

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)

Opere di sostegno di linea

RI01: Muro di sostegno MU01

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 29 CL MU0100 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Gen-2020	M.Arcangeli	Gen-2020	A.Barreca	Gen-2020	F.Arduini Apr-2020
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	M.Arcangeli	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dott. Ing. Emilio Arduini Aut. del 14/04/2020 n. 1000

INDICE

1.	GENERALITA'	6
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	6
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	9
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	9
4.	UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	10
5.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	11
5.1	CALCESTRUZZO	11
5.2	ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA B450 C	14
6.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	15
7.	CRITERI DI VERIFICA.....	17
7.1	VERIFICHE GEOTECNICHE (SLU) IN CONDIZIONI STATICHE.....	17
7.1.1	VERIFICA A SCORRIMENTO	19
7.1.2	VERIFICA A RIBALTAMENTO	20
7.1.3	VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE	20
7.1.4	VERIFICA A STABILITÀ GLOBALE	20
7.2	VERIFICHE GEOTECNICHE (SLV) IN CONDIZIONI SISMICHE	21
7.3	VERIFICHE GEOTECNICHE (SLE)	23
7.3.1	SPOSTAMENTI ATTESI IN CAMPO SLE	24
7.3.2	SPOSTAMENTI PERMANENTI INDOTTI DAL SISMA	24
7.4	VERIFICHE STRUTTURALI SLU	26
7.4.1	CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.....	26
7.4.2	VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE - PRESSOFLESSIONE.....	26
7.4.3	VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO	26
7.5	VERIFICHE STRUTTURALI (SLE).....	29
7.5.1	VERIFICHE ALLE TENSIONI.....	29
7.5.2	VERIFICHE A FESSURAZIONE	30

8.	ANALISI DEI CARICHI	32
8.1	PESI PROPRI	32
8.2	CARICHI PERMANENTI	34
8.2.1	SOVRASTRUTTURA FERROVIARIA	34
8.2.2	PARAPETTO METALLICO.....	34
8.2.3	SPINTA DEL TERRENO	34
8.3	CARICHI VARIABILI.....	36
8.3.1	CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO.....	36
8.3.2	VERIFICA REQUISITI S.T.I. PER OPERE MINORI SOTTOBINARIO: CARICO EQUIVALENTE	37
8.4	VALUTAZIONE DELL' AZIONE SISMICA	40
8.4.1	VITA NOMINALE.....	40
8.4.2	CLASSE D'USO	40
8.4.3	PERIODO DI RIFERIMENTO.....	40
8.4.4	PARAMETRI SISMICI.....	40
8.5	COMBINAZIONI DI CARICO.....	45
9.	PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOTTOSCARPA "TIPO 2"	48
9.1	DATI DI INPUT	48
9.2	CALCOLO DELLE AZIONI	51
9.2.1	FORZE VERTICALI E INERZIALI	51
9.2.2	SPINTE IN CONDIZIONE STATICA	53
9.2.3	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +.....	54
9.2.4	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -.....	55
9.3	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	56
9.3.1	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE	56
9.3.2	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE	58
9.3.3	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE	62

9.3.4	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – C. NON DRENATE	66
9.3.5	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – C. NON DRENATE	68
9.3.6	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. NON DRENATE.....	72
9.3.7	VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI SLD	76
9.4	VERIFICHE STRUTTURALI	77
9.4.1	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	77
9.4.2	VERIFICHE SLU.....	79
9.4.3	VERIFICHE SLE TENSIONE.....	81
9.4.4	VERIFICHE SLE FESSURAZIONE	82
9.4.5	CALCOLO INCIDENZA ARMATURA	83
10.	PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOTTOSCARPA “TIPO 3”	84
10.1	DATI DI INPUT	84
10.1	CALCOLO DELLE AZIONI	88
10.1.1	FORZE VERTICALI E INERZIALI	88
10.1.2	SPINTE IN CONDIZIONE STATICA.....	89
10.1.3	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +.....	90
10.1.4	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -.....	91
10.1	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	92
10.1.1	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE	92
10.1.2	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE	94
10.1.3	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE.....	98
10.1.4	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – C. NON DRENATE	102
10.1.5	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – C. NON DRENATE	104
10.1.6	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. NON DRENATE.....	108

10.1.7	VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI SLD	112
10.1	VERIFICHE STRUTTURALI	113
10.1.1	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	113
10.1.2	VERIFICHE SLU.....	115
10.1.3	VERIFICHE SLE TENSIONE.....	117
10.1.4	VERIFICHE SLE FESSURAZIONE.....	118
10.1.5	CALCOLO INCIDENZA ARMATURA	119

1. GENERALITA'

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 Caltanissetta Xirbi – Enna (Lotto 4a).

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche dei muri di sostegno MU01 che si sviluppano dal km 0+977.50 al km 1+121.83 (Figura 1-1, Figura 1-2).

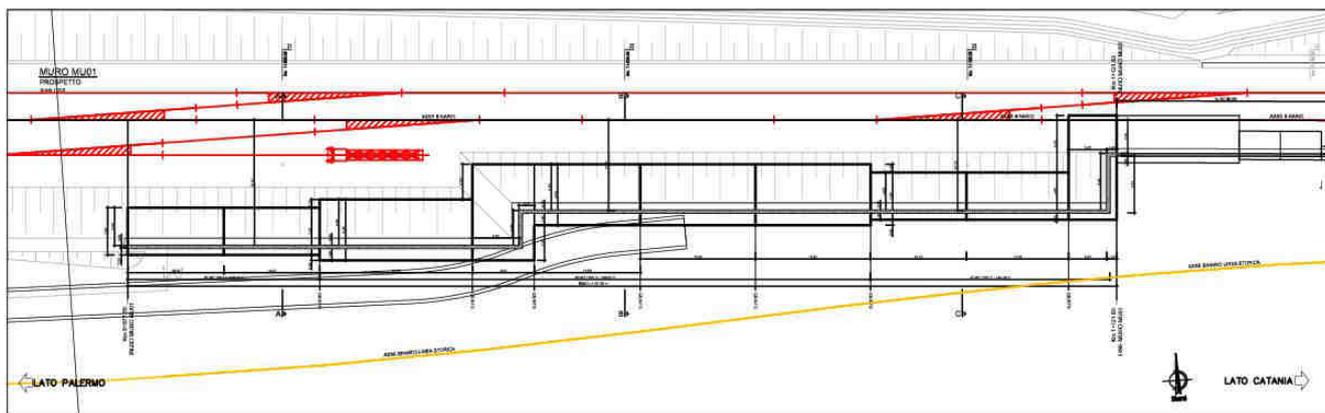


Figura 1-1 – RI01: Muro di sostegno MU01 - Pianta.

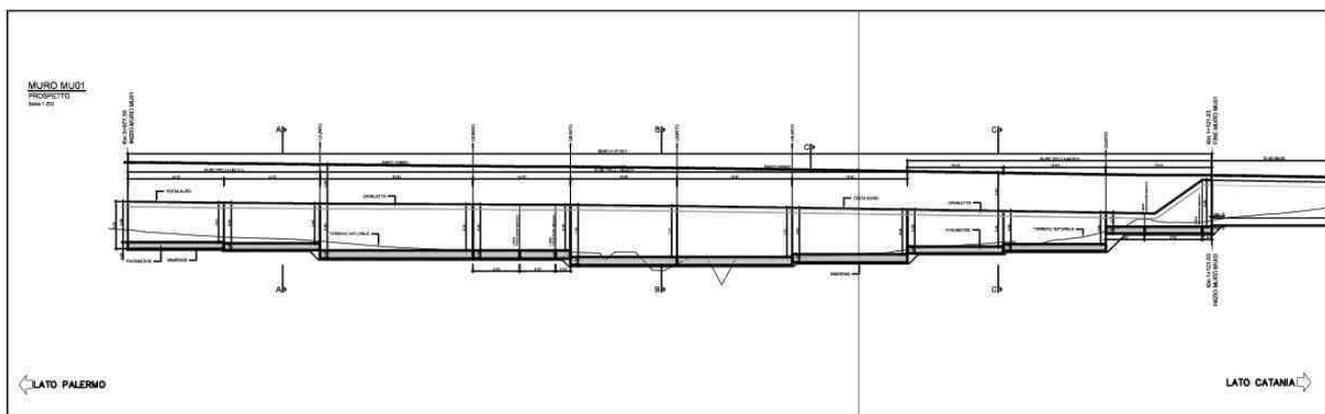


Figura 1-2 – RI01: Muro di sostegno MU01 - Prospetto.

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 da 4.66 m a 7.70 m con lo sviluppo dell'opera stessa, con spessore del paramento in testa di 0.4m, spessore della soletta di fondazione variabile che assume i valori di 1.0m - 1.2m e larghezza della stessa di 7.00m – 9.00m.

Si individuano due tipologie di muri di “*sottoscarpa*” le cui caratteristiche sono di seguito riassunte:

- muro “*tipo 2*” per altezze comprese tra 4.00 e 6.00 metri la fondazione del muro è diretta ed è caratterizzata da una lunghezza di 7.00 m e spessore 1.00 m. Il ricoprimento sopra la zattera di valle è pari ad almeno 60 cm (Figura 1-3).

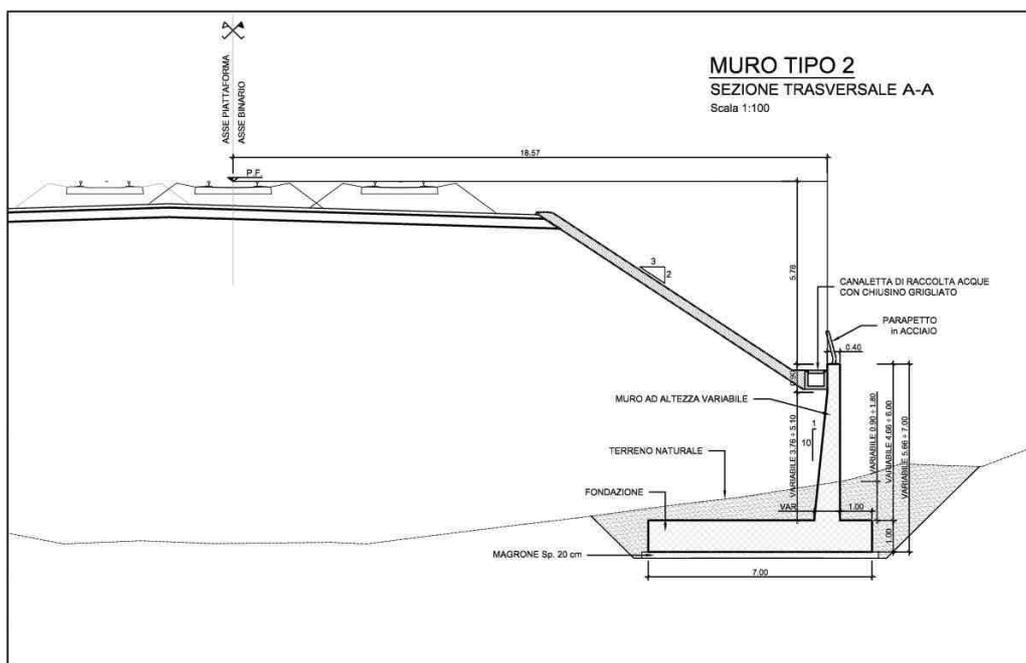


Figura 1-3 – RI01: Muro di sostegno MU01 – Sezione trasversale muro tipo 2.

- muro “*tipo 3*” per altezze di paramento superiori a 6.00 metri la fondazione del muro è diretta ed è caratterizzata da una lunghezza di 9.00 m e spessore 1.20 m. Il ricoprimento sopra la zattera di valle è pari ad almeno 60 cm. L'altezza del paramento massima è pari a 7.70 m (Figura 1-4).

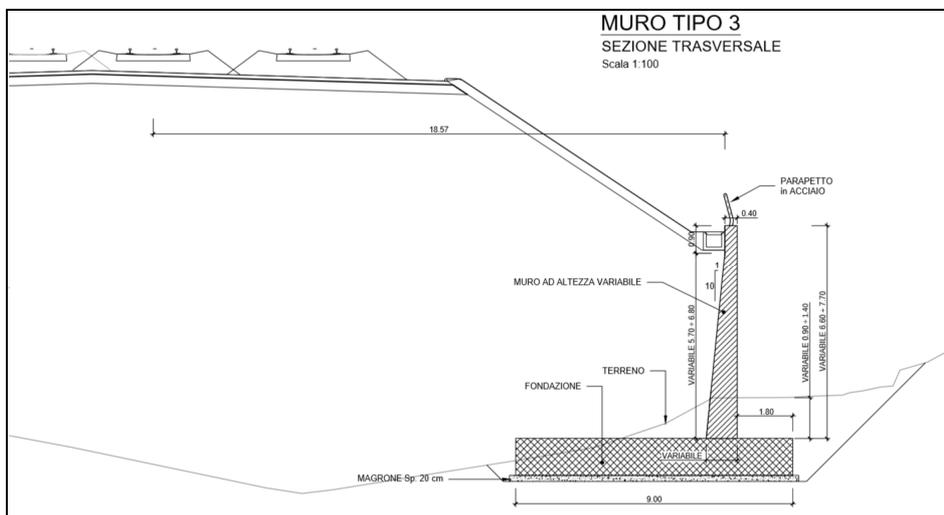


Figura 1-4 – RI01: Muro di sostegno MU01 – Sezione trasversale muro tipo 3.

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 CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA												
RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 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>RS3U</td> <td>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU0100 001</td> <td>B</td> <td>9 di 119</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	9 di 119
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	9 di 119								

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:

RS3U.4.0.D.29.P9.MU.01.0.0.001: “Opere di sostegno di linea – RI01: Muro di sostegno MU01 – Piante, prospetti e sezioni - Tav. 1 di 2”

RS3U.4.0.D.29.P9.MU.01.0.0.002: “Opere di sostegno di linea – RI01: Muro di sostegno MU01 – Piante, prospetti e sezioni - Tav. 2 di 2”

RS3U.4.0.D.29.TT.OC.00.0.0.002.A: “Opere civili – Elaborati generali OO. CC. – Tabella incidenze armature Opere Civili”

RS3U.4.0.D.29.GE.GE.00.0.0.001.C: “Geotecnica – Elaborati generali – Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto”

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)	10 ³ N
MN (megaNewton)	10 ⁶ N
kgf (kilogrammo-forza)	1 kgf = 9.81 N
cm (centimetro)	10 ⁻² m
mm (millimetro)	10 ⁻³ m
Pa (Pascal)	1 N/m ²
kPa (kiloPascal)	10 ³ N/m ²
MPa (megaPascal)	10 ⁶ N/m ²
N/m ³	(peso specifico)
g (accelerazione di gravità)	~9.81 m/s ²

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:

γ (gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m ³)
σ (sigma)	tensione normale	(N/mm ²)

τ (tau)	tensione tangenziale	(N / mm ²)	
ε (epsilon)	deformazione	(m/m)	-
ϕ (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 = C30/37;

Rck = resistenza cubica = 37 N/mm²;

fck = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83 Rck = 30.71 N/ mm²;

fcm = resistenza cilindrica media = fck + 8 = 38.71 N/ mm²;

fcd = acc fck/ γ_c = 17.4 N/mm²;

fctm = resistenza a trazione media = 0.30 x fck^{2/3} = 2.94 N/ mm²;

fcfm = resistenza a traz. per flessione media = 1.20 x fctm = 3.53 N/ mm²;

fckf = resistenza a traz. per flessione carati. = 0.70 x fcfm = 2.47 N/ mm²;

Ecm = modulo elast. tra 0 e 0.40fcm = 22000 x (fcm/10)^{0.3} = 33019.43 N/ mm²;

Tolleranza di posa del copriferro = 10 mm;

Classe di esposizione XC4

Copriferro = 40 mm

Condizioni ambientali: aggressive

Apertura fessure limite: w1 = 0.2 mm

CALCOLO COPRIFERRO - § C4.1.6.1.3 ISTRUZIONI NTC 2018

- Elemento strutturale: fondazione ed elevazione muro di sostegno – muro tipo 2a

Diametro (o diametro equivalente) barre longitudinali:	24	[mm]
Diametro staffe:	12	[mm]
Classe Calcestruzzo:	C30/37	
Condizioni ambientali:	Aggressive	
Vita nominale costruzione:	75	[anni]
Tolleranza di posa:	10	[mm]
Copriferro staffe:		
Copriferro minimo c_{min} :	30	[mm]
Copriferro nominale Netto Staffe:	40	[mm]
Copriferro barre longitudinali:		
Copriferro nominale Netto barre longitudinali:	64	[mm]
Copriferro nominale dal Baricentro della Barra longitudinale:	76	[mm]

- Elemento strutturale: fondazione ed elevazione muro di sostegno – muro tipo 3

Diametro (o diametro equivalente) barre longitudinali:	24	[mm]
Diametro staffe:	12	[mm]
Classe Calcestruzzo:	C30/37	
Condizioni ambientali:	Aggressive	
Vita nominale costruzione:	75	[anni]
Tolleranza di posa:	10	[mm]
Copriferro staffe:		
Copriferro minimo c_{min} :	30	[mm]
Copriferro nominale Netto Staffe:	40	[mm]
Copriferro barre longitudinali:		



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a)
OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	13 di 119

Copriferro nominale Netto barre longitudinali: 64 [mm]

Copriferro nominale dal Baricentro della Barra longitudinale: 76 [mm]

5.2 ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA B450 C

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

$f_{v\ nom}$	450 N/mm ²
$f_{t\ nom}$	540 N/mm ²

Tabella 5-1 Tensioni caratteristiche acciaio.

E deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella:

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

Tabella 5-2 Requisiti acciaio.

Inoltre si ha:

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

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

Resistenza di calcolo a rottura per trazione e deformazione corrispondente:

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

6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica: Si riportano di seguito i terreni su cui poggiano i muri di sostegno lungo il tracciato, con i parametri fisici e meccanici ad essi assegnati. In base ai dati a disposizione sono stati scelti dei valori cautelativi per i parametri di calcolo. Il rilevato a monte risulterà inclinato rispetto all'orizzontale di un angolo variabile tra $\beta = 0^\circ$ e $\beta = 25^\circ$.

Unità litologiche da p.c.	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	c'_k [kPa]	φ'_k [°]	c_u [kPa]	E_0 [MPa]
a2	0	3.85	19	20	25	75	100
a	3.85	4.61	19.5	-	35.5	-	70
FYN4	4.61	10.07	-	20	21	175	200
TRV	10.07	40.25	21	22.5	20	200	100

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

In cui:

γ = peso specifico del terreno;

c'_k = coesione efficace;

φ'_k = angolo d'attrito efficace;

c_u = coesione non drenata;

E_0 = Modulo dinamico del terreno;

La falda è posta a circa 1.50 metri dal piano campagna.

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

- peso volume, $\gamma = 20$ kN/m³;

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	16 di 119

- angolo d'attrito, $\varphi' = 38^\circ$;
- coesione efficace $c' = 0$ kPa.

Per l'inquadramento geotecnico si rimanda alla "Relazione geotecnica generale" e ai relativi profili geotecnici.

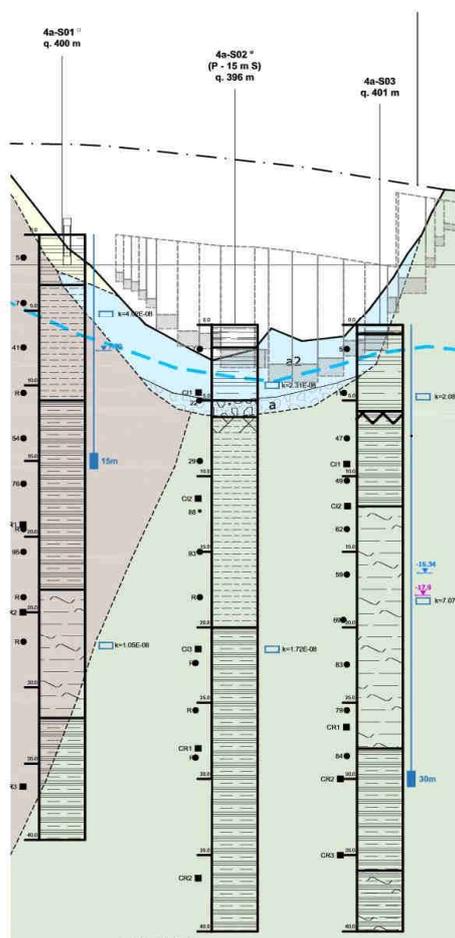


Figura 6-1 – Stralcio del profilo geotecnico.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 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.

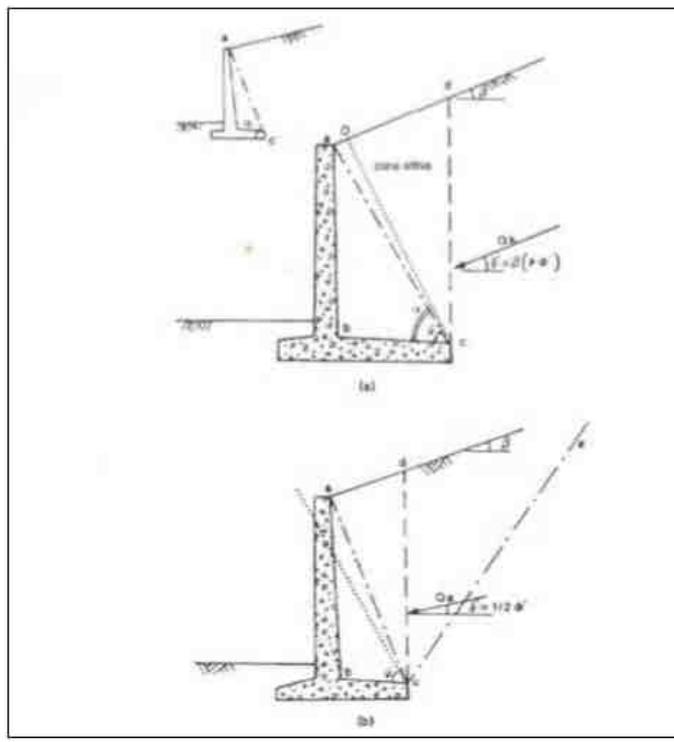


Figura 7-1 – Spinta sui muri di sostegno a mensola con suola lunga (caso a) e con suola corta (caso b).

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

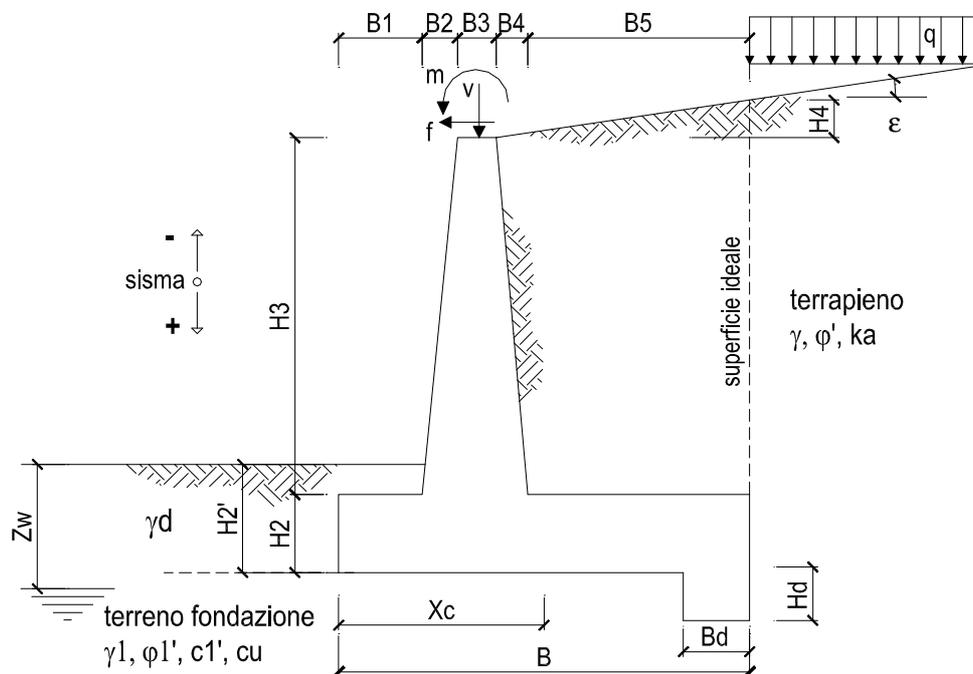
Il terreno al di sopra della suola (abcd) è stato considerato stabilizzante nelle verifiche, e ad esso sono da applicarsi le forze d'inerzia in fase sismica.

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.

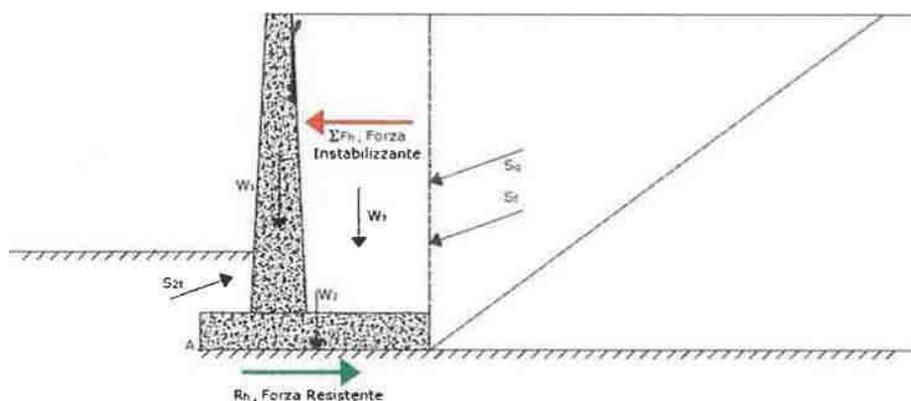


Figura 7-2 – Verifica a scorrimento.

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.

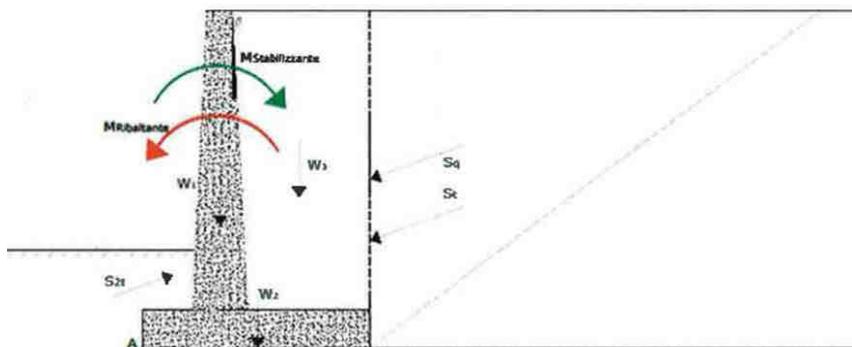


Figura 7-3- Verifica a ribaltamento.

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:

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

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

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

7.1.4 VERIFICA A STABILITÀ GLOBALE

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 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:

β_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)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_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 β_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:

ϕ = angolo di attrito interno del terrapieno;

ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro;

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del profilo del terrapieno;

δ = angolo di attrito terrapieno – muro;

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

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

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

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

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

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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B

7.3.1 SPOSTAMENTI ATTESI IN CAMPO SLE

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

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

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

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

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

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

7.3.2 SPOSTAMENTI PERMANENTI INDOTTI DAL SISMA

Con riferimento alle condizioni di esercizio, sulla base delle indicazioni fornite dal RFI DTC SI CS MA IFS 001 C "Manuale di progettazione opere civili Parte II – Sezione 3", dovranno essere condotte verifiche nei confronti dello stato limite di danno. In particolare, gli spostamenti permanenti indotti dal sisma devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera e con quella di eventuali strutture o infrastrutture interagenti con essa.

Lo spostamento SLD potrà essere determinato con analisi dinamiche avanzate o con i metodi degli spostamenti.

Nel caso particolare di muri di sostegno gli spostamenti permanenti potranno, in via semplificata, essere determinati con la seguente relazione:

$$d = (S_S \cdot S_T \cdot B) \cdot e^{A \left(\frac{a_c}{a_{max}} \right)}$$

Dove:

S_S e S_T sono i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica (§ 3.2.3.2 NTC2018);

a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito (§ 7.11.6.2.1 NTC2018);

a_c è l'accelerazione critica e rappresenta il valore limite dell'accelerazione al di sotto della quale l'opera non subisce spostamenti;

A, B sono coefficienti raccolti nella seguente tabella in funzione di a_{max} e della categoria di sottosuolo (Rampello et al., 2008).

Sottosuolo	Cat. A		Cat. B		Cat. C, D, E	
	A	B	A	B	A	B
a_{max}/g						
0.3 – 0.4	-7.5	1.21	-7.9	1.06	-7.4	0.56
0.2 – 0.3	-7.42	1.28	-7.79	1.11	-7.54	0.58
0.1 – 0.2	-7.48	0.65	-7.86	0.73	-8.05	0.86
≤ 0.1	-7.87	0.28	-7.86	0.3	-8.07	0.44

Tabella 7-1 – Coefficienti A e B da utilizzare per valutare gli spostamenti dei muri di sostegno nelle verifiche SLE.

L'accelerazione critica a_c sarà determinata imponendo che, nella verifica a scorrimento – effettuata prendendo a riferimento i valori caratteristici di azioni e resistenze (coefficienti γ_F e γ_M pari ad 1) – il rapporto R_d/E_d sia pari a 1.

In condizioni sismiche, il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico ferroviario, da utilizzare tanto nelle verifiche agli stati limite ultimi che di esercizio, dovrà essere posto pari a 0,2.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B

7.4 VERIFICHE STRUTTURALI SLU

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

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15;

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

7.4.1 CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

7.4.2 VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE - PRESSOFLESSIONE

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

7.4.3 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO

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

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

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

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

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

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

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

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

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

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

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

A_{s1} è l'area dell'armatura tesa;

b_w è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

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

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

A_c è l'area della sezione di calcestruzzo;

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

$1 \leq \operatorname{cot}\theta \leq 2,5$ 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;

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</p>					
<p>RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO MU0100 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 28 di 119</p>

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

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

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

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

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

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

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

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

7.5 VERIFICHE STRUTTURALI (SLE)

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

7.5.1 VERIFICHE ALLE TENSIONI

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento "Manuale di progettazione opere civili"

Strutture in c.a.

Tensioni di compressione del calcestruzzo

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

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

Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare $0,75 f_{yk}$.

Per il caso in esame risulta in particolare :

- Muro di sostegno:

CALCESTRUZZO

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

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

ACCIAIO

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B

7.5.2 VERIFICHE A FESSURAZIONE

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

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

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

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 7-2 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e condizioni ambientali

Risultando:

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

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

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

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)

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B	FOGLIO 31 di 119

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

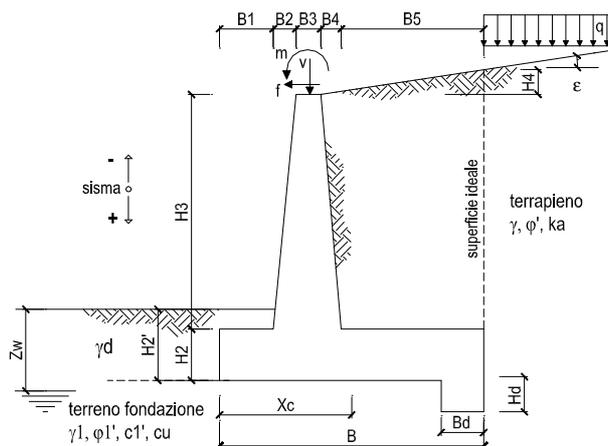
Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

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

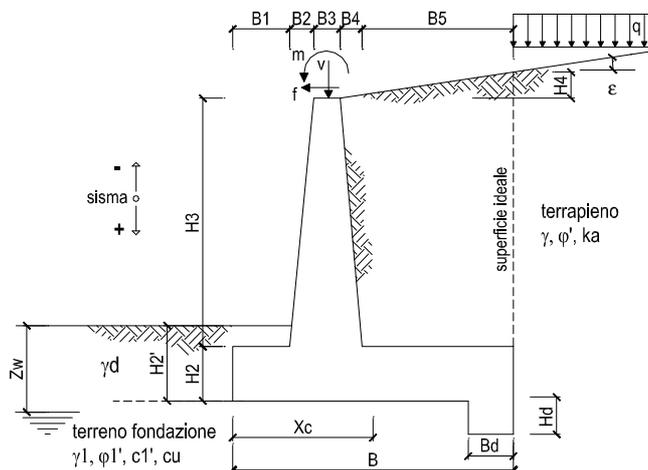
Elevazione	H3 =	6.00	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.51	(m)

Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	7.00	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	1.00	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	1.00	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	5.09	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	3.50	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	γ_{cls} =	25.00	(kN/m ³)
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

Figura 8-1 – Caratteristiche geometriche muri di sostegno con fondazione diretta – tipo 2a.



Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	7.70	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.68	(m)

Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	9.00	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	1.20	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	1.80	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	6.12	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	4.50	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	γ_{cls} =	25.00	(kN/m ³)
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

Figura 8-2 – Caratteristiche geometriche muri di sostegno con fondazione diretta – tipo 3.

8.2 CARICHI PERMANENTI

8.2.1 SOVRASTRUTTURA FERROVIARIA

Il manuale di progettazione ove non si eseguano valutazioni più dettagliate prevede per la determinazione dei carichi permanenti portati relativi al peso della massicciata e dell'armamento (sovrastuttura ferroviaria) che potrà effettuarsi assumendo, convenzionalmente, un peso di volume pari a $18,0 \text{ kN/m}^3$ applicato sull'impronta del ballast, per una altezza media fra il piano del ferro (P.F.) e l'estradosso del sub-ballast pari a $0,80 \text{ m}$ (al carico è stato poi applicato un coefficiente parziale di sicurezza pari a $1,5$).

$$p = 18,0 \text{ kN/m}^3 \times 0,80 \text{ m} = 14,40 \text{ kPa}$$

8.2.2 PARAPETTO METALLICO

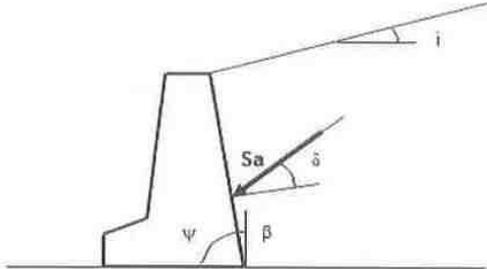
Per il parapetto metallico si considerano le seguenti azioni agenti sul muro:

$$V_{\text{parapetto}} = 1,00 \text{ kN/m}$$

8.2.3 SPINTA DEL TERRENO

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

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



per $i \leq \varphi' - \theta$	$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi' - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi' + \delta) \text{sen}(\varphi' - i - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta) \text{sen}(\psi + i)}} \right]^2}$
per $i > \varphi' - \theta$	$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi' - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$
	$k_p = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi' - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\text{sen} \varphi' \text{sen}(\varphi' + i - \theta)}{\text{sen}(\psi + i) \text{sen}(\psi + \theta)}} \right]^2}$

Figura 8-3 – Coefficiente di spinta attiva e passiva.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B

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

Dati Geotecnici				valori caratteristici SLE	valori di progetto	
					STR/GEO	EQU
Dati Terrapien	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	φ'	38.00	38.00	38.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m ³)	γ	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	23.50	23.50	23.50

Figura 8-4 – Dati geotecnici – muri tipo 2a.

Dati Geotecnici				valori caratteristici SLE	valori di progetto	
					STR/GEO	EQU
Dati Terrapien	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	φ'	38.00	38.00	38.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m ³)	γ	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	20.00	20.00	20.00

Figura 8-5 – Dati geotecnici – muri tipo 3.

8.3 CARICHI VARIABILI

8.3.1 CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO

Le azioni variabili su opere di sostegno sono definite dal par. 3.5.2.3.4 del Manuale di progettazione Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale.

Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il carico verticale dovuto al treno di carico SW2 uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano campagna. Il treno di carico SW2 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

Il treno di carico SW2 è schematizzato nella figura seguente.

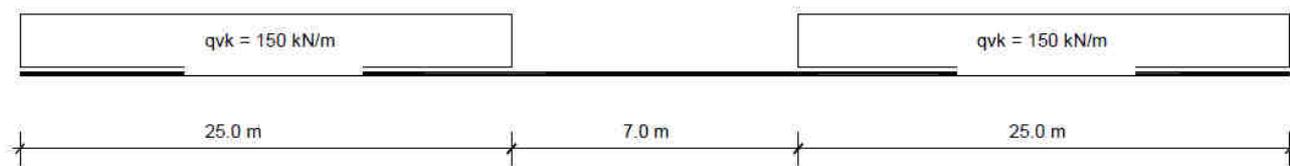


Figura 8-6 – Treno di carico SW2.

Per la ripartizione si considera

- $B_t = 2.40 \text{ m} + 2 \times 0.40 \text{ m} \times 1/4 + 2 \times 5.0 \text{ m} \times \text{tg}(38^\circ) = 10.40 \text{ m}$ (muri tipo 2a e 3)

I carichi verticali sono definiti per mezzo dei modelli di carico elencati nella seguente tabella. I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono moltiplicarsi per il coefficiente α che deve assumersi come da tabella seguente:

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " α "
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

Figura 8-7 – Coefficienti α per modelli di carico.

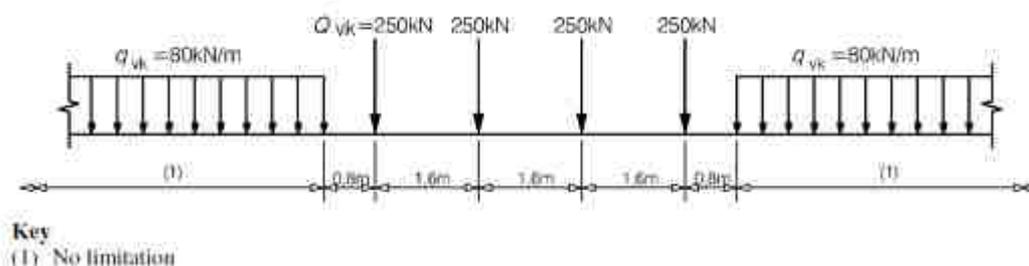
Il valore considerato di carico distribuito in corrispondenza della zona sopra la soletta, risulta dunque:

$$Q = 150 \text{ kN} \quad q_{var} = (150/10.40\text{m}) \cdot 1.0 = 14.42 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{muri tipo 2a e 3})$$

Di seguito, si effettua la valutazione del carico equivalente previsto dalle Specifiche Tecniche di Interoperabilità con cui si dà evidenza che le opere appartenenti alla tratta in esame sono idonee a sostenere tale carico.

8.3.2 VERIFICA REQUISITI S.T.I. PER OPERE MINORI SOTTOBINARIO: CARICO EQUIVALENTE

Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



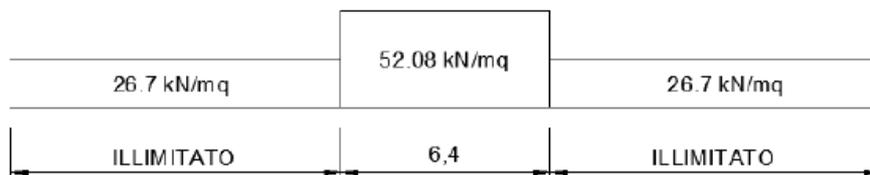
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a 70 cm dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kPa}$$



Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di 3.0 m secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si ricava il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria:



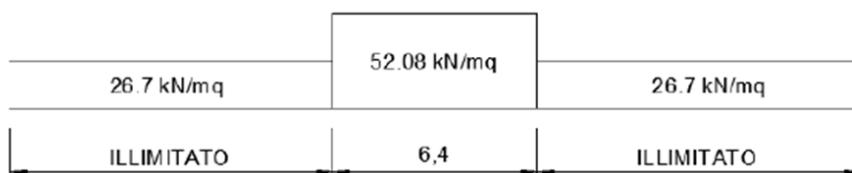
A tali carichi si deve applicare il coefficiente α relativo alle categorie S.T.I. come indicato nella tabella 11 di seguito riportata:

Tabella 11

Fattore alfa (α) per la progettazione di strutture nuove

Tipo di traffico	Valore minimo del fattore alfa (α)
P1, P2, P3, P4	1,0
P5	0,91
P6	0,83
P1520	Punto in sospeso
P1600	1,1
F1, F2, F3	1,0
F4	0,91
F1520	Punto in sospeso
F1600	1,1

Nel caso in esame, il coefficiente α è pari ad 1.0 perché le categorie di traffico sono P2-P4 per il traffico passeggeri ed F1 per il traffico merci per cui, alle opere si applicano i seguenti carichi equivalenti:



	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B	FOGLIO 39 di 119

Considerando la ripartizione dei carichi attraverso il sottostante rilevato fino alla quota della testa dell'opera di sostegno con un angolo pari all'angolo di attrito interno del terreno (38°) si ottiene un carico in corrispondenza del piano orizzontale alla quota della testa dell'opera di sostegno pari a:

- Per i muri "tipo 2a" e "tipo 3":

$$q_{\text{var}} = (52.08 \text{ kN/m}^2 \times 3.0\text{m}) / (3.0\text{m} + 2 \times 0.4\text{m} \times 1/4 + 2 \times 5.00\text{m} \times \text{tg}(38^\circ)) = 14.20 \text{ kN/m}^2$$

Ai fini delle verifiche del carico equivalente si considera, in tutte le relazioni di calcolo specifiche, a favore di sicurezza, il carico equivalente SW2 pari a 14.42 kN/m² a vantaggio di sicurezza rispetto ai 14.20 kN/m² calcolati con riferimento alle STI, per i muri "tipo 2a" e "tipo3".

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B

8.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

8.4.1 VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel presente caso l'opera viene inserita nella seguente tipologia di costruzione:

2) Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale

La cui vita nominale è pari a: 75 anni.

8.4.2 CLASSE D'USO

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

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

Il coefficiente d'uso è pari a 1.50.

8.4.3 PERIODO DI RIFERIMENTO

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione al periodo di riferimento V_R ricavato, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_u .

Pertanto $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$ anni.

8.4.4 PARAMETRI SISMICI

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

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

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

Tabella 8-1 – Probabilità di superamento al variare dello stato limite considerato.

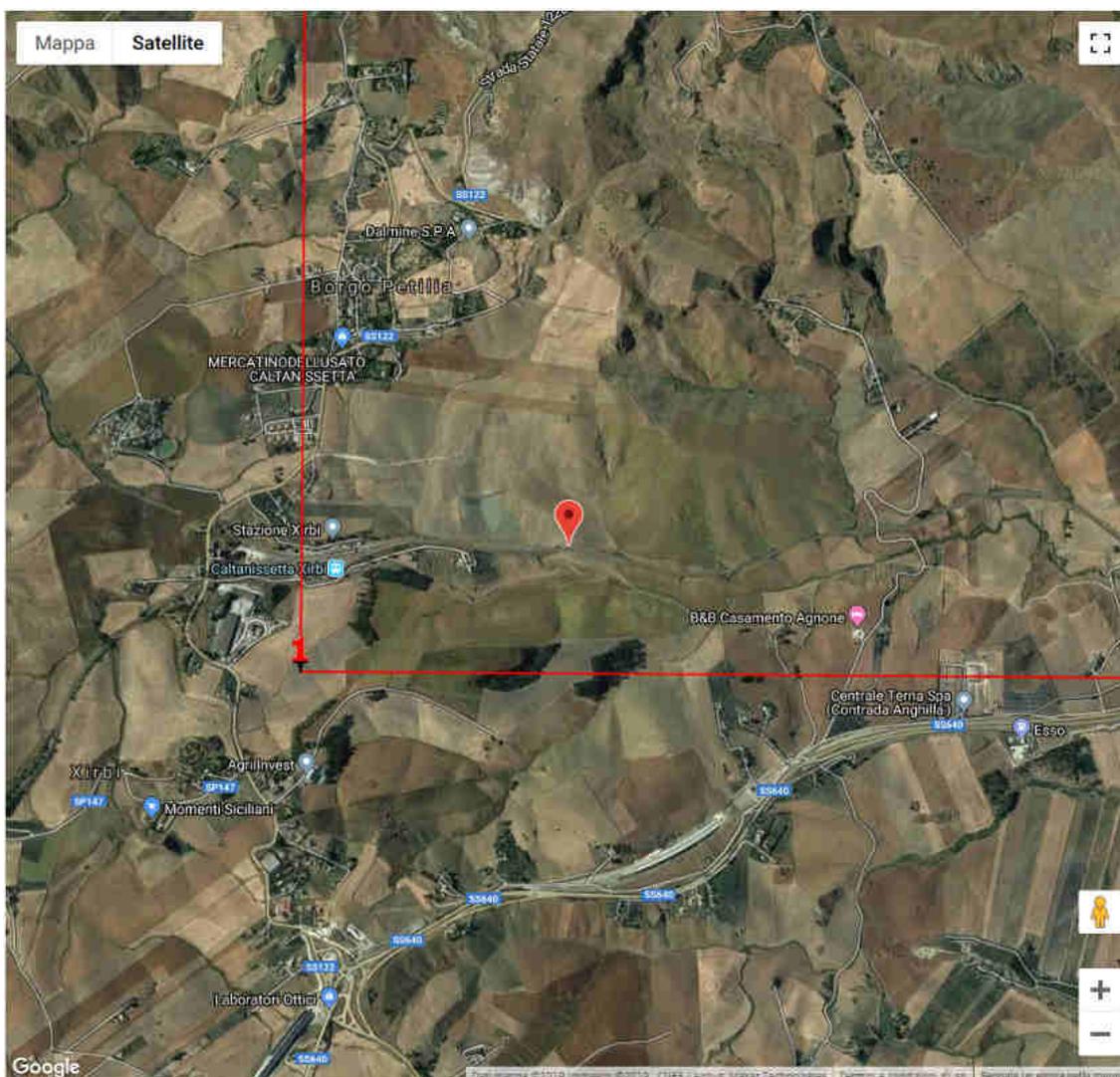


Tabella 8-2 – Localizzazione del sito ove sorgerà l'opera.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B

Da cui si ottiene la seguente tabella:

Stati limite

 Classe Edificio
 III. Affollamento significativo...

 Vita Nominale: 75

 Interpolazione: Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	\bar{a}_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	68	0.040	2.519	0.286
Danno (SLD)	113	0.048	2.503	0.320
Salvaguardia vita (SLV)	1068	0.098	2.654	0.469
Prevenzione collasso (SLC)	2193	0.119	2.729	0.523
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	112.5			

Tabella 8-3 – Parametri relativi all'azione sismica.

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

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

Tabella 8-4 – Categorie topografiche.

L'area interessata risulta classificabile come T1.

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

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

Tabella 8-5 – Espressioni di S_S e C_C .

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

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

valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica sono pari a $S_S = 1.5$ e $C_C = 1.350$

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

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

Coefficienti sismici

 Tipo Muri di sostegno NTC 2018 

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

H (m)  1  us (m) 0,1

 Cat. Sottosuolo C 

 Cat. Topografica T1 

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,59	1,53	1,35	1,30
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]  0,6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,000	0,034	0,056	0,000
kv	--	0,017	0,028	--
Amax [m/s ²]	0,584	0,711	1,441	1,748
Beta	--	0,470	0,380	--

8.5 COMBINAZIONI DI CARICO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- Scorrimento sul piano di posa;
- Collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
- Ribaltamento;
- Stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

SLU di tipo strutturale (STR)

- Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

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

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

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

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

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

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

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

Tabella 8-8 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

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

Tabella 8-9 – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi dei muri di sostegno.

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B

Tabella 8-10 – 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 γ_R indicati nella seguente tabella.

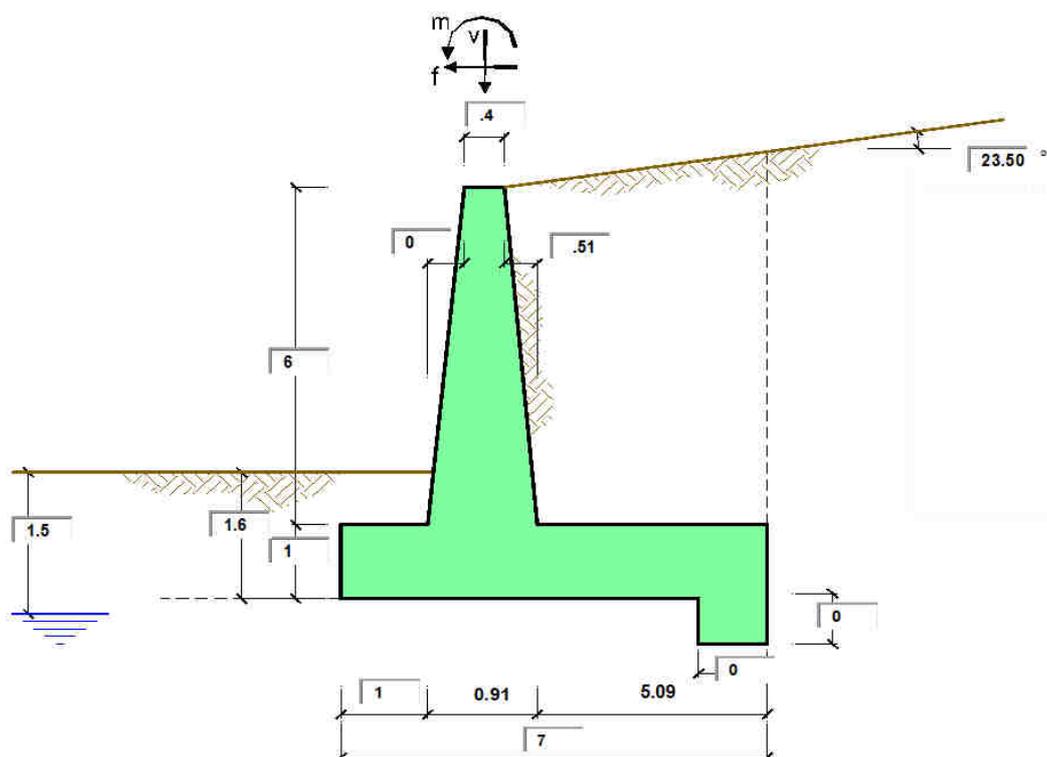
Verifica	Coefficiente parziale γ_R
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

Tabella 8-11 – Coefficienti parziali γ_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 γ_R pari a 1.2.

9. PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOTTOSCARPA “TIPO 2”

9.1 DATI DI INPUT



Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	6,00	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0,00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0,40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0,51	(m)

Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	7,00	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	1,00	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	1,00	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	5,09	(m)
Altezza dente	Hd =	0,00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0,00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	3,50	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	γ_{cls} =	25,00	(kN/m ³)
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

Condizioni drenate

Dati Geotecnici				valori caratteristici		valori di progetto	
				SLE		STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	ϕ'	38.00	38.00	38.00	38.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m ³)	γ'	20.00	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	23.50	23.50	23.50	23.50
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	<input checked="" type="radio"/> drenate <input type="radio"/> Non Drenate					
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	c_1'	20.00	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	ϕ_1'	25.00	25.00	25.00	25.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m ³)	γ_1	19.00	19.00	19.00	19.00
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m ³)	γ_d	20.00	20.00	20.00	20.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	14.00			
	Modulo di deformazione	(kN/m ²)	E	10000			

Dati Sismici	Accelerazione sismica	a_g/g	0.098	(-)		
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_s	1.5	(-)		
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1	(-)		
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_s	0.38	(-)		
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.05586	(-)		
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0279	(-)		
	Muro libero di traslare o ruotare	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no				
						RIBALTAMENTO
						β_s 0.57
						kh 0.08379
						kv 0.04190

				STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.296	0.296	0.296
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.354	0.354	0.386
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.357	0.357	0.396
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	2.464	2.464	2.464
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	2.377	2.377	2.333
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	2.372	2.372	2.322

Carichi Agenti				valori caratteristici		valori di progetto	
				SLE - sisma		STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m ²)	qp	16.62	21.60	21.60	
	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	1.00	1.00	1.00	
	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp	0.00	0.00	0.00	
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m ²)	q	14.42	20.91	20.91	
	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 Ψ_1		1.00	condizione quasi permanente Ψ_2		0.00	
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m ²)	qs	2.88			
	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			

Condizioni non drenate

<u>Dati Geotecnici</u>		valori caratteristici		valori di progetto	
		SLE		STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	ϕ'	38.00	38.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m ³)	γ'	20.00	20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	23.50	23.50
Dati Terreno Fondazione	Condizioni		<input type="radio"/> drenate <input checked="" type="radio"/> Non Drenate		
	Resistenza a Taglio non drenata	(kPa)	cu	75.00	75.00
	Angolo di attrito Terreno-Fondazione	(°)	ϕ_1'	25.00	25.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m ³)	γ_1	19.00	19.00
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m ³)	γ_d	20.00	20.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	14.00	
	Modulo di deformazione	(kN/m ²)	E	25000	

Dati Sismici	Accelerazione sismica	a_g/g	0.098	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S _s	1.5	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S _T	1	(-)	
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_s	0.38	(-)	
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.05586	(-)	
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0279	(-)	
Muro libero di traslare o ruotare			<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no		
					RIBALTAMENTO
					β_s 0.57
					kh 0.08379
					kv 0.04190

				STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.296	0.296	0.296
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.354	0.354	0.386
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.357	0.357	0.396
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	1.000	1.000	1.000
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	1.000	1.000	1.000
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	1.000	1.000	1.000

<u>Carichi Agenti</u>		valori caratteristici		valori di progetto	
		SLE - sisma		STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m ²)	qp	16.62	21.60
	Sovraccarico su zattera di monte <input type="radio"/> si <input checked="" type="radio"/> no				21.60
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	fp	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	vp	1.00	1.00
	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp	0.00	0.00
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m ²)	q	14.42	20.91
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	0.00	0.00
	Coefficienti di combinazione condizione frequente Ψ_1		1.00	condizione quasi permanente Ψ_2	0.00
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m ²)	qs	2.88	
	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	

9.2 CALCOLO DELLE AZIONI

9.2.1 FORZE VERTICALI E INERZIALI

FORZE VERTICALI

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Peso del Muro (Pm)				
Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	0,00	0,00
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	60,00	60,00
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	38,25	38,25
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	175,00	175,00
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	0,00	0,00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m)	273,25	273,25
- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)				
Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m)	610,80	610,80
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$	(kN/m)	136,36	136,36
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')/2$	(kN/m)	30,60	30,60
Sovr =	$qp \cdot (B4+B5)$	(kN/m)	0,00	0,00
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr	(kN/m)	777,76	777,76
- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro				
Sovr acc. Stat	$q \cdot (B4+B5)$	(kN/m)	80,7692308	117,115385
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B4+B5)$	(kN/m)	16,1538462	

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

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Muro (Mm)				
Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$	(kNm/m)	0,00	0,00
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$	(kNm/m)	72,00	72,00
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$	(kNm/m)	60,05	60,05
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	612,50	612,50
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0,00	0,00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m)	744,55	744,55
- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro				
Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$	(kNm/m)	2721,11	2721,11
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	699,97	699,97
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$	(kNm/m)	53,24	53,24
Msovr =	$Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	0,00	0,00
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr	(kNm/m)	3474,32	3474,32
- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro				
Sovr acc. Stat	$q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	339,230769	491,884615
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	67,8461538	

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	52 di 119

INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps h =	$P_m \cdot kh$	(kN/m)	15,26	22,90
Ps v =	$P_m \cdot kv$	(kN/m)	7,63	11,45

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

Ptsh =	$P_t \cdot kh$	(kN/m)	43,45	65,17
Ptsv =	$P_t \cdot kv$	(kN/m)	21,72	32,58

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

MPs1 h=	$kh \cdot P_m 1 \cdot (H_2 + H_3/3)$	(kNm/m)	0,00	0,00
MPs2 h=	$kh \cdot P_m 2 \cdot (H_2 + H_3/2)$	(kNm/m)	13,41	20,11
MPs3 h=	$kh \cdot P_m 3 \cdot (H_2 + H_3/3)$	(kNm/m)	6,41	9,61
MPs4 h=	$kh \cdot P_m 4 \cdot (H_2/2)$	(kNm/m)	4,89	7,33
MPs5 h=	$-kh \cdot P_m 5 \cdot (H_d/2)$	(kNm/m)	0,00	0,00
MPs h=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	24,70	37,06

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

MPs1 v=	$kv \cdot P_m 1 \cdot (B_1 + 2/3 \cdot B_2)$	(kNm/m)	0,00	0,00
MPs2 v=	$kv \cdot P_m 2 \cdot (B_1 + B_2 + B_3/2)$	(kNm/m)	2,01	3,02
MPs3 v=	$kv \cdot P_m 3 \cdot (B_1 + B_2 + B_3 + B_4/3)$	(kNm/m)	1,68	2,52
MPs4 v=	$kv \cdot P_m 4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	17,11	25,66
MPs5 v=	$kv \cdot P_m 5 \cdot (B - B_d/2)$	(kNm/m)	0,00	0,00
MPs v=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	20,80	31,19

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

MPts1 h=	$kh \cdot P_t 1 \cdot (H_2 + H_3/2)$	(kNm/m)	136,48	204,72
MPts2 h=	$kh \cdot P_t 2 \cdot (H_2 + H_3 + H_4/3)$	(kNm/m)	105,20	157,80
MPts3 h=	$kh \cdot P_t 3 \cdot (H_2 + H_3 \cdot 2/3)$	(kNm/m)	8,55	12,82
MPts h=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	250,23	375,34

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

MPts1 v=	$kv \cdot P_t 1 \cdot ((H_2 + H_3/2) - (B - B_5/2) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	76,00	114,00
MPts2 v=	$kv \cdot P_t 2 \cdot ((H_2 + H_3 + H_4/3) - (B - B_5/3) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	20,20	30,30
MPts3 v=	$kv \cdot P_t 3 \cdot ((H_2 + H_3 \cdot 2/3) - (B_1 + B_2 + B_3 + 2/3 \cdot B_4) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	1,85	2,78
MPts v=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	98,05	147,07

9.2.2 SPINTE IN CONDIZIONE STATICA

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Spinta totale condizione statica				
St =	$0,5 \cdot \gamma \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$	(kN/m) 263,83	342,98	342,98
Sq perm =	$q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$	(kN/m) 46,46	60,40	60,40
Sq acc =	$q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$	(kN/m) 40,33	58,48	58,48
- Componente orizzontale condizione statica				
Sth =	$St \cdot \cos \delta$	(kN/m) 241,95	314,53	314,53
Sqh perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m) 42,61	55,39	55,39
Sqh acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m) 36,99	53,63	53,63
- Componente verticale condizione statica				
Stv =	$St \cdot \sin \delta$	(kN/m) 105,20	136,76	136,76
Sqv perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m) 18,53	24,08	24,08
Sqv acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m) 16,08	23,32	23,32
- 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) 760,92	989,20	989,20
MSt2 =	$Stv \cdot B$	(kNm/m) 736,42	957,34	957,34
MSq1 perm =	$Sqh \text{ perm} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m) 201,00	261,30	261,30
MSq1 acc =	$Sqh \text{ acc} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m) 174,48	253,00	253,00
MSq2 perm =	$Sqv \text{ perm} \cdot B$	(kNm/m) 129,69	168,59	168,59
MSq2 acc =	$Sqv \text{ acc} \cdot B$	(kNm/m) 112,57	163,23	163,23
MSp =	$\gamma_1 \cdot H_d^3 \cdot k_p / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot H_d^2 / 2$	(kNm/m) 0,00	0,00	0,00

MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1 =	$m_p + m$	(kNm/m) 0,00	0,00	0,00
Mfext2 =	$(f_p + f) \cdot (H_3 + H_2)$	(kNm/m) 0,00	0,00	0,00
Mfext3 =	$(v_p + v) \cdot (B_1 + B_2 + B_3 / 2)$	(kNm/m) 1,20	1,20	1,20

9.2.3 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Spinta condizione sismica +				
Sst1 stat =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	263,83	263,83
Sst1 sism =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	59,66	94,55
Ssq1 perm =	$qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	55,42	60,57
Ssq1 acc =	$qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	9,62	10,52
- Componente orizzontale condizione sismica +				
Sst1h stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	241,95	241,95
Sst1h sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	54,71	86,70
Ssq1h perm =	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	50,82	55,55
Ssq1h acc =	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	8,82	9,64
- Componente verticale condizione sismica +				
Sst1v stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	105,20	105,20
Sst1v sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	23,79	37,70
Ssq1v perm =	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	22,10	24,15
Ssq1v acc =	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	3,84	4,19
- 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

MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Condizione sismica +				
MSst1 stat =	$Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	(kNm/m)	760,92	760,92
MSst1 sism =	$Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	(kNm/m)	172,07	272,68
MSst2 stat =	$Sst1v \text{ stat} \cdot B$	(kNm/m)	736,42	736,42
MSst2 sism =	$Sst1v \text{ sism} \cdot B$	(kNm/m)	166,53	263,90
MSsq1 =	$Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	(kNm/m)	281,39	307,55
MSsq2 =	$Ssq1v \cdot B$	(kNm/m)	181,55	198,43
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

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)	1,20	

9.2.4 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB	
Sst1 stat =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	263,83	263,83	263,83
Sst1 sism =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^- - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	45,30	45,30	73,94
Ssq1 perm =	$qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$	(kN/m)	56,00	56,00	62,08
Ssq1 acc =	$qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$	(kN/m)	9,72	9,72	10,78

- Componente orizzontale condizione sismica -

Sst1h stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	241,95	241,95	241,95
Sst1h sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	41,55	41,55	67,80
Ssq1h perm =	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	51,36	51,36	56,93
Ssq1h acc =	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	8,92	8,92	9,88

- Componente verticale condizione sismica -

Sst1v stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	105,20	105,20	105,20
Sst1v sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	18,06	18,06	29,48
Ssq1v perm =	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	22,33	22,33	24,76
Ssq1v acc =	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	3,88	3,88	4,30

- 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)	760,92	760,92	760,92
MSst1 sism =	$Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	(kNm/m)	130,66	130,66	213,24
MSst2 stat =	$Sst1v \text{ stat} \cdot B$	(kNm/m)	736,42	736,42	736,42
MSst2 sism =	$Sst1v \text{ sism} \cdot B$	(kNm/m)	126,45	126,45	206,37
MSsq1 =	$Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	(kNm/m)	284,35	284,35	315,21
MSsq2 =	$Ssq1v \cdot B$	(kNm/m)	183,46	183,46	203,37
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)		1,20

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)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv \text{ perm}} + S_{qv \text{ acc}} \quad 1236,17 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f \quad 423,55 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg} \varphi_1' \quad 0,47 \quad (-)$$

$$F_s \text{ scorr.} \quad (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1,36} \quad > \quad \mathbf{1,1}$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO (EQU)

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 4220,08 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} \quad 214,34 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_s \text{ ribaltamento} \quad M_s / M_r \quad \mathbf{19,69} \quad > \quad \mathbf{1,15}$$

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{ Sovr acc}) \quad \begin{matrix} N_{\min} \\ 1236,17 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{\max} \\ 1353,29 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p \quad 423,55 \quad 423,55 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 4005,74 \quad 4497,62 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 320,87 \quad 238,89 \quad (\text{kNm/m})$$

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

Fondazione Nastriforme

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

c'	coesione terreno di fondaz.	15,00		(kPa)
ϕ'	angolo di attrito terreno di fondaz.	25,00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	9,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma \cdot d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	31,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,26	0,18	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	6,48	6,65	(m)

I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	10,66		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	($2 + \pi$ in cond. nd)	20,72		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	10,88		(-)

I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi')))^m$	(1 in cond. nd)	0,50	0,53	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0,45	0,45	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi')))^{m+1}$		0,35	0,35	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	416,31	427,70	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	F = $q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	2,18	>	1,4
		Nmax	2,10	>	

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

Condizione sismica +

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)			
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$	1236,29	(kN/m)	
Risultante forze orizzontali (T)			
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$	415,02	(kN/m)	
Coefficiente di attrito alla base (f)			
$f = \operatorname{tg} \varphi_1'$	0,47	(-)	
$F_s = (N \cdot f + S_p) / T$	1,39	>	1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)			
$M_s = M_m + M_t + M_{fext3}$	4220,08	(kNm/m)	
Momento ribaltante (Mr)			
$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$	376,54	(kNm/m)	
$F_r = M_s / M_r$	11,21	>	1

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (\text{Sovr acc})$	1236,29	1236,29	1252,44	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$	415,02			(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
$MM = \sum M$	3934,10		4001,95	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
$M = X_c \cdot N - MM$	392,91		381,60	(kNm/m)

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

Fondazione Nastriforme

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

c1'	coesione terreno di fondaz.	15,00		(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	25,00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	9,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d^* H 2'$	sovraccarico stabilizzante	31,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,32	0,30	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	6,36	6,39	(m)

I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) e^{(\pi \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	10,66		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ π in cond. nd)	20,72		(-)
$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	10,88		(-)

I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0,51	0,51	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0,46	0,46	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi'))^{m+1}$		0,36	0,36	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	421,69	425,46	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} * B^* / N$	Nmin	2,17	>	1,2
		Nmax	2,17	>	

Condizione sismica -

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 1172,13 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 402,48 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\varphi_1' \quad 0,47 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1,36} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 4220,08 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 733,88 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{5,75} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{min} & N_{max} \\ 1172,13 & 1188,28 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 402,48 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \Sigma M \quad \begin{matrix} 3696,70 & 3764,54 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad \begin{matrix} 405,75 & 394,44 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

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

Fondazione Nastriforme

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

c1'	coesione terreno di fondaz.	15,00		(kN/mq)
φ1'	angolo di attrito terreno di fondaz.	25,00		(°)
γ ₁	peso unità di volume terreno fondaz.	9,00		(kN/m ³)
q ₀ = γd*H ²	sovraccarico stabilizzante	31,00		(kN/m ²)
e = M / N	eccentricità	0,35	0,33	(m)
B* = B - 2e	larghezza equivalente	6,31	6,34	(m)

I valori di N_c, N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

N _q = tg ² (45 + φ'/2) * e ^{(π*tg(φ'))}	(1 in cond. nd)	10,66		(-)
N _c = (N _q - 1)/tg(φ')	(2+π in cond. nd)	20,72		(-)
N _γ = 2*(N _q + 1)*tg(φ')	(0 in cond. nd)	10,88		(-)

I valori di i_c, i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

i _q = (1 - T/(N + B*c'*cotgφ')) ^m	(1 in cond. nd)	0,50	0,51	(-)
i _c = i _q - (1 - i _q)/(N _q - 1)		0,45	0,45	(-)
i _γ = (1 - T/(N + B*c'*cotgφ')) ^{m+1}		0,35	0,35	(-)

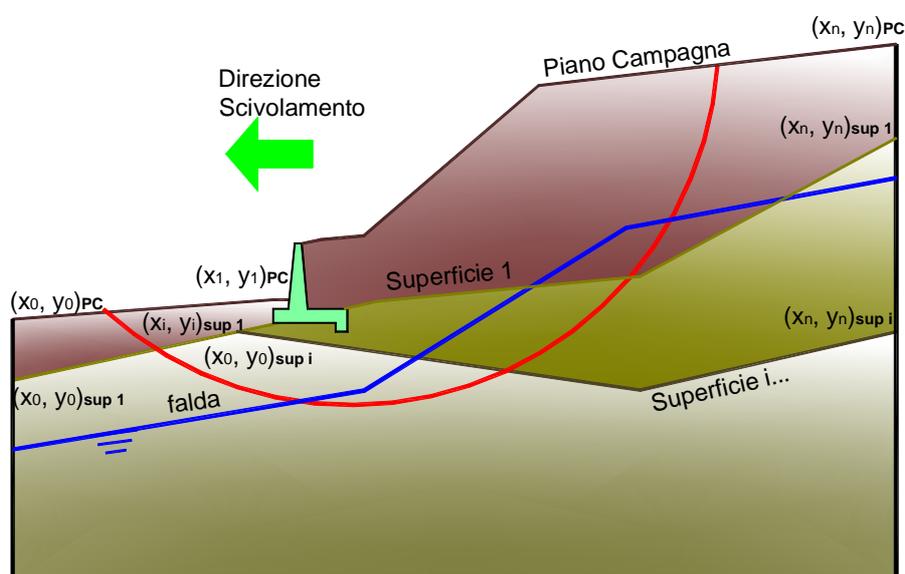
(fondazione nastriforme m = 2)

q _{lim}	(carico limite unitario)	414,00	418,01	(kN/m ²)
------------------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	F = q_{lim}*B*/ N	N _{min}	2,23	>	1,2
		N _{max}	2,23	>	

9.3.3 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE

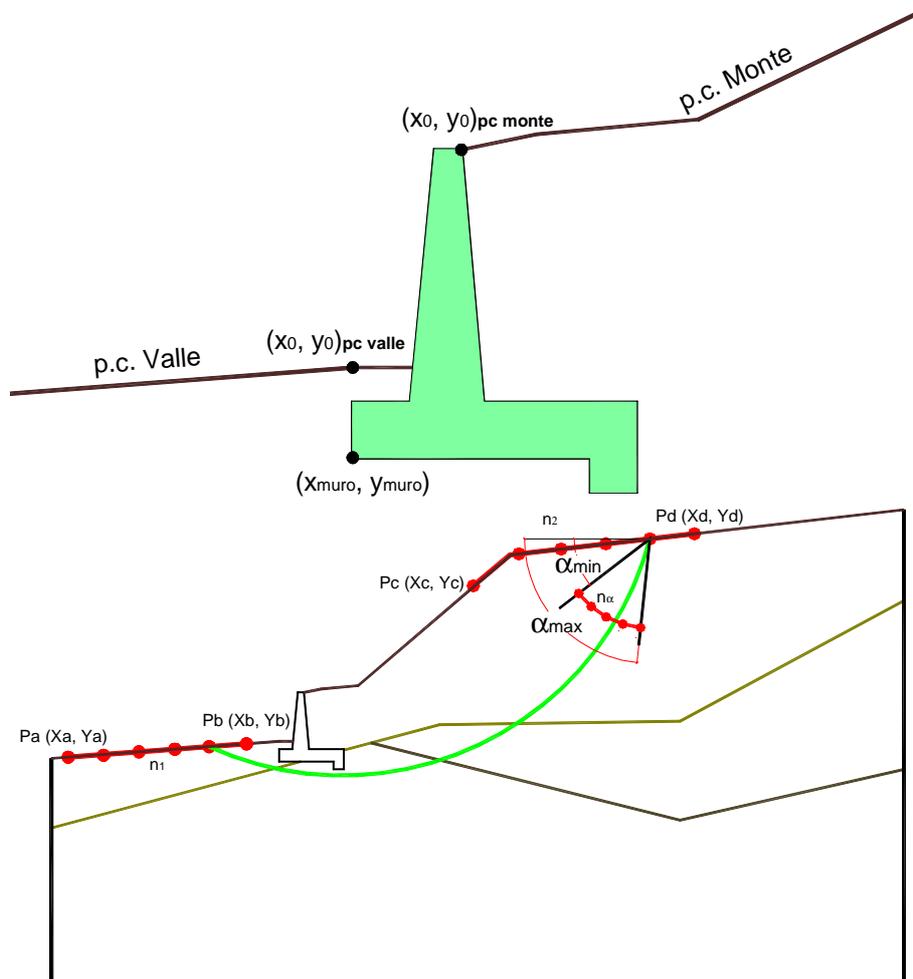
Le analisi di stabilità, di seguito riportate, sono state effettuate limitando la ricerca delle potenziali superfici di scorrimento critiche alla fascia più prossima alla linea ferroviaria.



	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kPa]	Descrizione
materiale 1	20.00	38	0	Rilevato - riporto
materiale 2	19.00	25	20	Unità geotecnica 1 - a2
materiale 3	19.50	21	0	Unità geotecnica 2 - a
materiale 4	21.00	20	22.5	Unità geotecnica 3 - FYN4

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	63 di 119



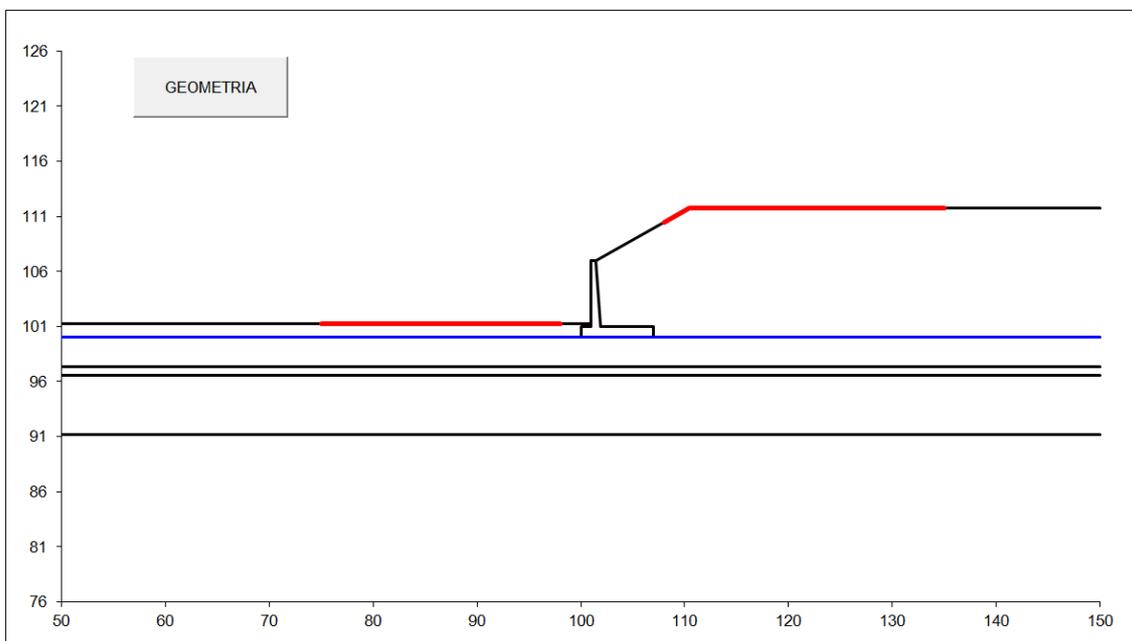
p.c. valle		p.c. monte		superficie 1		superficie 2		superficie 3		fonda				
materiale 1				materiale 2		materiale 3		materiale 4						
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y			
0	100,000	101,200	0	101,400	107,000	0	50,000	96,590	0	50,000	91,130	0	50,000	100,000
1	50,000	101,200	1	110,400	111,700	1	150,000	96,590	1	150,000	91,130	1	150,000	100,000
2			2	150,000	111,700	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

	x_{in}	q_{in}	x_{fin}	q_{fin}	% sisma
sovraccarico 1 <input checked="" type="checkbox"/>	111,400	57,7	114,000	57,7	20%
sovraccarico 2 <input type="checkbox"/>					

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

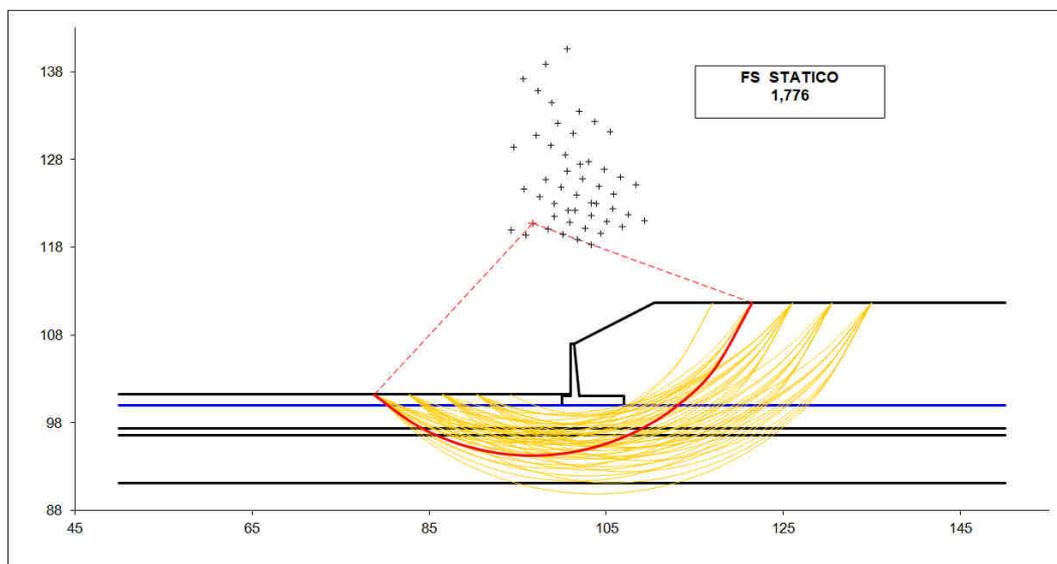
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	64 di 119



#strisce
30

# Superfici Calcolate	FS Bishop	
80	STATICO	1,776
	SISMICO	1,695

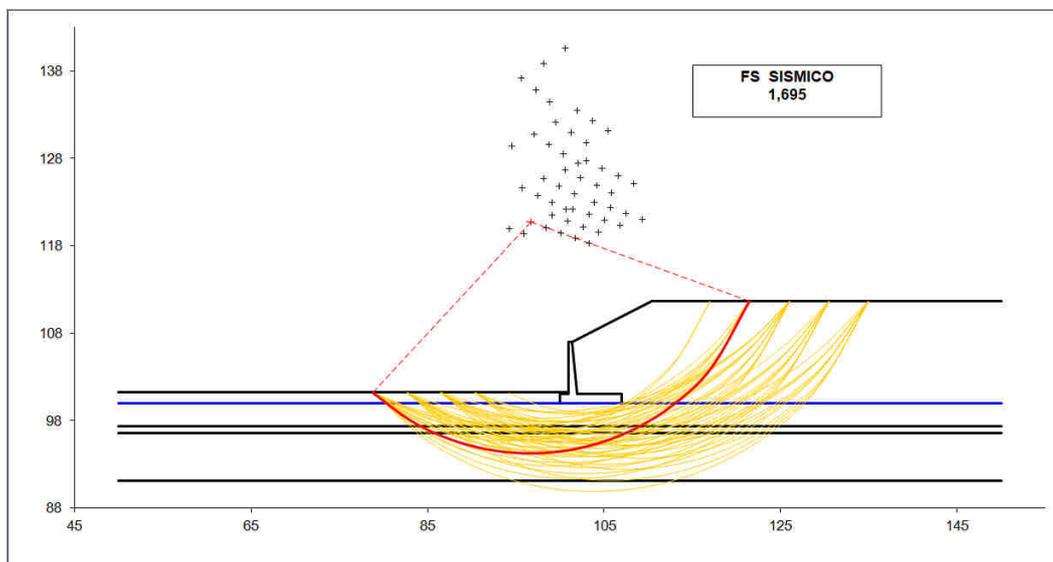
Condizioni statiche



RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	65 di 119

Condizioni sismiche



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0100 001	REV. B

9.3.4 VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – C. NON DRENATE

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)				
N	=	$P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} \text{ perm} + S_{qv} \text{ acc}$	1236,17	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{th} + S_{qh} + f$	423,55	(kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)				
f	=	$\text{tg}\phi_1'$	0,47	(-)
Fs scorr.		(N*f + Sp) / T	1,36	> 1,1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO (EQU)

Momento stabilizzante (Ms)				
Ms	=	$M_m + M_t + M_{fext3}$	4220,08	(kNm/m)
Momento ribaltante (Mr)				
Mr	=	$M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp}$	214,34	(kNm/m)
Fs ribaltamento		Ms / Mr	19,69	> 1,15

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)				
N	=	$P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{Sovr acc})$	Nmin 1236,17	Nmax 1353,29 (kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{th} + S_{qh} + f - S_p$	423,55	423,55 (kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM	=	$\sum M$	4005,74	4497,62 (kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M	=	$X_c * N - MM$	320,87	238,89 (kNm/m)

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

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot 1 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75,00		(kPa)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma \cdot d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	32,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,26	0,18	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	6,48	6,65	(m)

I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	1,00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi')$	(2+ π in cond. nd)	5,14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\varphi')$	(0 in cond. nd)	0,00		(-)

I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot(\varphi')))^m$	(1 in cond. nd)	1,00	1,00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B \cdot c_u \cdot N_c))$		0,66	0,67	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot(\varphi')))^{m+1}$		- -		(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	286,91	290,18	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	1,50	>	1,4
		Nmax	1,43	>	

9.3.5 VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – C. NON DRENATE

Condizione sismica +

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 1236,29 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 415,02 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \varphi_1' \quad 0,47 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1,39} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 4220,08 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 376,54 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{11,21} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (\text{Sovr acc}) \quad N_{min} \quad N_{max} \quad (\text{kN/m})$$

1236,29

1252,44

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 415,02 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 3934,10 \quad 4001,95 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 392,91 \quad 381,60 \quad (\text{kNm/m})$$

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75,00		(kN/mq)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	32,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,32	0,30	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	6,36	6,39	(m)

I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	1,00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi')$	(2+ π in cond. nd)	5,14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\varphi')$	(0 in cond. nd)	0,00		(-)

I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cot(\varphi')))^m$	(1 in cond. nd)	1,00	1,00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B^* \cdot cu \cdot N_c))$		0,66	0,66	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cot(\varphi')))^{m+1}$		--		(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	287,20	287,74	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	F = $q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	1,48	>	1,2
		Nmax	1,47	>	

Condizione sismica -

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 1172,13 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 402,48 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\varphi_1' \quad 0,47 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1,36} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 4220,08 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 733,88 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{5,75} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{min} & N_{max} \\ 1172,13 & 1188,28 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 402,48 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \Sigma M \quad \begin{matrix} 3696,70 & 3764,54 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad \begin{matrix} 405,75 & 394,44 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75,00		(kN/mq)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	32,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,35	0,33	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	6,31	6,34	(m)

I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	1,00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\varphi')$	($2 + \pi$ in cond. nd)	5,14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\varphi')$	(0 in cond. nd)	0,00		(-)

I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \text{cotg} \varphi'))^m$	(1 in cond. nd)	1,00	1,00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B^* \cdot c_u \cdot N_c))$		0,67	0,67	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \text{cotg} \varphi'))^{m+1}$		- -		(-)

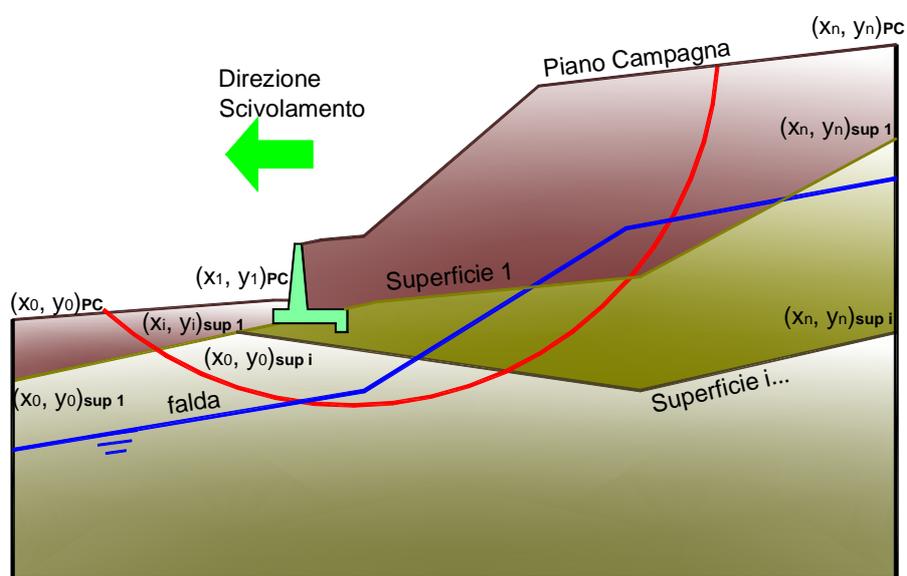
(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	290,00	290,58	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	1,56	>	1,2
		Nmax	1,55	>	

9.3.6 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. NON DRENATE

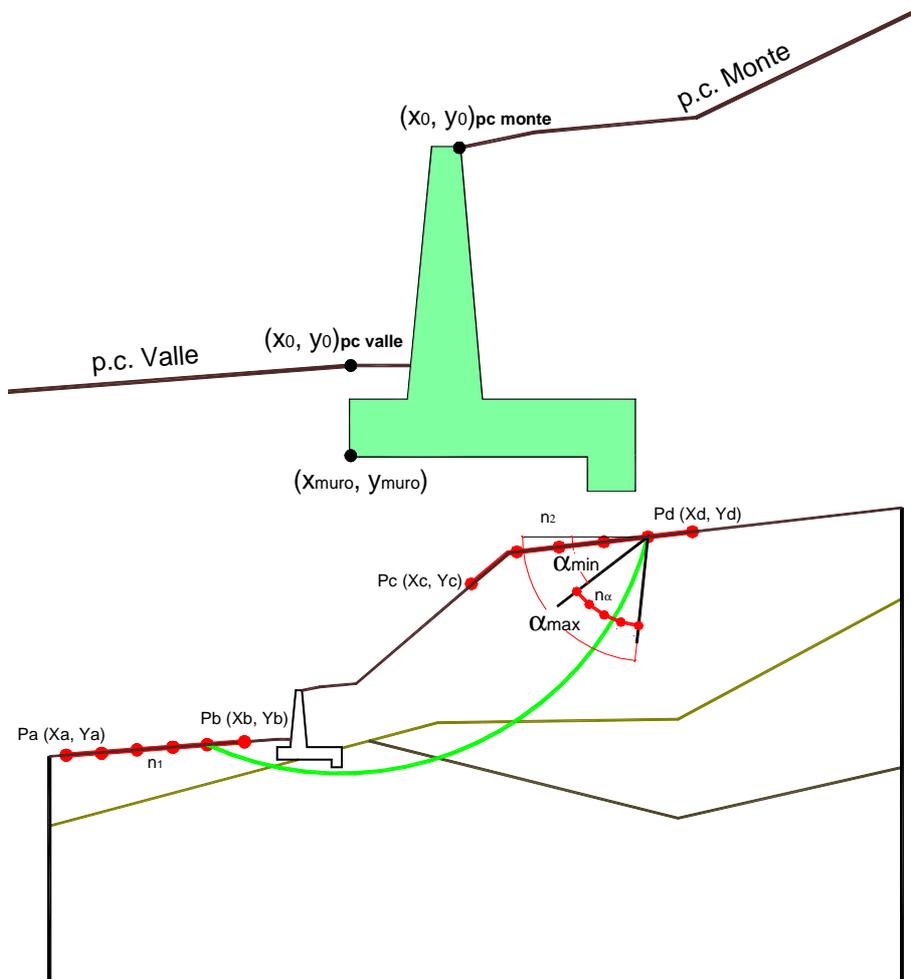
Le analisi di stabilità, di seguito riportate, sono state effettuate limitando la ricerca delle potenziali superfici di scorrimento critiche alla fascia più prossima alla linea ferroviaria.



	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kPa]	Descrizione
materiale 1	20.00	38	0	Rilevato - riporto
materiale 2	19.00	25	75	Unità geotecnica 1 - a2
materiale 3	19.50	21	0	Unità geotecnica 2 - a
materiale 4	21.00	20	175	Unità geotecnica 3 - FYN4

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

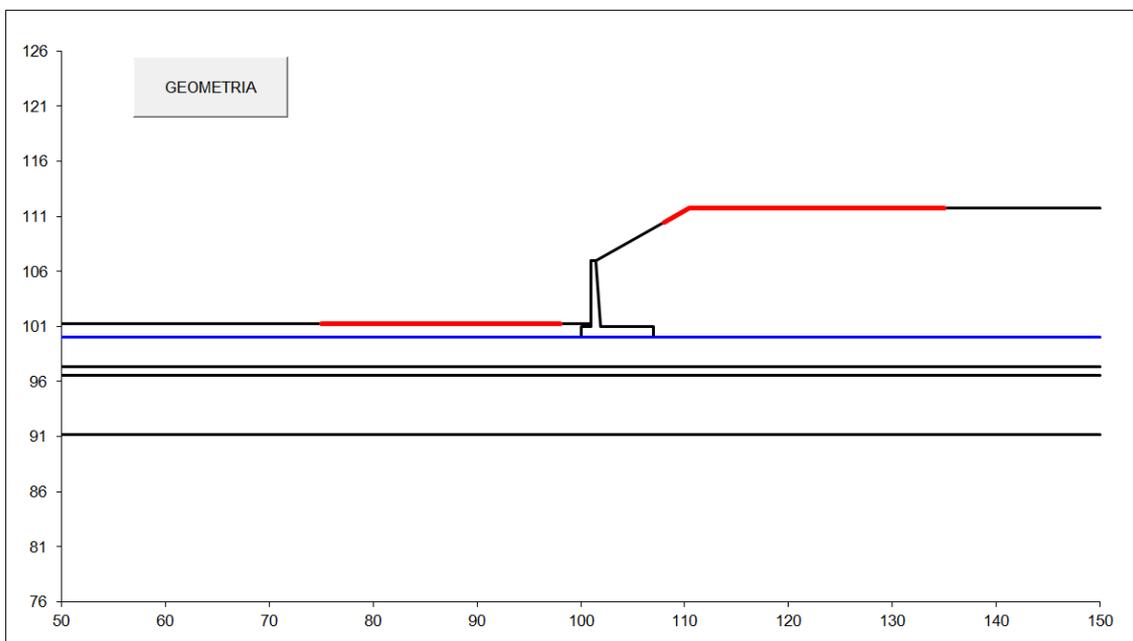
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	73 di 119



p.c. valle		p.c. monte		superficie 1		superficie 2		superficie 3		funda				
materiale 1				materiale 2		materiale 3		materiale 4						
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y			
0	100,000	101,200	0	101,400	107,000	0	50,000	97,350	0	50,000	91,130	0	50,000	100,000
1	50,000	101,200	1	110,400	111,700	1	150,000	97,350	1	150,000	96,590	1	150,000	100,000
2			2	150,000	111,700	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

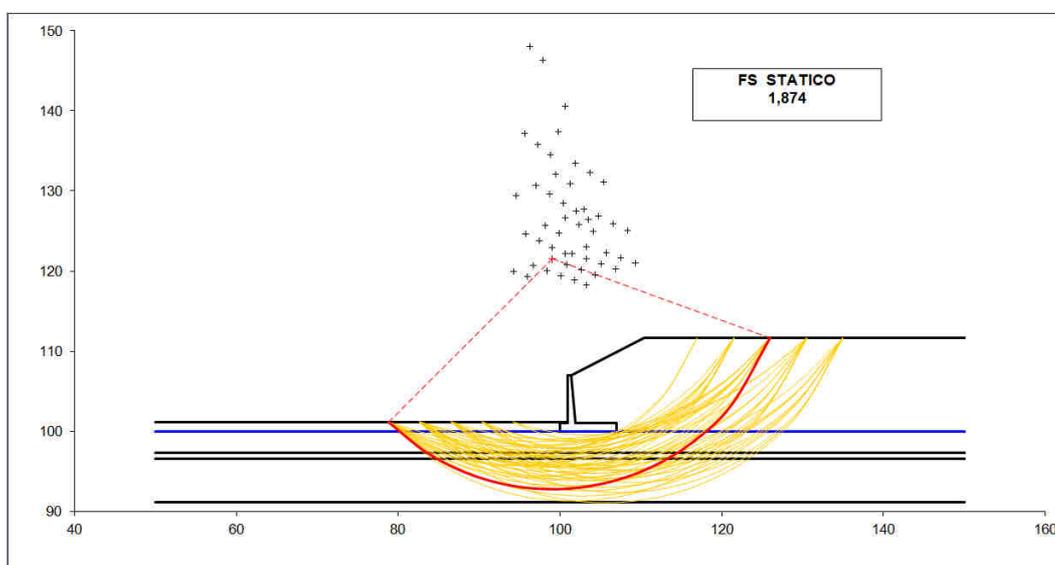
	x_{in}	q_{in}	x_{fin}	q_{fin}	% sisma
sovraccarico 1 <input checked="" type="checkbox"/>	111,400	57,7	114,000	57,7	20%
sovraccarico 2 <input type="checkbox"/>					



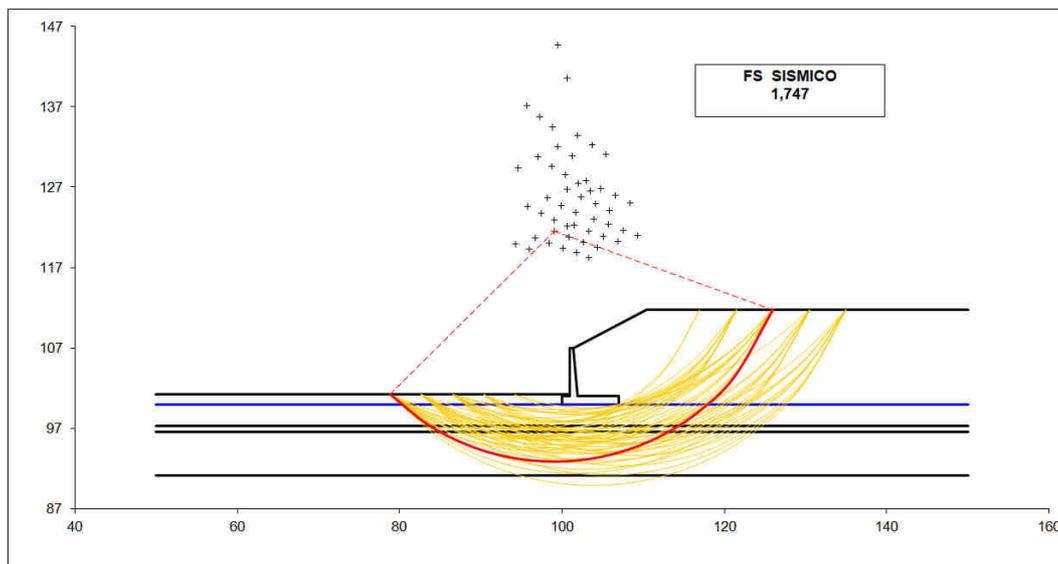
#strisce
30

# Superfici Calcolate	FS Bishop
80	STATICO 1,874
	SISMICO 1,747

Condizioni statiche



Condizioni sismiche



9.3.7 VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI SLD

Si riporta di seguito la verifica degli spostamenti permanenti indotti dal sisma per lo Stato Limite di Danno. Si è verificato che tale spostamento, determinato così come riportato all'interno del cap. 7.3.2 della presente relazione, risulti inferiore allo spostamento orizzontale massimo ammissibile in testa all'opera di sostegno, che può essere assunto, in condizioni sismiche, al più pari a 2cm.

a_g	0.048				
S_s	1.5				
St	1				
B	0.44				
A	-8.07				
ac	0.205				
amax	0.072				
d =	0.0000001 mm	<	20 mm		OK

9.4 VERIFICHE STRUTTURALI

9.4.1 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Reazione del terreno

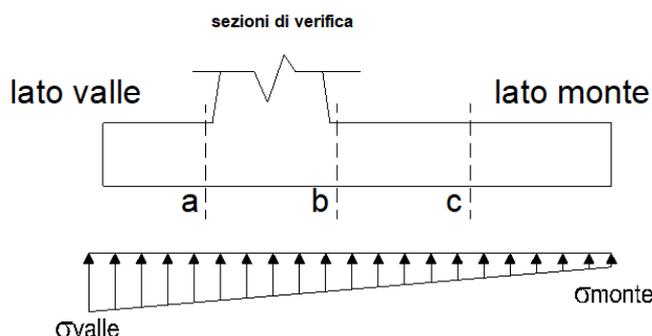
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

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

$$A = 1.0 \cdot B = 7,00 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 8,17 \quad (m^3)$$

caso	N	M	σ_{valle}	σ_{monte}
	[kN]	[kNm]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
statico	1236,17	320,87	215,89	137,31
	1353,29	238,89	222,58	164,08
sisma+	1236,29	392,91	224,72	128,50
	1252,44	381,60	225,65	132,19
sisma-	1172,13	405,75	217,13	117,76
	1188,28	394,44	218,05	121,46



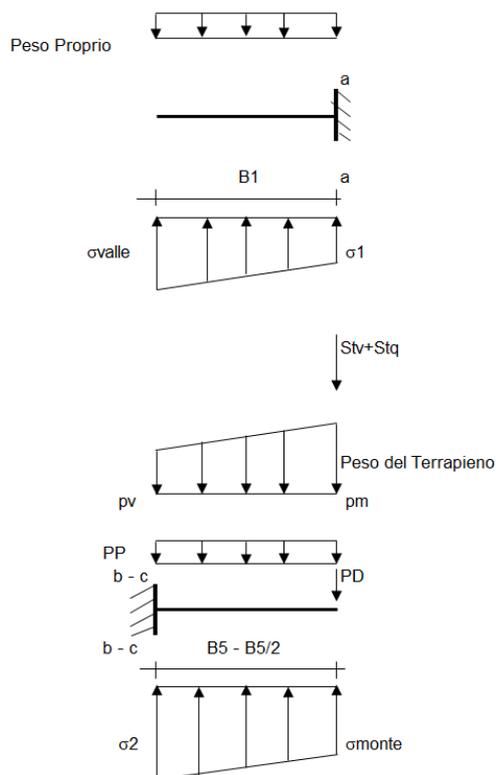
Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25,00 (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	σ_{valle}	σ_1	M_a	V_a
	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kNm]	[kN]
statico	215,89	204,66	93,57	185,27
	222,58	214,22	97,40	193,40
sisma+	224,72	210,98	97,22	192,15
	225,65	212,30	98,10	193,27
sisma-	217,13	202,94	94,05	184,33
	218,05	204,25	94,23	185,46



Mensola Lato Monte

PP = 25,00 (kN/m²)
PD = 0,00 (kN/m) peso proprio soletta fondazione
peso proprio dente

	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	168,70	189,61	171,58	(kN/m ²)
pvb	124,44	145,35	127,32	(kN/m ²)
pvc	146,57	167,48	149,45	(kN/m ²)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 - (Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2)^2 / 3 - (Stv + Sqv) \cdot (B5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H2 / 2$$

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

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

caso	σ_{monte}	σ_{2b}	M_b	V_b	σ_{2c}	M_c	V_c
	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kNm]	[kN]	[kN/m ²]	[kNm]	[kN]
statico	137,31	194,45	-1230,07	-213,14	165,88	-596,60	-271,62
	164,08	206,62	-1217,25	-220,48	185,35	-585,52	-266,00
sisma+	128,50	198,47	-1204,64	-220,45	163,49	-560,63	-261,16
	132,19	200,15	-1203,92	-221,88	166,17	-559,36	-260,59
sisma-	117,76	190,02	-1176,63	-215,06	153,89	-546,59	-255,62
	121,46	191,70	-1173,82	-215,66	156,58	-544,80	-254,64

CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo

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

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

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

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

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

$$N_{ext} = v$$

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

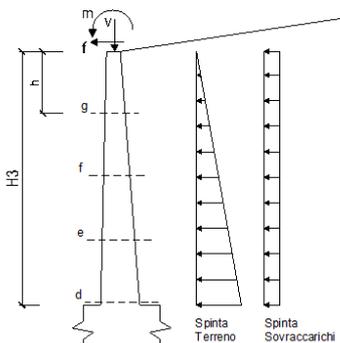
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{ext} = f$$

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



condizione statica

sezione	h	Mt	Mq	M _{ext}	M _{tot}	N _{ext}	N _{pp}	N _{tot}
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6,00	254,40	207,99	0,00	462,39	1,00	98,25	99,25
e-e	4,50	107,33	116,99	0,00	224,32	1,00	66,52	67,52
f-f	3,00	31,80	52,00	0,00	83,80	1,00	39,56	40,56
g-g	1,50	3,98	13,00	0,00	16,97	1,00	17,39	18,39

sezione	h	Vt	Vq	V _{ext}	V _{tot}
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6,00	127,20	69,33	0,00	196,53
e-e	4,50	71,55	52,00	0,00	123,55
f-f	3,00	31,80	34,67	0,00	66,47
g-g	1,50	7,95	17,33	0,00	25,28

condizione sismica +

sezione	h	Mt _{stat}	Mt _{sism}	Mq	M _{ext}	M _{inerzia}	M _{tot}	N _{ext}	N _{pp+inerzia}	N _{tot}
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6,00	195,69	48,26	113,80	0,00	14,33	372,07	1,00	100,99	101,99
e-e	4,50	82,56	20,36	64,01	0,00	7,46	174,38	1,00	68,37	69,37
f-f	3,00	24,46	6,03	28,45	0,00	3,05	61,99	1,00	40,67	41,67
g-g	1,50	3,06	0,75	7,11	0,00	0,70	11,62	1,00	17,88	18,88

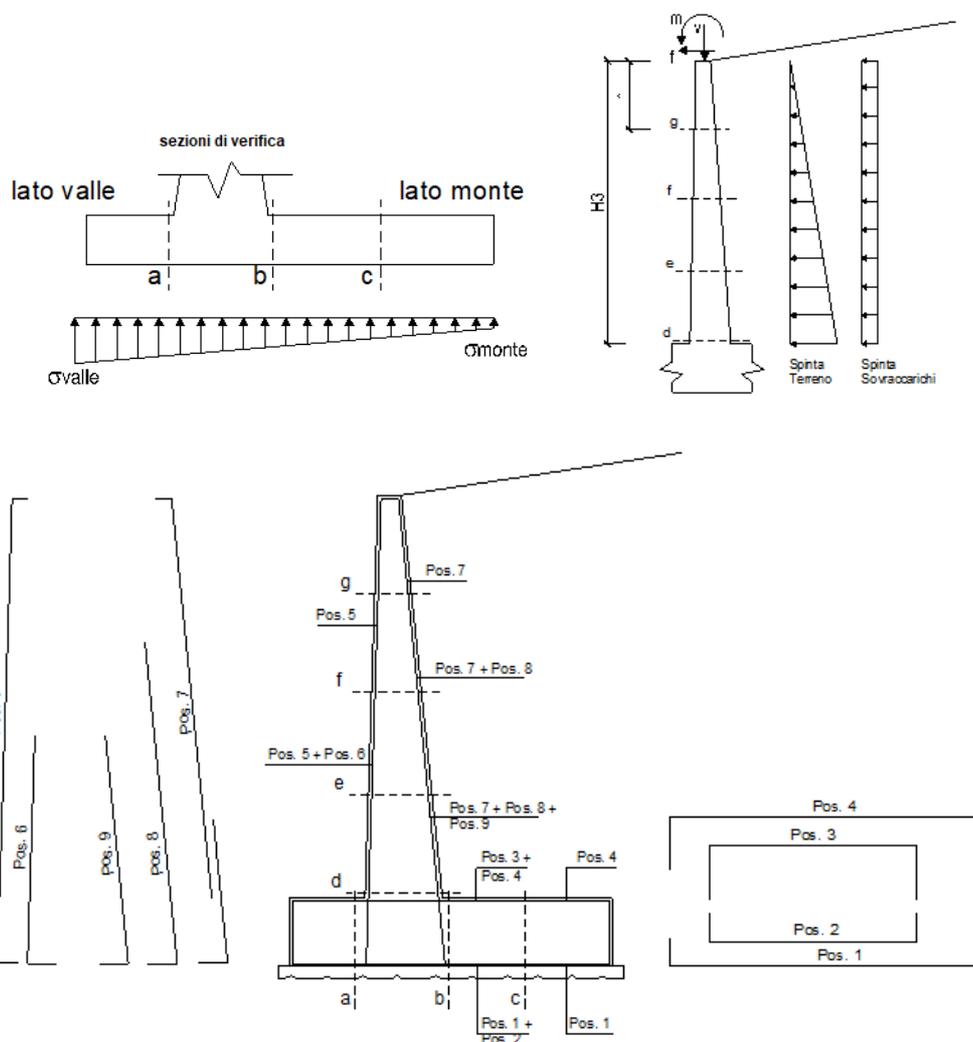
sezione	h	Vt _{stat}	Vt _{sism}	Vq	V _{ext}	V _{inerzia}	V _{tot}
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6,00	97,85	24,13	37,93	0,00	5,49	165,39
e-e	4,50	55,04	13,57	28,45	0,00	3,72	100,78
f-f	3,00	24,46	6,03	18,97	0,00	2,21	51,67
g-g	1,50	6,12	1,51	9,48	0,00	0,97	18,08

condizione sismica -

sezione	h	Mt _{stat}	Mt _{sism}	Mq	M _{ext}	M _{inerzia}	M _{tot}	N _{ext}	N _{pp+inerzia}	N _{tot}
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6,00	195,69	36,64	114,99	0,00	14,33	361,66	1,00	95,51	96,51
e-e	4,50	82,56	15,46	64,68	0,00	7,46	170,16	1,00	64,66	65,66
f-f	3,00	24,46	4,58	28,75	0,00	3,05	60,84	1,00	38,46	39,46
g-g	1,50	3,06	0,57	7,19	0,00	0,70	11,51	1,00	16,90	17,90

sezione	h	Vt _{stat}	Vt _{sism}	Vq	V _{ext}	V _{inerzia}	V _{tot}
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6,00	97,85	18,32	38,33	0,00	5,49	159,99
e-e	4,50	55,04	10,31	28,75	0,00	3,72	97,81
f-f	3,00	24,46	4,58	19,17	0,00	2,21	50,42
g-g	1,50	6,12	1,15	9,58	0,00	0,97	17,81

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 $h = 6,0m$ su fondazione diretta

ARMATURE

pos	n°/ml	ϕ	II strato	pos	n°/ml	ϕ	II strato
1	10,0	20		5	10,0	20	
2	0,0	0	<input type="checkbox"/>	6	0,0	0	<input type="checkbox"/>
3	10,0	24	<input checked="" type="checkbox"/>	7	10,0	20	
4	10,0	24		8	0,0	0	<input type="checkbox"/>
				9	0,0	0	<input type="checkbox"/>

Pertanto l'armatura secondaria sarà pari a:

sez a – a: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione e in elevazione);

sez b – b: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

sez c – c: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

sez d – d: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

sez e – e: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

sez f – f: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

sez g – g: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(kNm)
a - a	98.10	0.00	1.00	31.42	90.48	1122.44
b - b	-1230.07	0.00	1.00	90.48	31.42	2899.49
c - c	-596.60	0.00	1.00	45.24	31.42	1541.24
d - d	462.39	99.25	0.91	31.42	31.42	1009.98
e - e	224.32	67.52	0.78	31.42	31.42	836.87
f - f	83.80	40.56	0.66	31.42	31.42	669.01
g - g	16.97	18.39	0.53	31.42	31.42	505.49

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

Sez.	V _{Ed}	h	V _{rd}	σ staffe	i orizz.	i vert.	θ	V _{Rsd}	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	193.40	1.00	352.34	14	20	20	21.8	3130.80	Armatura a taglio non necessaria
b - b	221.88	1.00	501.29	14	20	20	21.8	3130.80	Armatura a taglio non necessaria
c - c	271.62	1.00	397.88	14	20	20	21.8	3130.80	Armatura a taglio non necessaria
d - d	196.53	0.91	348.21	14	20	20	21.8	2825.85	Armatura a taglio non necessaria
e - e	123.55	0.78	317.19	14	20	20	21.8	2393.84	Armatura a taglio non necessaria
f - f	66.47	0.66	284.95	14	20	20	21.8	1961.83	Armatura a taglio non necessaria
g - g	25.28	0.53	250.83	14	20	20	21.8	1529.82	Armatura a taglio non necessaria

9.4.3 VERIFICHE SLE TENSIONE

Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ_c	σ_f
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
a - a	81.31	0.00	1.00	31.42	90.48	0.57	30.60
b - b	-913.24	0.00	1.00	90.48	31.42	5.44	133.53
c - c	-440.59	0.00	1.00	45.24	31.42	3.15	116.27
d - d	347.54	99.25	0.91	31.42	31.42	3.41	130.52
e - e	167.97	67.52	0.78	31.42	31.42	2.16	73.58
f - f	62.42	40.56	0.66	31.42	31.42	1.11	32.34
g - g	12.55	18.39	0.53	31.42	31.42	0.34	7.33

Condizione Sismica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ_c	σ_f
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
a - a	97.75	0.00	1.00	31.42	90.48	0.69	36.79
b - b	-1204.64	0.00	1.00	90.48	31.42	7.18	176.14
c - c	-560.63	0.00	1.00	45.24	31.42	4.00	147.94
d - d	372.07	96.51	0.91	31.42	31.42	3.64	141.16
e - e	174.38	65.66	0.78	31.42	31.42	2.24	77.03
f - f	61.99	39.46	0.66	31.42	31.42	1.11	32.23
g - g	11.62	17.90	0.53	31.42	31.42	0.32	6.66

(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	σ_c	σ_f	wk	w _{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)	(mm)
a - a	81.31	0.00	1.00	31.42	90.48	0.57	30.60	0.038	0.200
b - b	-913.24	0.00	1.00	90.48	31.42	5.44	133.53	0.148	0.200
c - c	-440.59	0.00	1.00	45.24	31.42	3.15	116.27	0.129	0.200
d - d	347.54	99.25	0.91	31.42	31.42	3.41	130.52	0.160	0.200
e - e	167.97	67.52	0.78	31.42	31.42	2.16	73.58	0.090	0.200
f - f	62.42	40.56	0.66	31.42	31.42	1.11	32.34	0.036	0.200
g - g	12.55	18.39	0.53	31.42	31.42	0.34	7.33	0.007	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	σ_c	σ_f	wk	w _{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)	(mm)
a - a	70.97	0.00	1.00	31.42	90.48	0.50	26.71	0.033	0.200
b - b	-764.54	0.00	1.00	90.48	31.42	4.56	111.79	0.115	0.200
c - c	-371.59	0.00	1.00	45.24	31.42	2.65	98.06	0.109	0.200
d - d	276.98	99.25	0.91	31.42	31.42	2.73	101.09	0.124	0.200
e - e	128.28	67.52	0.78	31.42	31.42	1.66	53.87	0.066	0.200
f - f	44.78	40.56	0.66	31.42	31.42	0.81	21.54	0.024	0.200
g - g	8.14	18.39	0.53	31.42	31.42	0.23	3.86	0.004	0.200

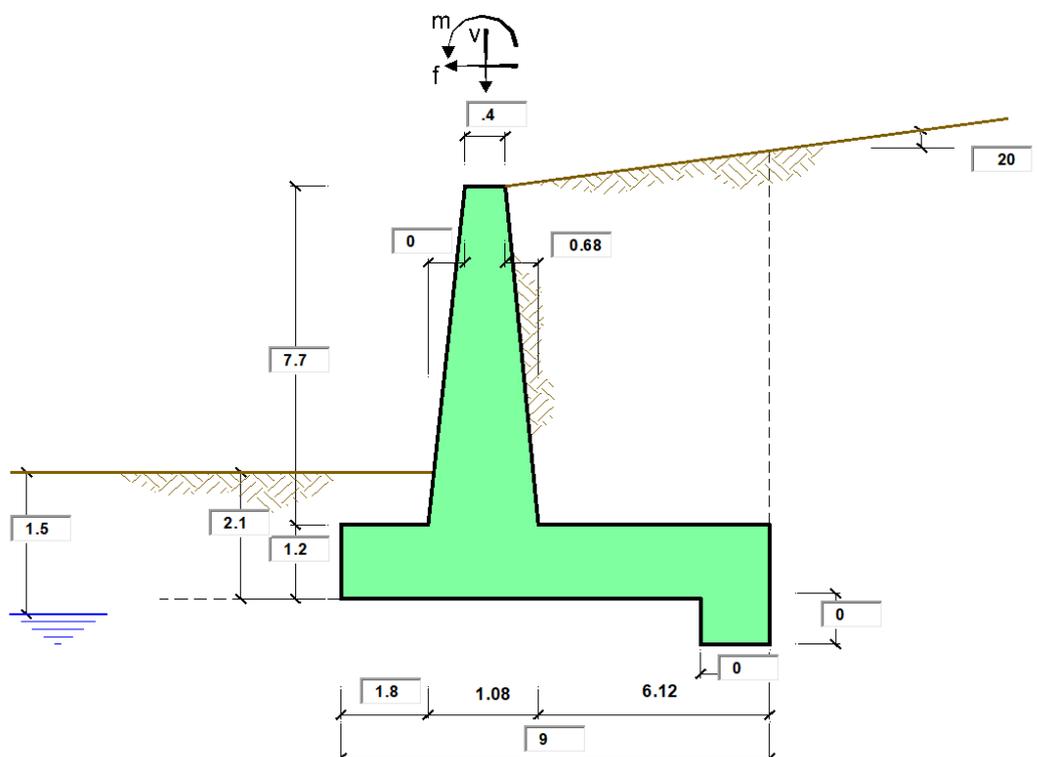
(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

9.4.5 CALCOLO INCIDENZA ARMATURA

MURO a mensola MU01-TIPO2	
PARTE D'OPERA	INCIDENZA (Kg/mc)
Elevazione	105
Fondazione	110

10. PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOTTOSCARPA “TIPO 3”

10.1 DATI DI INPUT



Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	7,70	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0,00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0,40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0,68	(m)

Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	9,00	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	1,20	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	1,80	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	6,12	(m)
Altezza dente	Hd =	0,00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0,00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	4,50	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	γ_{cls} =	25,00	(kN/m ³)
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

Condizioni drenate

Dati Geotecnici				valori caratteristici		valori di progetto	
				SLE		STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	ϕ'	38.00	38.00	38.00	38.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m ³)	γ'	20.00	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	20.00	20.00	20.00	20.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	<input checked="" type="radio"/> drenate <input type="radio"/> Non Drenate					
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	c_1'	20.00	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	ϕ_1'	25.00	25.00	25.00	25.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m ³)	γ_1	19.00	19.00	19.00	19.00
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m ³)	γ_d	20.00	20.00	20.00	20.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	18.00			
	Modulo di deformazione	(kN/m ²)	E	10000			

Dati Sismici	Accelerazione sismica	a_g/g	0.098	(-)		
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_s	1.5	(-)		
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1	(-)		
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_s	0.38	(-)		
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.05586	(-)		
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0279	(-)		
Muro libero di traslare o ruotare			<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no			
				RIBALTAMENTO		
				β_s	0.57	
				kh	0.08379	
				kv	0.04190	

				STR/GEO		RIB	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.277	0.277	0.277	0.277	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.325	0.325	0.351	0.351	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.328	0.328	0.359	0.359	
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	2.464	2.464	2.464	2.464	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	2.377	2.377	2.333	2.333	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	2.372	2.372	2.322	2.322	

Carichi Agenti				valori caratteristici		valori di progetto	
				SLE - sisma		STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m ²)	qp	16.62	21.60	21.60	
	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	1.00	1.00	1.00	
	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp	0.00	0.00	0.00	
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m ²)	q	14.42	20.91	20.91	
	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 Ψ_1		1.00	condizione quasi permanente Ψ_2	0.00	0.00	
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m ²)	qs	2.88			
	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			

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	86 di 119

Condizioni non drenate

Dati Geotecnici				valori caratteristici		valori di progetto	
				SLE		STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	ϕ'	38.00	38.00	38.00	38.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m ³)	γ'	20.00	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	20.00	20.00	20.00	20.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni		<input type="radio"/> drenate <input checked="" type="radio"/> Non Drenate				
	Resistenza a Taglio non drenata	(kPa)	cu	75.00	75.00	75.00	75.00
	Angolo di attrito Terreno-Fondazione	(°)	ϕ_1'	25.00	25.00	25.00	25.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m ³)	γ_1	19.00	19.00	19.00	19.00
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m ³)	γ_d	20.00	20.00	20.00	20.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	18.00			
	Modulo di deformazione	(kN/m ²)	E	10000			

Dati Sismici	Accelerazione sismica	a_g/g	0.098	(-)		
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_s	1.5	(-)		
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1	(-)		
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_s	0.38	(-)		
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.05586	(-)		
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0279	(-)		
Muro libero di traslare o ruotare			<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no			
				RIBALTAMENTO		
				β_s	0.57	
				kh	0.08379	
				kv	0.04190	

				STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.277	0.277	0.277
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.325	0.325	0.351
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.328	0.328	0.359
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	1.000	1.000	1.000
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	1.000	1.000	1.000
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	1.000	1.000	1.000

Carichi Agenti				valori caratteristici		valori di progetto	
				SLE - sisma		STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m ²)	qp	16.62	21.60	21.60	
	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	1.00	1.00	1.00	
	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp	0.00	0.00	0.00	
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m ²)	q	14.42	20.91	20.91	
	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 Ψ_1		1.00	condizione quasi permanente Ψ_2		0.00	
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m ²)	qs	2.88			
	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			

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	87 di 119

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Calcestruzzo

classe cls

Rck	37	(MPa)
fck	30	(MPa)
fc _m	38	(MPa)
E _c	32837	(MPa)
α _{oc}	0.85	
γ _c	1.50	

$f_{cd} = \alpha_{oc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$	17.00	(MPa)
$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	2.90	(MPa)

Tensioni limite (tensioni ammissibili)

condizioni statiche

σ _c	18	Mpa
σ _f	360	Mpa

condizioni sismiche

σ _c	18	Mpa
σ _f	360	Mpa

Valore limite di apertura delle fessure

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

Acciaio

tipo di acciaio

f _{yk}	=	450	(MPa)
γ _s	=	1.15	
f _{yd} = f _{yk} / γ _s	=	391.30	(MPa)
E _s	=	210000	(MPa)
ε _{ys}	=	0.19%	

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

c = 7.60 (cm)

Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

c_{min} = 4.00 (cm)

Interferro tra I e II strato

i_{I-II} = 5.00 (cm)

10.1 CALCOLO DELLE AZIONI

10.1.1 FORZE VERTICALI E INERZIALI

FORZE VERTICALI

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Peso del Muro (Pm)				
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) 77,00	77,00	77,00
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	(kN/m) 65,45	65,45	65,45
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m) 270,00	270,00	270,00
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m) 0,00	0,00	0,00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m) 412,45	412,45	412,45
- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)				
Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m) 942,48	942,48	942,48
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$	(kN/m) 168,30	168,30	168,30
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma') / 2$	(kN/m) 52,36	52,36	52,36
Sovr =	$qp \cdot (B4 + B5)$	(kN/m) 0,00	0,00	0,00
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr	(kN/m) 1163,14	1163,14	1163,14
- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro				
Sovr acc. Stat	$q \cdot (B4 + B5)$	(kN/m) 98,0769231	142,211538	
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B4 + B5)$	(kN/m) 19,6153846		

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

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Muro (Mm)				
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) 154,00	154,00	154,00
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 \cdot B4)$	(kNm/m) 158,83	158,83	158,83
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m) 1215,00	1215,00	1215,00
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m) 0,00	0,00	0,00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m) 1527,83	1527,83	1527,83
- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro				
Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	(kNm/m) 5598,33	5598,33	5598,33
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m) 1133,22	1133,22	1133,22
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	(kNm/m) 138,93	138,93	138,93
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) 6870,48	6870,48	6870,48
- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro				
Sovr acc. Stat	$q \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m) 549,230769	796,384615	
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m) 109,846154		

10.1.2 SPINTE IN CONDIZIONE STATICA

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Spinta totale condizione statica				
St =	$0,5 \cdot \gamma \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$	(kN/m) 358,30	465,80	465,80
Sq perm =	$q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$	(kN/m) 52,34	68,04	68,04
Sq acc =	$q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$	(kN/m) 45,43	65,88	65,88
- Componente orizzontale condizione statica				
Sth =	$St \cdot \cos \delta$	(kN/m) 336,70	437,70	437,70
Sqh perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m) 49,18	63,94	63,94
Sqh acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m) 42,69	61,90	61,90
- Componente verticale condizione statica				
Stv =	$St \cdot \sin \delta$	(kN/m) 122,55	159,31	159,31
Sqv perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m) 17,90	23,27	23,27
Sqv acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m) 15,54	22,53	22,53
- Spinta passiva sul dente				
Sp =	$\frac{1}{2} \cdot g \cdot 1 \cdot H_d^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot H_d^2 \cdot k_p + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot H_d$	(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) 1276,64	1659,63	1659,63
MSt2 =	$Stv \cdot B$	(kNm/m) 1102,92	1433,80	1433,80
MSq1 perm =	$Sqh \text{ perm} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m) 279,72	363,63	363,63
MSq1 acc =	$Sqh \text{ acc} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m) 242,81	352,07	352,07
MSq2 perm =	$Sqv \text{ perm} \cdot B$	(kNm/m) 161,10	209,43	209,43
MSq2 acc =	$Sqv \text{ acc} \cdot B$	(kNm/m) 139,85	202,78	202,78
MSp =	$\gamma_1 \cdot H_d^3 \cdot k_p / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot H_d^2 / 2$	(kNm/m) 0,00	0,00	0,00

MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1 =	$m_p + m$	(kNm/m) 0,00	0,00	0,00
Mfext2 =	$(f_p + f) \cdot (H_3 + H_2)$	(kNm/m) 0,00	0,00	0,00
Mfext3 =	$(v_p + v) \cdot (B_1 + B_2 + B_3 / 2)$	(kNm/m) 2,00	2,00	2,00

10.1.3 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Spinta condizione sismica +				
Sst1 stat =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	358,30	358,30
Sst1 sism =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	73,54	115,20
Ssq1 perm =	$qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	61,36	66,38
Ssq1 acc =	$qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	10,65	11,52
- Componente orizzontale condizione sismica +				
Sst1h stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	336,70	336,70
Sst1h sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	69,10	108,25
Ssq1h perm =	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	57,66	62,38
Ssq1h acc =	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	10,01	10,83
- Componente verticale condizione sismica +				
Sst1v stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	122,55	122,55
Sst1v sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	25,15	39,40
Ssq1v perm =	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	20,99	22,70
Ssq1v acc =	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	3,64	3,94
- 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

MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Condizione sismica +				
MSst1 stat =	$Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	(kNm/m)	1276,64	1276,64
MSst1 sism =	$Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	(kNm/m)	262,02	410,45
MSst2 stat =	$Sst1v \text{ stat} \cdot B$	(kNm/m)	1102,92	1102,92
MSst2 sism =	$Sst1v \text{ sism} \cdot B$	(kNm/m)	226,36	354,60
MSsq1 =	$Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	(kNm/m)	384,90	416,38
MSsq2 =	$Ssq1v \cdot B$	(kNm/m)	221,69	239,81
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

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)	2,00	

10.1.4 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB	
Sst1 stat =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	358,30	358,30	358,30
Sst1 sism =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^- - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	53,90	53,90	86,59
Ssq1 perm =	$qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$	(kN/m)	61,94	61,94	67,83
Ssq1 acc =	$qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$	(kN/m)	10,75	10,75	11,78

- Componente orizzontale condizione sismica -

Sst1h stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	336,70	336,70	336,70
Sst1h sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	50,65	50,65	81,37
Ssq1h perm =	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	58,20	58,20	63,74
Ssq1h acc =	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	10,10	10,10	11,07

- Componente verticale condizione sismica -

Sst1v stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	122,55	122,55	122,55
Sst1v sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	18,43	18,43	29,62
Ssq1v perm =	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	21,18	21,18	23,20
Ssq1v acc =	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	3,68	3,68	4,03

- 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)	1276,64	1276,64	1276,64
MSst1 sism =	$Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	(kNm/m)	192,03	192,03	308,53
MSst2 stat =	$Sst1v \text{ stat} \cdot B$	(kNm/m)	1102,92	1102,92	1102,92
MSst2 sism =	$Sst1v \text{ sism} \cdot B$	(kNm/m)	165,90	165,90	266,54
MSsq1 =	$Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	(kNm/m)	388,51	388,51	425,44
MSsq2 =	$Ssq1v \cdot B$	(kNm/m)	223,76	223,76	245,03
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)		2,00

10.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

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

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv \text{ perm}} + S_{qv \text{ acc}} \quad 1781,70 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f \quad 563,54 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg} \varphi_1' \quad 0,47 \quad (-)$$

$$F_s \text{ scorr.} \quad (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1,47} \quad > \quad \mathbf{1,1}$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO (EQU)

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 8400,30 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} \quad 529,32 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_s \text{ ribaltamento} \quad M_s / M_r \quad \mathbf{15,87} \quad > \quad \mathbf{1,15}$$

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{ Sovr acc}) \quad \begin{matrix} N_{\min} \\ 1781,70 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{\max} \\ 1923,91 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p \quad \begin{matrix} 563,54 \\ 563,54 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad \begin{matrix} 7870,98 \\ 8667,37 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad \begin{matrix} 146,68 \\ -9,76 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

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

Fondazione Nastriforme

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

c'	coesione terreno di fondaz.	15,00		(kPa)
ϕ'	angolo di attrito terreno di fondaz.	25,00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	9,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	36,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,08	-0,01	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	8,84	8,99	(m)

I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	10,66		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	($2 + \pi$ in cond. nd)	20,72		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	10,88		(-)

I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi')))^m$	(1 in cond. nd)	0,53	0,56	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0,48	0,48	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi')))^{m+1}$		0,38	0,39	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	518,51	529,22	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	F = $q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	2,57	>	1,4
		Nmax	2,47	>	

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

Condizione sismica +

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)				
N	=	$P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$	1792,93	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$	561,49	(kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)				
f	=	$tg\phi_1'$	0,47	(-)
Fs	=	$(N \cdot f + S_p) / T$	1,49	> 1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
Ms	=	$M_m + M_t + M_{fext3}$	8400,30	(kNm/m)
Momento ribaltante (Mr)				
Mr	=	$M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$	791,97	(kNm/m)
Fr	=	M_s / M_r	10,61	> 1

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)				
N	=	$P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (Sovr\ acc)$	Nmin 1792,93	Nmax 1812,54 (kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$	561,49	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM	=	ΣM	7770,49	7880,34 (kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M	=	$X_c \cdot N - MM$	297,68	276,10 (kNm/m)

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

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'Nc'ic + q_0 * Nq * iq + 0,5 * \gamma_1 * B * N\gamma * i\gamma$$

c1'	coesione terreno di fondaz.	15,00		(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	25,00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	9,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d * H2'$	sovraccarico stabilizzante	36,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,17	0,15	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	8,67	8,70	(m)

I valori di Nc, Nq e Ng sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$Nq = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) * e^{(\pi * \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	10,66		(-)
$Nc = (Nq - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ π in cond. nd)	20,72		(-)
$N\gamma = 2 * (Nq + 1) * \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	10,88		(-)

I valori di ic, iq e i γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$iq = (1 - T / (N + B * c' * \text{cotg}(\phi')))^m$	(1 in cond. nd)	0,53	0,54	(-)
$ic = iq - (1 - iq) / (Nq - 1)$		0,48	0,49	(-)
$i\gamma = (1 - T / (N + B * c' * \text{cotg}(\phi')))^{m+1}$		0,39	0,39	(-)

(fondazione nastriforme m = 2)

q_{lim}	(carico limite unitario)	518,41	521,83	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	F = q_{lim}*B*/ N	Nmin	2,51	>	1,2
		Nmax	2,50	>	

Condizione sismica -

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 1698,43 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 543,66 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\varphi_1' \quad 0,47 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1,46} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 8400,30 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 1491,32 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{5,63} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{min} & N_{max} \\ 1698,43 & 1718,04 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 543,66 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \Sigma M \quad \begin{matrix} 7305,57 & 7415,41 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad \begin{matrix} 337,35 & 315,77 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	97 di 119

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

Fondazione Nastriforme

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

c'	coesione terreno di fondaz.	15,00		(kN/mq)
φ'	angolo di attrito terreno di fondaz.	25,00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	9,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d H^2$	sovraccarico stabilizzante	36,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,20	0,18	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	8,60	8,63	(m)

I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \varphi'/2) e^{(\pi \text{tg}(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	10,66		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\varphi')$	($2 + \pi$ in cond. nd)	20,72		(-)
$N_\gamma = 2(N_q + 1) \text{tg}(\varphi')$	(0 in cond. nd)	10,88		(-)

I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* c' \cot \varphi'))^m$	(1 in cond. nd)	0,53	0,53	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0,48	0,48	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \varphi'))^{m+1}$		0,38	0,38	(-)

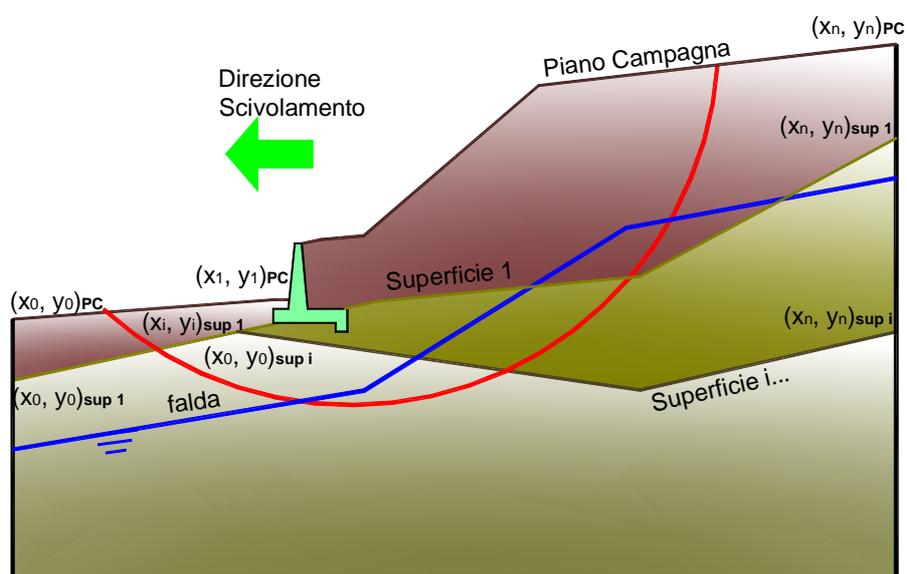
(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	509,89	513,52	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} B^* / N$	N_{min}	2,58	>	1,2
		N_{max}	2,58	>	

10.1.3 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE

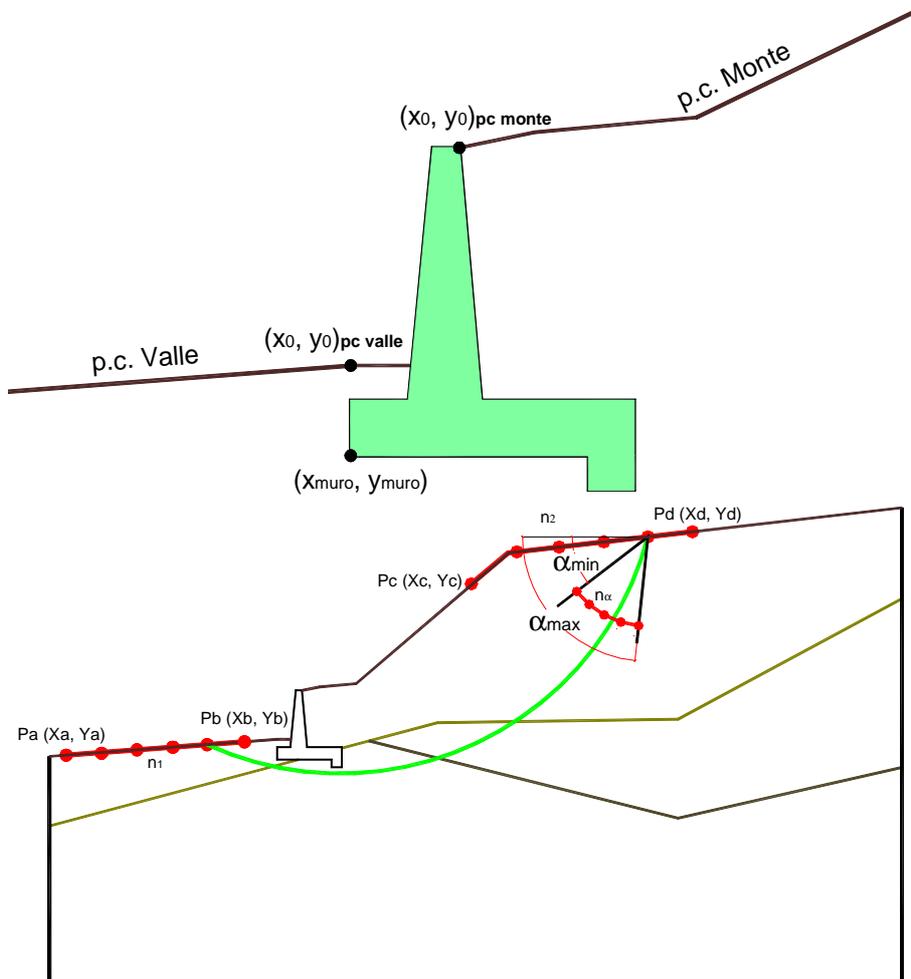
Le analisi di stabilità, di seguito riportate, sono state effettuate limitando la ricerca delle potenziali superfici di scorrimento critiche alla fascia più prossima alla linea ferroviaria.



	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kPa]	Descrizione
materiale 1	20.00	38	0	Rilevato - riporto
materiale 2	19.00	25	20	Unità geotecnica 1 - a2
materiale 3	19.50	21	0	Unità geotecnica 2 - a
materiale 4	21.00	20	22.5	Unità geotecnica 3 - FYN4

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	99 di 119



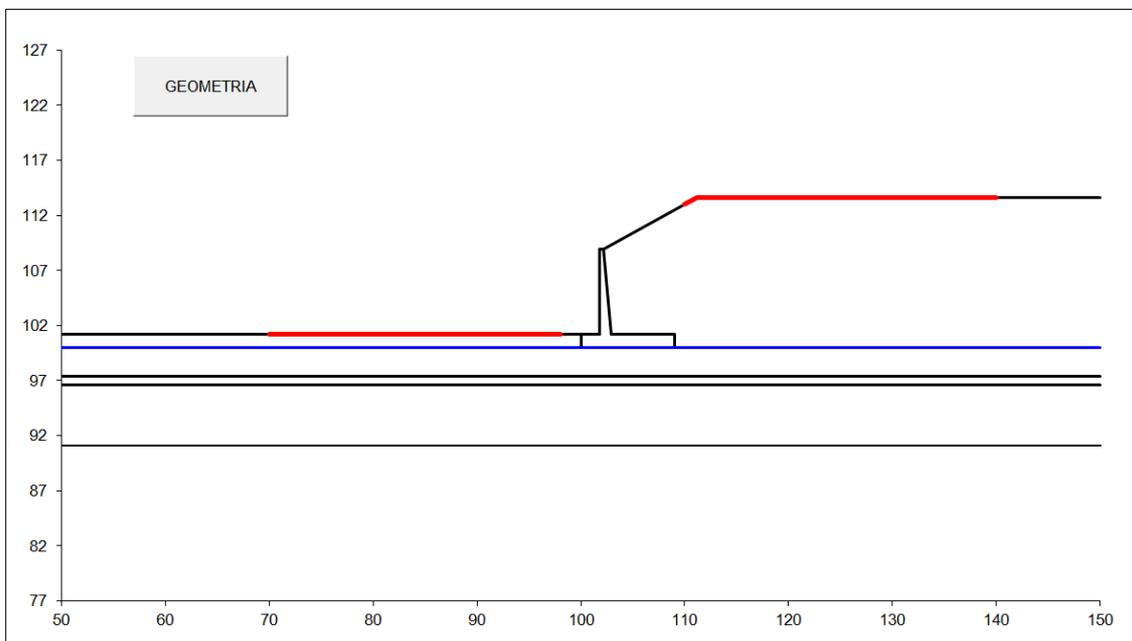
p.c. valle		p.c. monte		superficie 1		superficie 2		superficie 3		falsa				
materiale 1				materiale 2		materiale 3		materiale 4		falsa				
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y			
0	100,000	101,200	0	102,200	108,900	0	50,000	97,350	0	50,000	91,130	0	50,000	100,000
1	50,000	101,200	1	111,200	113,600	1	150,000	97,350	1	150,000	96,590	1	150,000	100,000
2			2	150,000	113,600	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

	x_{in}	q_{in}	x_{fin}	q_{fin}	% sisma
sovraccarico 1 <input checked="" type="checkbox"/>	112,200	57.7	114,800	57.7	20%
sovraccarico 2 <input type="checkbox"/>					

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

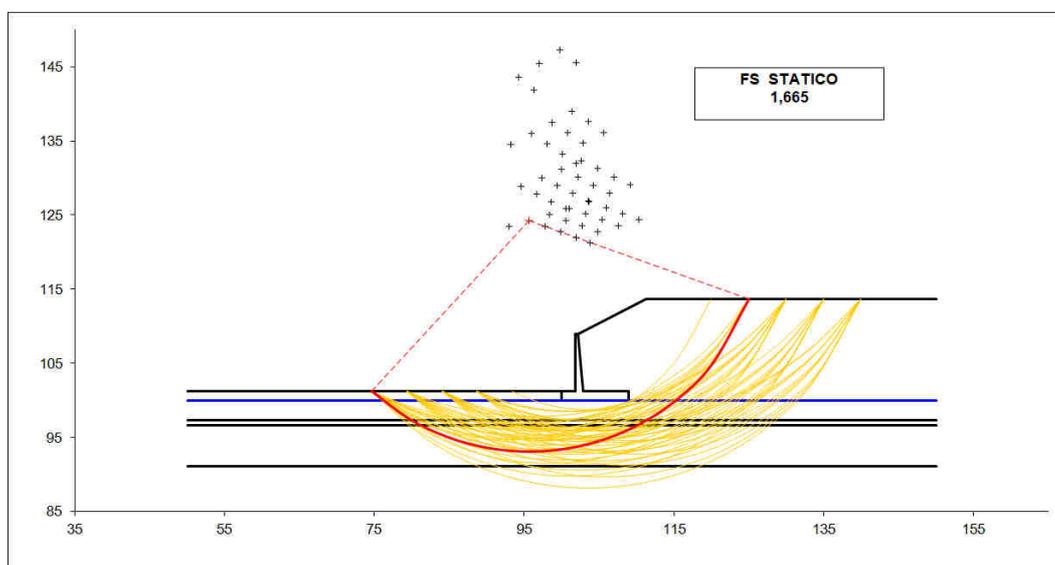
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	100 di 119



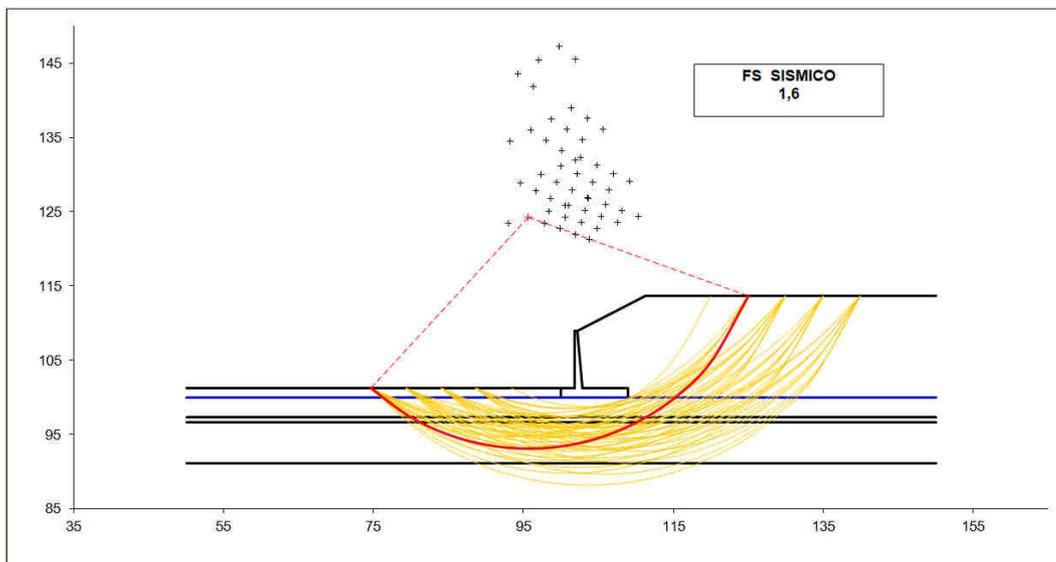
#strisce
30

# Superfici Calcolate	FS Bishop
76	STATICO 1,665
	SISMICO 1,600

Condizioni statiche



Condizioni sismiche



10.1.4 VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – C. NON DRENATE

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)				
N	=	$P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} \text{ perm} + S_{qv} \text{ acc}$	1781,70	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{th} + S_{qh} + f$	563,54	(kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)				
f	=	$\text{tg}\phi_1'$	0,47	(-)
Fs scorr.		(N*f + Sp) / T	1,47	> 1,1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO (EQU)

Momento stabilizzante (Ms)				
Ms	=	$M_m + M_t + M_{fext3}$	8400,30	(kNm/m)
Momento ribaltante (Mr)				
Mr	=	$M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp}$	529,32	(kNm/m)
Fs ribaltamento		Ms / Mr	15,87	> 1,15

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
N	=	$P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{Sovr acc})$	1781,70	1923,91 (kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{th} + S_{qh} + f - S_p$	563,54	563,54 (kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM	=	ΣM	7870,98	8667,37 (kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M	=	$X_c * N - MM$	146,68	-9,76 (kNm/m)

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75,00		(kPa)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	42,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,08	-0,01	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	8,84	8,99	(m)

I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \varphi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\varphi))}$	(1 in cond. nd)	1,00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\varphi')$	(2+ π in cond. nd)	5,14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\varphi')$	(0 in cond. nd)	0,00		(-)

I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m$	(1 in cond. nd)	1,00	1,00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B \cdot c_u \cdot N_c))$		0,67	0,67	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^{m+1}$		- -		(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	300,05	302,25	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	1,49	>	1,4
		Nmax	1,41	>	

10.1.5 VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – C. NON DRENATE

Condizione sismica +

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 1792,93 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 561,49 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\varphi_1' \quad 0,47 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1,49} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 8400,30 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 791,97 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{10,61} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (\text{Sovr acc}) \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 1792,93 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 1812,54 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 561,49 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 7770,49 \quad 7880,34 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 297,68 \quad 276,10 \quad (\text{kNm/m})$$

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75,00		(kN/mq)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	42,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,17	0,15	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	8,67	8,70	(m)

I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	1,00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi')$	(2+ π in cond. nd)	5,14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\varphi')$	(0 in cond. nd)	0,00		(-)

I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot(\varphi')))^m$	(1 in cond. nd)	1,00	1,00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B \cdot c_u \cdot N_c))$		0,66	0,67	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot(\varphi')))^{m+1}$		--		(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	298,06	298,47	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	F = $q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	1,44	>	1,2
		Nmax	1,43	>	

Condizione sismica -

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 1698,43 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 543,66 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\varphi_1' \quad 0,47 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1,46} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 8400,30 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 1491,32 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{5,63} \quad > \quad \mathbf{1}$$

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{min} & N_{max} \\ 1698,43 & 1718,04 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 543,66 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \Sigma M \quad \begin{matrix} 7305,57 & 7415,41 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad \begin{matrix} 337,35 & 315,77 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75,00		(kN/mq)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19,00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	42,00		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0,20	0,18	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	8,60	8,63	(m)

I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	1,00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\varphi')$	($2 + \pi$ in cond. nd)	5,14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\varphi')$	(0 in cond. nd)	0,00		(-)

I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \text{cotg} \varphi'))^m$	(1 in cond. nd)	1,00	1,00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B^* \cdot c_u \cdot N_c))$		0,67	0,67	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \text{cotg} \varphi'))^{m+1}$		- -		(-)

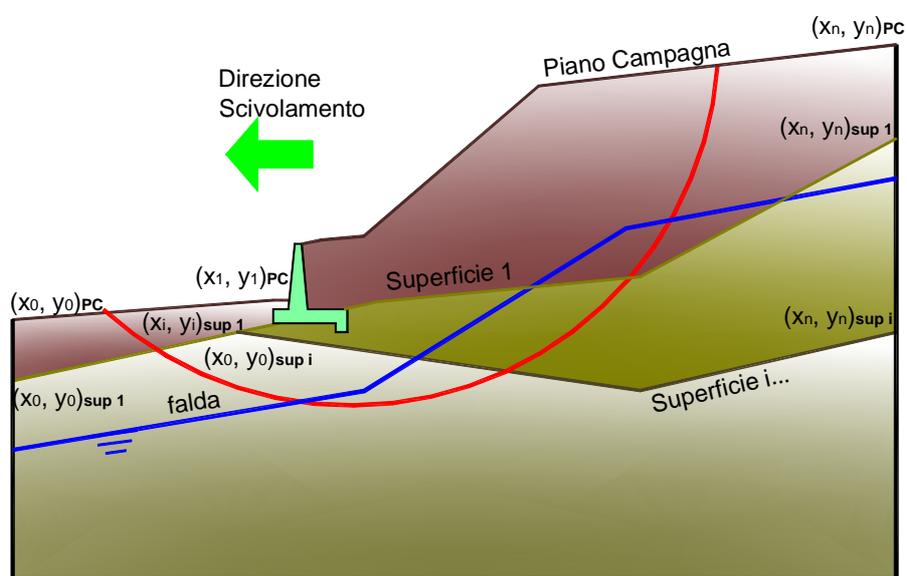
(fondazione nastriforme $m = 2$)

q _{lim}	(carico limite unitario)	301,23	301,66	(kN/m ²)
------------------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	F = q_{lim} · B* / N	N _{min}	1,53	>	1,2
		N _{max}	1,52	>	

10.1.6 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. NON DRENATE

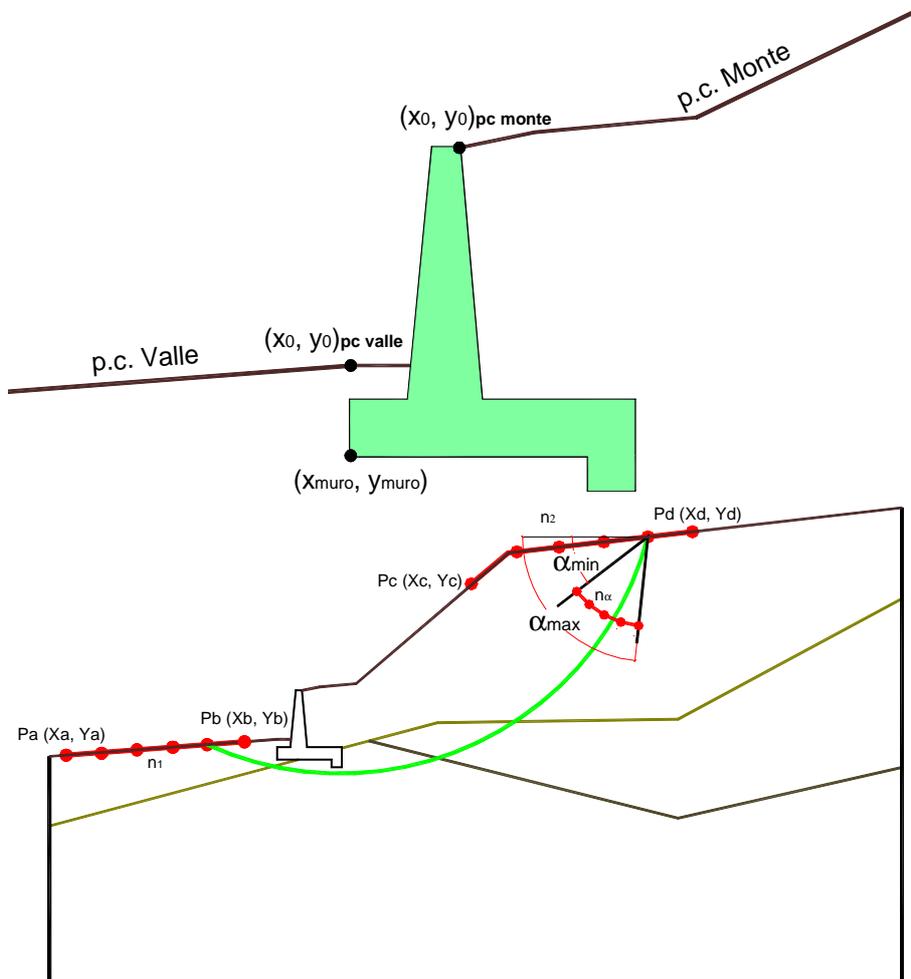
Le analisi di stabilità, di seguito riportate, sono state effettuate limitando la ricerca delle potenziali superfici di scorrimento critiche alla fascia più prossima alla linea ferroviaria.



	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kPa]	Descrizione
materiale 1	20.00	38	0	Rilevato - riporto
materiale 2	19.00	25	75	Unità geotecnica 1 - a2
materiale 3	19.50	21	0	Unità geotecnica 2 - a
materiale 4	21.00	20	175	Unità geotecnica 3 - FYN4

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	109 di 119



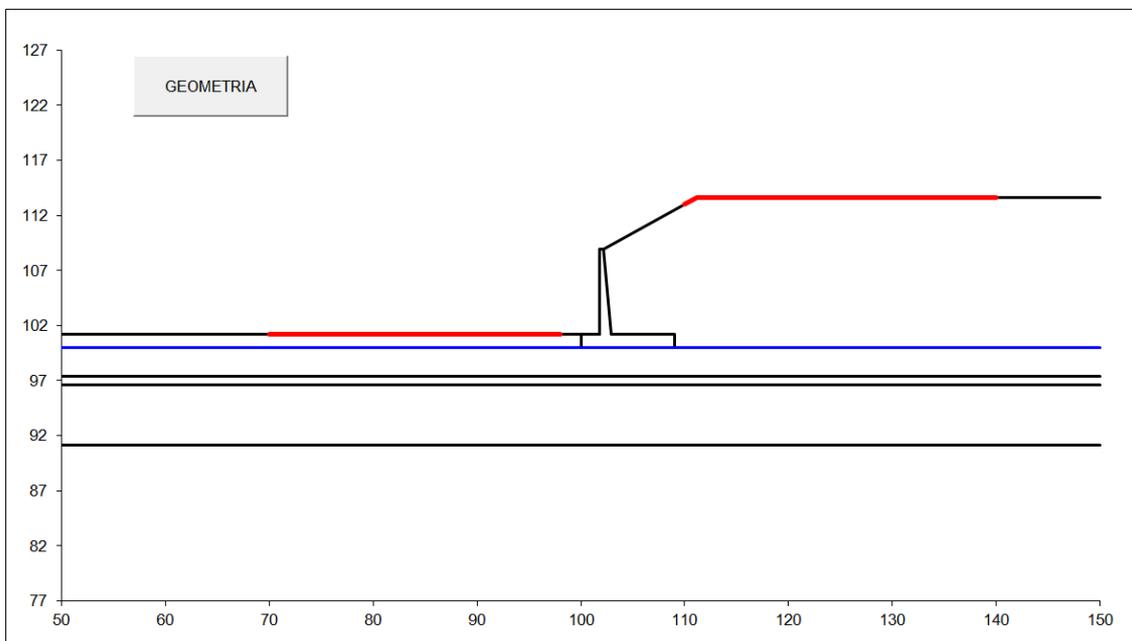
p.c. valle		p.c. monte		superficie 1		superficie 2		superficie 3		f.lda				
materiale 1				materiale 2		materiale 3		materiale 4		f.lda				
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y			
0	100,000	101,200	0	102,200	108,900	0	50,000	97,350	0	50,000	91,130	0	50,000	100,000
1	50,000	101,200	1	111,200	113,600	1	150,000	97,350	1	150,000	96,590	1	150,000	100,000
2			2	150,000	113,600	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

	x_{in}	q_{in}	x_{fin}	q_{fin}	% sisma
sovraccarico 1 <input checked="" type="checkbox"/>	112,200	57,7	114,800	57,7	20%
sovraccarico 2 <input type="checkbox"/>					

RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
RELAZIONE DI CALCOLO

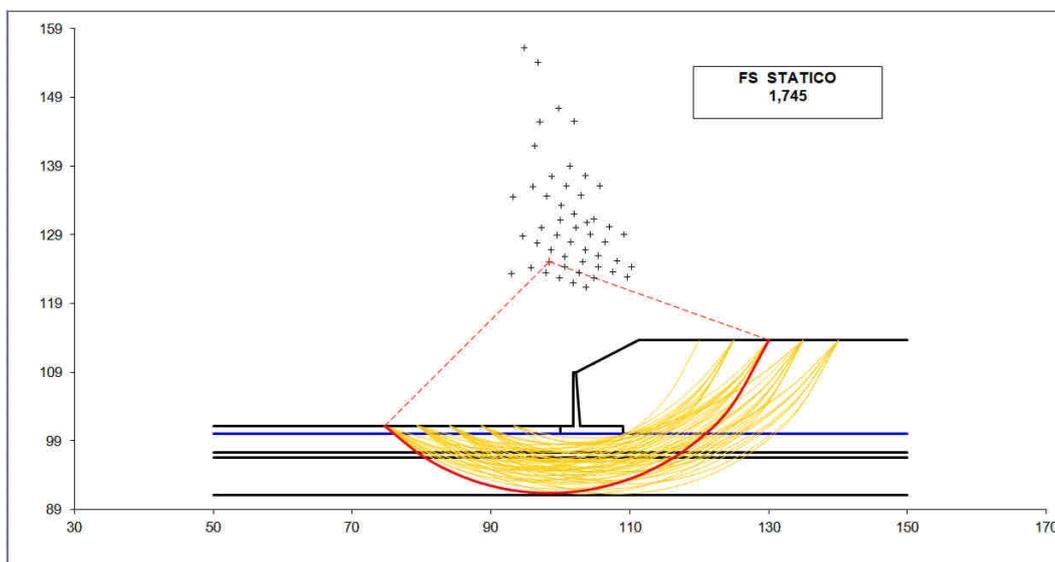
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	110 di 119



#strisce
30

# Superfici Calcolate	FS Bishop	
76	STATICO	1,745
	SISMICO	1,639

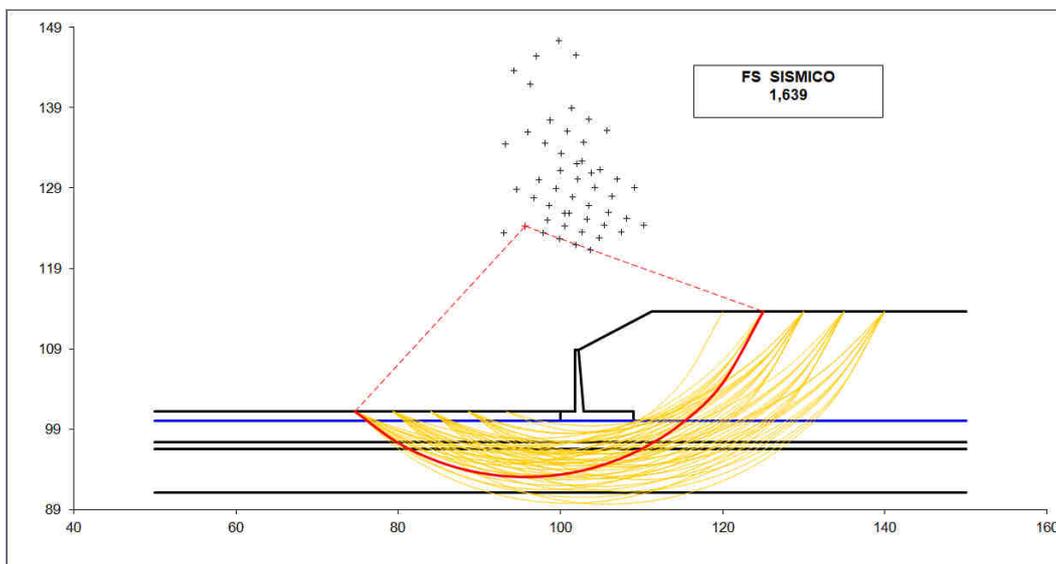
Condizioni statiche



RI01: MURO DI SOSTEGNO MU01
 RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0100 001	B	111 di 119

Condizioni sismiche



10.1.7 VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI SLD

Si riporta di seguito la verifica degli spostamenti permanenti indotti dal sisma per lo Stato Limite di Danno. Si è verificato che tale spostamento, determinato così come riportato all'interno del cap. 7.3.2 della presente relazione, risulti inferiore allo spostamento orizzontale massimo ammissibile in testa all'opera di sostegno, che può essere assunto, in condizioni sismiche, al più pari a 2cm.

a_g	0.048				
S_s	1.5				
St	1				
B	0.44				
A	-8.07				
ac	0.232				
a_{max}	0.072				
d =	0.000000003 mm	<	20 mm		OK

10.1 VERIFICHE STRUTTURALI

10.1.1 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Reazione del terreno

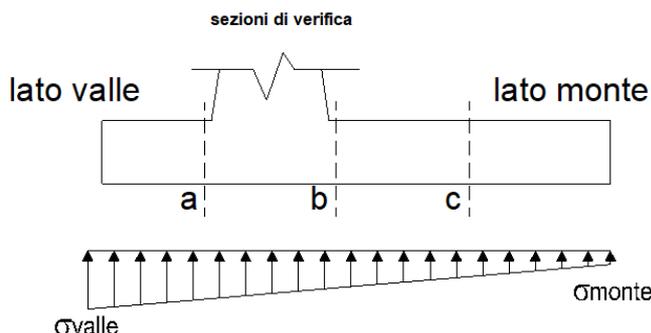
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

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

$$A = 1.0 \cdot B = 9,00 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 13,50 \quad (m^3)$$

caso	N	M	σ_{valle}	σ_{monte}
	[kN]	[kNm]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
statico	1781,70	146,68	208,83	187,10
	1923,91	-9,76	213,05	214,49
sisma+	1792,93	297,68	221,26	177,16
	1812,54	276,10	221,85	180,94
sisma-	1698,43	337,35	213,70	163,73
	1718,04	315,77	214,28	167,50



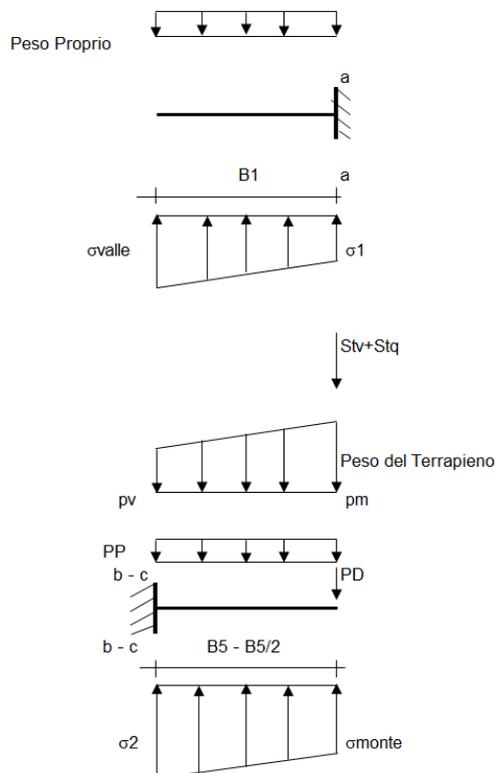
Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 30,00 (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	σ_{valle}	σ_1	M_a	V_a
	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kNm]	[kN]
statico	208,83	204,49	287,36	317,99
	213,05	213,33	296,69	329,74
sisma+	221,26	212,44	303,73	331,30
	221,85	213,66	306,37	333,18
sisma-	213,70	203,71	293,56	316,16
	214,28	204,93	293,49	318,04



Mensola Lato Monte

PP = 30,00 (kN/m²) peso proprio soletta fondazione
PD = 0,00 (kN/m) peso proprio dente

	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	= 203,50	224,41	206,38	(kN/m ²)
pvb	= 158,95	179,86	161,83	(kN/m ²)
pvc	= 181,22	202,14	184,11	(kN/m ²)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (pm - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 - (Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (pm - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 - (Stv + Sqv) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H2 / 2$$

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

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

caso	σ_{monte}	σ_{2b}	M_b	V_b	σ_{2c}	M_c	V_c
	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kNm]	[kN]	[kN/m ²]	[kNm]	[kN]
statico	187,10	201,88	-1753,86	-307,53	194,49	-798,58	-311,93
	214,49	213,51	-1730,96	-316,12	214,00	-780,56	-304,17
sisma+	177,16	207,15	-1758,75	-325,13	192,16	-762,49	-306,70
	180,94	208,76	-1757,10	-326,80	194,85	-760,38	-305,88
sisma-	163,73	197,71	-1717,04	-316,44	180,72	-743,31	-300,27
	167,50	199,31	-1712,37	-317,14	183,41	-740,45	-298,95

CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo

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

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

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

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

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

$$N_{ext} = v$$

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

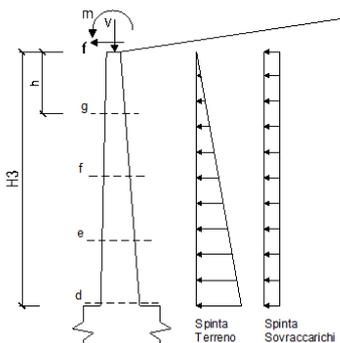
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{ext} = f$$

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



condizione statica

sezione	h	Mt	Mq	M _{ext}	M _{tot}	N _{ext}	N _{pp}	N _{tot}
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	7,70	514,79	327,95	0,00	842,74	1,00	142,45	143,45
e-e	5,78	217,18	184,47	0,00	401,65	1,00	94,57	95,57
f-f	3,85	64,35	81,99	0,00	146,34	1,00	54,86	55,86
g-g	1,93	8,04	20,50	0,00	28,54	1,00	23,34	24,34

sezione	h	Vt	Vq	V _{ext}	V _{tot}
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	7,70	200,57	85,18	0,00	285,75
e-e	5,78	112,82	63,89	0,00	176,71
f-f	3,85	50,14	42,59	0,00	92,73
g-g	1,93	12,54	21,30	0,00	33,83

condizione sismica +

sezione	h	Mt _{stat}	Mt _{sism}	Mq	M _{ext}	M _{inerzia}	M _{tot}	N _{ext}	N _{pp+inerzia}	N _{tot}
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	7,70	395,99	86,49	176,37	0,00	25,94	684,80	1,00	146,43	147,43
e-e	5,78	167,06	36,49	99,21	0,00	13,27	316,03	1,00	97,21	98,21
f-f	3,85	49,50	10,81	44,09	0,00	5,31	109,72	1,00	56,39	57,39
g-g	1,93	6,19	1,35	11,02	0,00	1,18	19,74	1,00	23,99	24,99

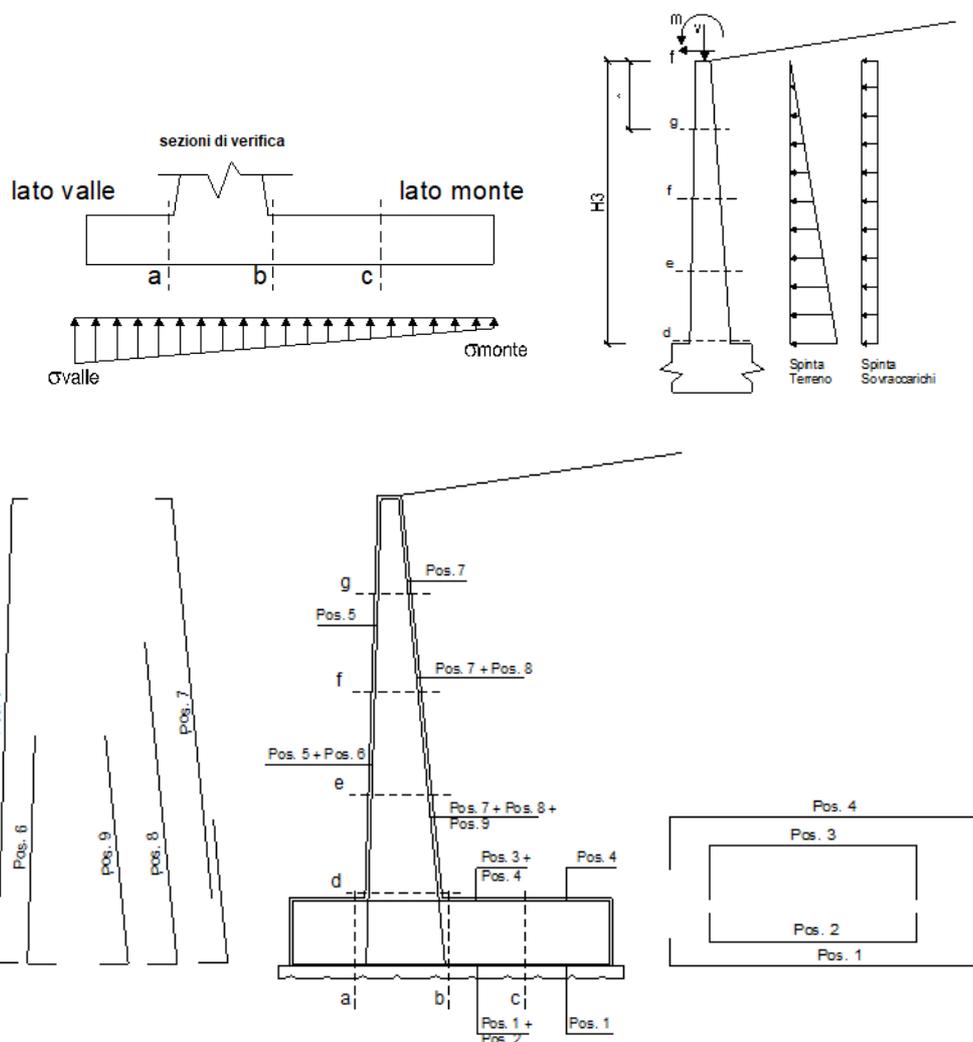
sezione	h	Vt _{stat}	Vt _{sism}	Vq	V _{ext}	V _{inerzia}	V _{tot}
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	7,70	154,28	33,70	45,81	0,00	7,96	241,75
e-e	5,78	86,78	18,95	34,36	0,00	5,28	145,38
f-f	3,85	38,57	8,42	22,91	0,00	3,06	72,96
g-g	1,93	9,64	2,11	11,45	0,00	1,30	24,51

condizione sismica -

sezione	h	Mt _{stat}	Mt _{sism}	Mq	M _{ext}	M _{inerzia}	M _{tot}	N _{ext}	N _{pp+inerzia}	N _{tot}
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	7,70	395,99	63,39	178,02	0,00	25,94	663,35	1,00	138,47	139,47
e-e	5,78	167,06	26,74	100,14	0,00	13,27	307,21	1,00	91,92	92,92
f-f	3,85	49,50	7,92	44,51	0,00	5,31	107,24	1,00	53,33	54,33
g-g	1,93	6,19	0,99	11,13	0,00	1,18	19,49	1,00	22,69	23,69

sezione	h	Vt _{stat}	Vt _{sism}	Vq	V _{ext}	V _{inerzia}	V _{tot}
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	7,70	154,28	24,70	46,24	0,00	7,96	233,18
e-e	5,78	86,78	13,89	34,68	0,00	5,28	140,64
f-f	3,85	38,57	6,17	23,12	0,00	3,06	70,93
g-g	1,93	9,64	1,54	11,56	0,00	1,30	24,05

10.1.2 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 $h = 7,7m$ su fondazione diretta

ARMATURE

pos	n°/ml	ϕ	II strato	pos	n°/ml	ϕ	II strato
1	10,0	20		5	10,0	20	
2	0,0	0	<input type="checkbox"/>	6	0,0	0	<input type="checkbox"/>
3	10,0	24	<input checked="" type="checkbox"/>	7	10,0	24	
4	10,0	24		8	0,0	0	<input type="checkbox"/>
				9	0,0	0	<input type="checkbox"/>

Pertanto l'armatura secondaria sarà pari a:

sez a – a: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione e in elevazione);

sez b – b: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

sez c – c: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

sez d – d: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

sez e – e: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

sez f – f: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

sez g – g: $\phi 12/20cm$ (ripartitori in fondazione);

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(kNm)
a - a	306.37	0.00	1.20	31.42	90.48	1368.31
b - b	-1758.75	0.00	1.20	90.48	31.42	3607.58
c - c	-798.58	0.00	1.20	45.24	31.42	1895.29
d - d	842.74	143.45	1.08	45.24	31.42	1748.78
e - e	401.65	95.57	0.91	45.24	31.42	1417.75
f - f	146.34	55.86	0.74	45.24	31.42	1097.19
g - g	28.54	24.34	0.57	45.24	31.42	785.05

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

Sez.	V _{Ed}	h	V _{rd}	σ staffe	i orizz.	i vert.	θ	V _{Rsd}	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	333.18	1.20	389.61	12	20	20	21.8	2798.05	Armatura a taglio non necessaria
b - b	326.80	1.20	554.32	12	20	20	21.8	2798.05	Armatura a taglio non necessaria
c - c	311.93	1.20	439.96	12	20	20	21.8	2798.05	Armatura a taglio non necessaria
d - d	285.75	1.08	435.10	12	20	20	21.8	2499.33	Armatura a taglio non necessaria
e - e	176.71	0.91	390.94	12	20	20	21.8	2076.14	Armatura a taglio non necessaria
f - f	92.73	0.74	344.94	12	20	20	21.8	1652.94	Armatura a taglio non necessaria
g - g	33.83	0.57	295.85	12	20	20	21.8	1229.75	Armatura a taglio non necessaria

10.1.3 VERIFICHE SLE TENSIONE

Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ_c	σ_f
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
a - a	248.02	0.00	1.20	31.42	90.48	1.27	75.87
b - b	-1286.14	0.00	1.20	90.48	31.42	5.54	150.86
c - c	-578.57	0.00	1.20	45.24	31.42	3.03	124.37
d - d	635.43	143.45	1.08	45.24	31.42	4.10	139.45
e - e	301.74	95.57	0.91	45.24	31.42	2.63	79.17
f - f	109.36	55.86	0.74	45.24	31.42	1.39	35.32
g - g	21.15	24.34	0.57	45.24	31.42	0.45	8.42

Condizione Sismica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ_c	σ_f
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
a - a	305.01	0.00	1.20	31.42	90.48	1.56	93.31
b - b	-1758.75	0.00	1.20	90.48	31.42	7.58	206.29
c - c	-762.49	0.00	1.20	45.24	31.42	3.99	163.90
d - d	684.80	139.47	1.08	45.24	31.42	4.40	151.77
e - e	316.03	92.92	0.91	45.24	31.42	2.74	83.62
f - f	109.72	54.33	0.74	45.24	31.42	1.39	35.61
g - g	19.74	23.69	0.57	45.24	31.42	0.42	7.76

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

10.1.4 VERIFICHE SLE FESSURAZIONE

condizione Frequente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ_c	σ_f	wk	w _{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)	(mm)
a - a	248.02	0.00	1.20	31.42	90.48	1.27	75.87	0.093	0.200
b - b	-1286.14	0.00	1.20	90.48	31.42	5.54	150.86	0.175	0.200
c - c	-578.57	0.00	1.20	45.24	31.42	3.03	124.37	0.138	0.200
d - d	635.43	143.45	1.08	45.24	31.42	4.10	139.45	0.155	0.200
e - e	301.74	95.57	0.91	45.24	31.42	2.63	79.17	0.088	0.200
f - f	109.36	55.86	0.74	45.24	31.42	1.39	35.32	0.037	0.200
g - g	21.15	24.34	0.57	45.24	31.42	0.45	8.42	0.008	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	σ_c	σ_f	wk	w _{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)	(mm)
a - a	220.81	0.00	1.20	31.42	90.48	1.13	67.55	0.083	0.200
b - b	-1092.27	0.00	1.20	90.48	31.42	4.71	128.12	0.139	0.200
c - c	-492.74	0.00	1.20	45.24	31.42	2.58	105.92	0.118	0.200
d - d	524.16	143.45	1.08	45.24	31.42	3.40	112.58	0.125	0.200
e - e	239.16	95.57	0.91	45.24	31.42	2.10	60.82	0.068	0.200
f - f	81.54	55.86	0.74	45.24	31.42	1.05	24.96	0.026	0.200
g - g	14.20	24.34	0.57	45.24	31.42	0.31	4.89	0.004	0.200

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

10.1.5 CALCOLO INCIDENZA ARMATURA

MURO a mensola MU01-TIPO3	
PARTE D'OPERA	INCIDENZA (Kg/mc)
Elevazione	110
Fondazione	90