
e - e	47.30	43.03	0.64	31.42	20.11	0.95	23.86
f - f	14.60	27.82	0.56	31.42	20.11	0.39	6.95
g - g	2.04	14.65	0.48	31.42	20.11	0.08	0.18

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

#### 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	13.04	0.00	0.60	20.11	31.42	0.32	13.88	0.018	0.200
b - b	-124.86	0.00	0.60	31.42	20.11	2.73	86.32	0.097	0.200
c - c	-51.63	0.00	0.60	31.42	20.11	1.13	35.70	0.040	0.200
d - d	81.91	62.58	0.72	31.42	20.11	1.33	36.23	0.043	0.200
e - e	34.56	44.65	0.64	31.42	20.11	0.70	15.57	0.017	0.200
f - f	10.24	28.82	0.56	31.42	20.11	0.27	3.68	0.004	0.200
g - g	1.28	15.11	0.48	31.42	20.11	0.06	-0.12	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	13.04	0.00	0.60	20.11	31.42	0.32	13.88	0.018	0.200
b - b	-124.86	0.00	0.60	31.42	20.11	2.73	86.32	0.097	0.200
c - c	-51.63	0.00	0.60	31.42	20.11	1.13	35.70	0.040	0.200
d - d	81.91	62.58	0.72	31.42	20.11	1.33	36.23	0.043	0.200
e - e	34.56	44.65	0.64	31.42	20.11	0.70	15.57	0.017	0.200
f - f	10.24	28.82	0.56	31.42	20.11	0.27	3.68	0.004	0.200
g - g	1.28	15.11	0.48	31.42	20.11	0.06	-0.12	0.000	0.200

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