

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO  
NODO DI CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA  
DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL  
TRATTO DI LINEA INTERESSATO.**

**MACROFASE FUNZIONALE 2**

**LOTTO 3**

**Seconda Fase Fascio A-P - OPERE CIVILI**

**MU08 - muro di sostegno seconda fase - Relazione di calcolo**

SCALA:

-

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

RS3H    03    D    78    CL    MU0800    001    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L.Nani	Marzo 2020	C.Toraldo <i>Cateus Toraldo</i>	Marzo 2020	S.Vanfiori <i>S. Vanfiori</i>	Marzo 2020	D.Tiberti Marzo 2020 <i>D. Tiberti</i>

File: RS3H.0.3.D.78.CL.MU.08.0.0.001.A

n. Elab.:

Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

## INDICE

1. PREMESSA .....	5
1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	5
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	10
3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	10
4. UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	11
5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	12
5.1 CALCESTRUZZO .....	12
5.2 ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA B450 C .....	15
6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	16
7. CRITERI DI VERIFICA .....	18
7.1 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLU) IN CONDIZIONI STATICHE.....	18
7.1.1 VERIFICA A SCORRIMENTO .....	20
7.1.2 VERIFICA A RIBALTAMENTO .....	21
7.1.3 VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE .....	21
7.1.4 VERIFICA A STABILITÀ GLOBALE .....	21
7.2 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLV) IN CONDIZIONI SISMICHE .....	22
7.3 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLE) .....	24
7.3.1 CALCOLO DEI CEDIMENTI (SLE) .....	25
7.4 VERIFICHE STRUTTURALI (SLU).....	25
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).....	28
7.5.1 VERIFICHE ALLE TENSIONI.....	28
7.5.2 VERIFICHE A FESSURAZIONE .....	29

8.	ANALISI DEI CARICHI .....	31
8.1	PESI PROPRI .....	31
8.2	CARICHI PERMANENTI .....	33
8.2.1	<i>SOVRASTRUTTURA FERROVIARIA</i> .....	33
8.2.2	<i>PARAPETTO METALLICO</i> .....	33
8.2.3	<i>SPINTA DEL TERRENO</i> .....	33
8.3	CARICHI VARIABILI.....	35
8.3.1	<i>CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO</i> .....	35
8.3.2	<i>VERIFICA REQUISITI S.T.I. PER OPERE MINORI SOTTOBINARIO: CARICO EQUIVALENTE</i> ....	36
8.4	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....	39
8.4.1	<i>VITA NOMINALE</i> .....	39
8.4.2	<i>CLASSE D'USO</i> .....	39
8.4.3	<i>PERIODO DI RIFERIMENTO</i> .....	39
8.4.4	<i>PARAMETRI SISMICI</i> .....	39
9.	COMBINAZIONI DI CARICO .....	44
10.	PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOSTEGNO “TIPO 1”.....	47
10.1	DATI DI INPUT .....	47
10.2	CALCOLO DELLE AZIONI.....	50
10.2.1	<i>FORZE VERTICALI E INERZIALI</i> .....	50
10.2.2	<i>SPINTE IN CONDIZIONE STATICA</i> .....	52
10.2.3	<i>SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +</i> .....	53
10.2.4	<i>SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -</i> .....	54
10.3	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	55
10.3.1	<i>VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE</i> .....	55
10.3.2	<i>VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE</i> .....	57

10.3.3	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE	61
10.3.4	CALCOLO DEI CEDIMENTI	65
10.4	VERIFICHE STRUTTURALI	66
10.4.1	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	66
10.4.2	VERIFICHE SLU	68
10.4.3	VERIFICHE SLE TENSIONE	70
10.4.4	VERIFICHE SLE FESSURAZIONE	71
11.	PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOSTEGNO “TIPO 2”	72
11.1	DATI DI INPUT	72
11.2	CALCOLO DELLE AZIONI	75
11.2.1	FORZE VERTICALI E INERZIALI	75
11.2.2	SPINTE IN CONDIZIONE STATICA	77
11.2.3	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +	78
11.2.4	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -	79
11.3	VERIFICHE GEOTECNICHE	80
11.3.1	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE	80
11.3.2	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE	82
11.3.3	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE	86
11.3.4	CALCOLO DEI CEDIMENTI	90
11.4	VERIFICHE STRUTTURALI	91
11.4.1	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	91
11.4.2	VERIFICHE SLU	93
11.4.3	VERIFICHE SLE TENSIONE	95
11.4.4	VERIFICHE SLE FESSURAZIONE	96

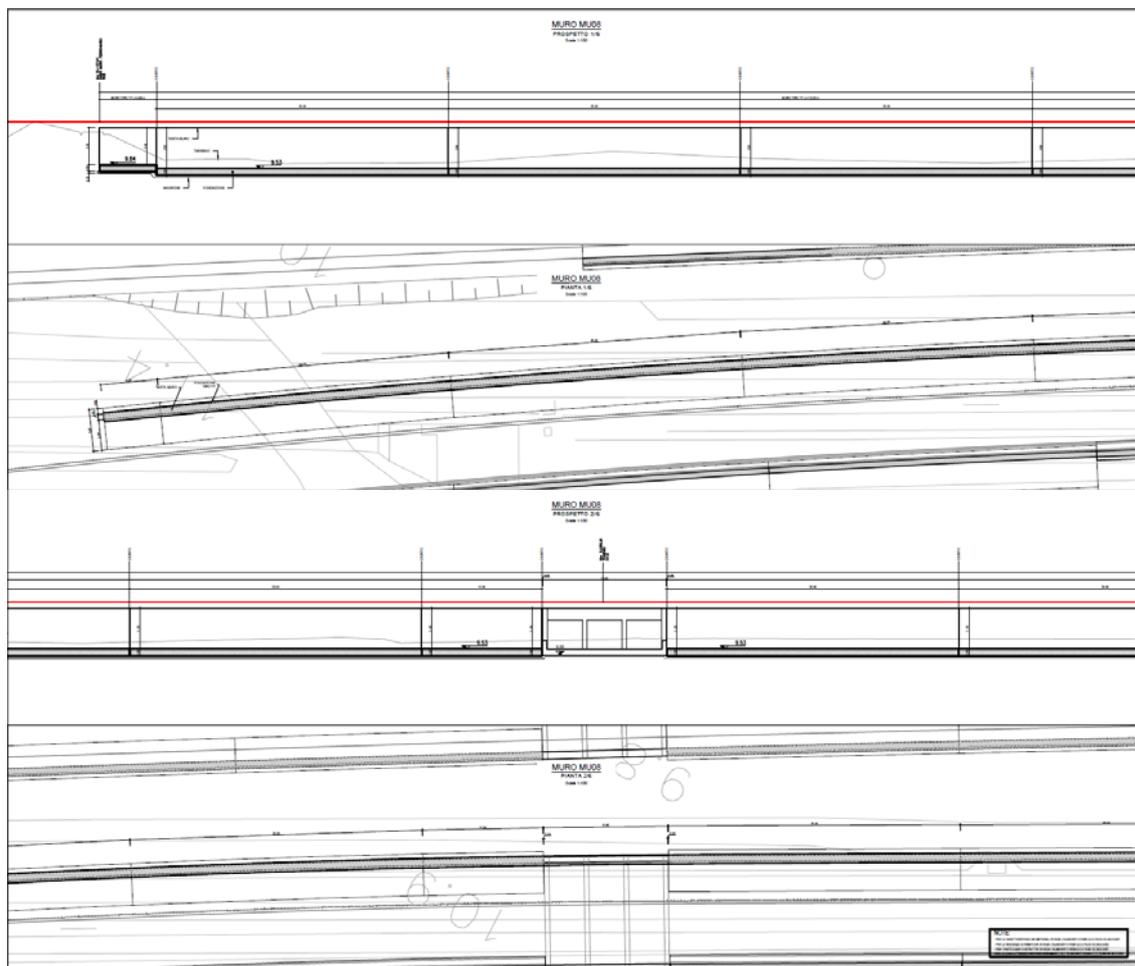
## 1. PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo della Diretrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo nodo di Catania, interrimento linea per il prolungamento della pista dell' aeroporto di Fontanarossa e per la messa a sti del tratto di linea interessato - macrofase funzionale 1 - lotto 03.

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche del muro di sostegno MU08 che si sviluppa planimetricamente dal 2+137,91 km al km 2+597,53 km a sostegno del rilevato ferroviario RI05, che si sviluppa parallelamente alla linea storica.

Nelle seguenti figure si riportano pianta e prospetto dell'opera MU08:

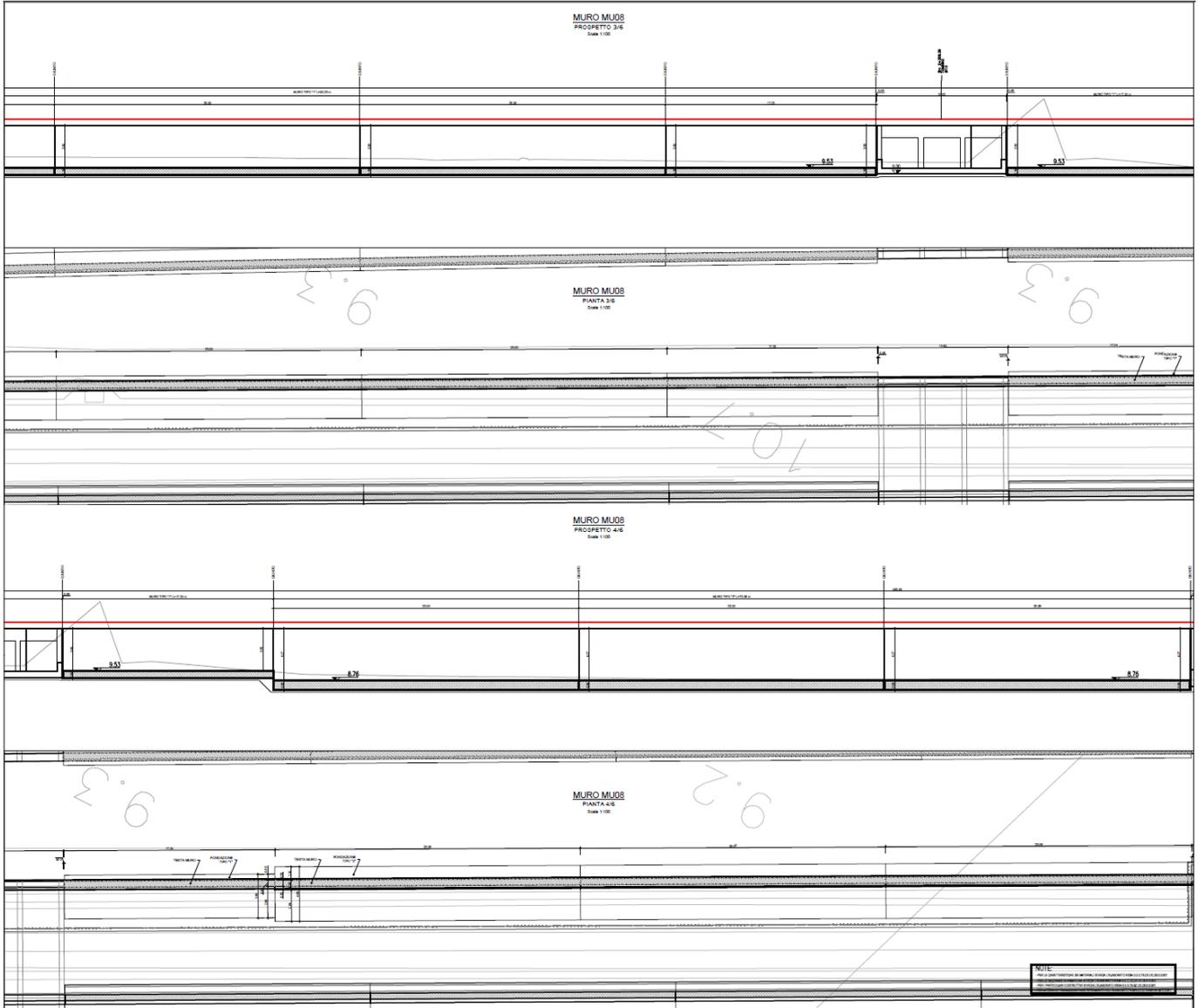




DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
MACROFASE FUNZIONALE 1  
LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	6 di 96



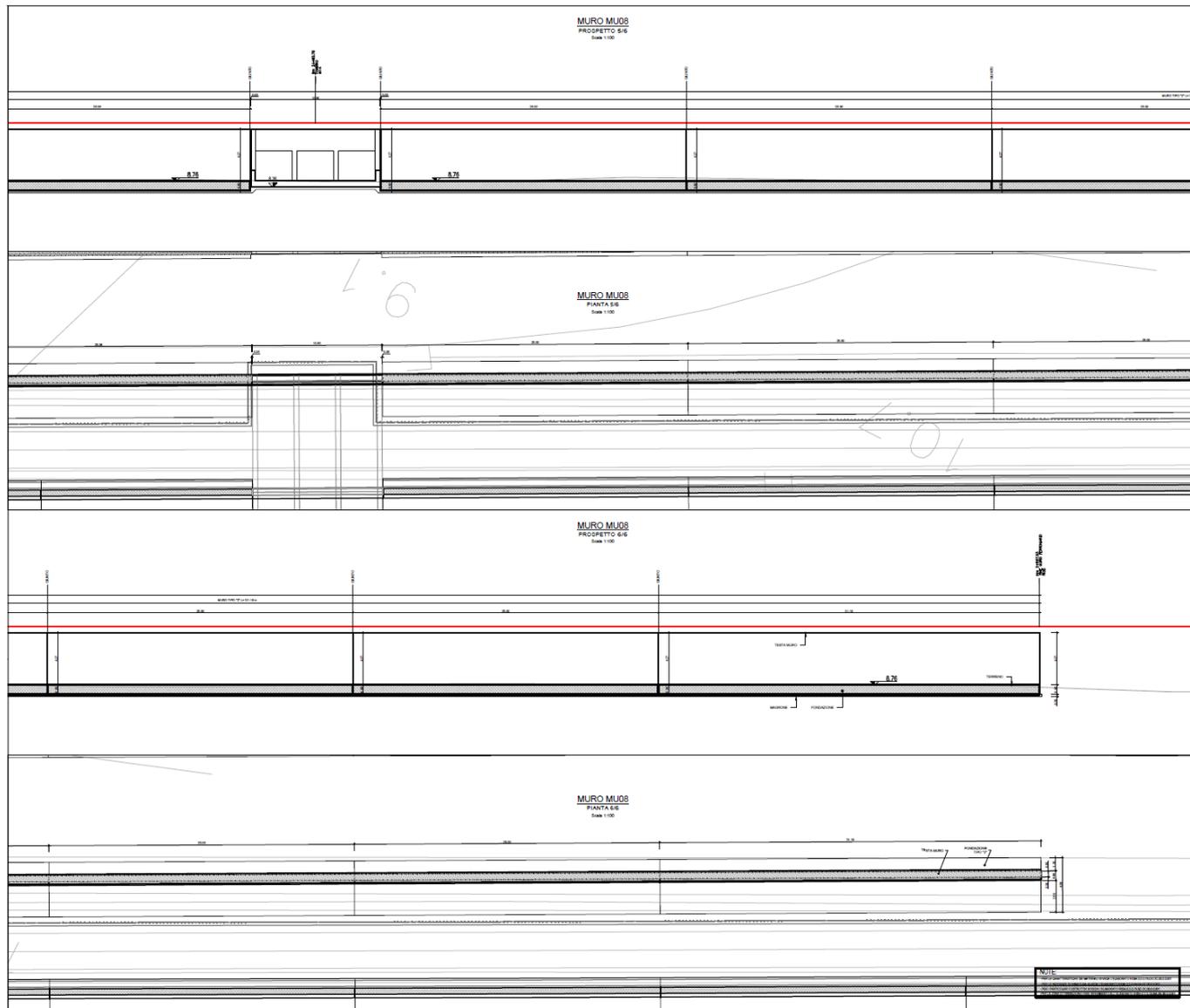


Figura 1-1– Planimetria e prospetto del MU08.

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 3.19 m a 4.27 m con lo sviluppo dell'opera stessa, con spessore in testa del paramento di 0.50m ed alla base di 0.50m - 0.80m, spessore della soletta di fondazione di 0.60m - 0.80m e larghezza della stessa di 3.60m – 4.50m.

Si individuano due tipologie di muri di sostegno le cui caratteristiche sono di seguito riassunte:

- muro “*tipo 1*”, fino ad altezze del paramento di 3.50 metri la fondazione del muro è diretta ed è caratterizzata da una lunghezza di 3.60 m e spessore 0.60 m. Il ricoprimento sopra la zattera di valle è pari ad almeno 20 cm. L’altezza del paramento massima è pari a 3.50 m (Figura 1-2).

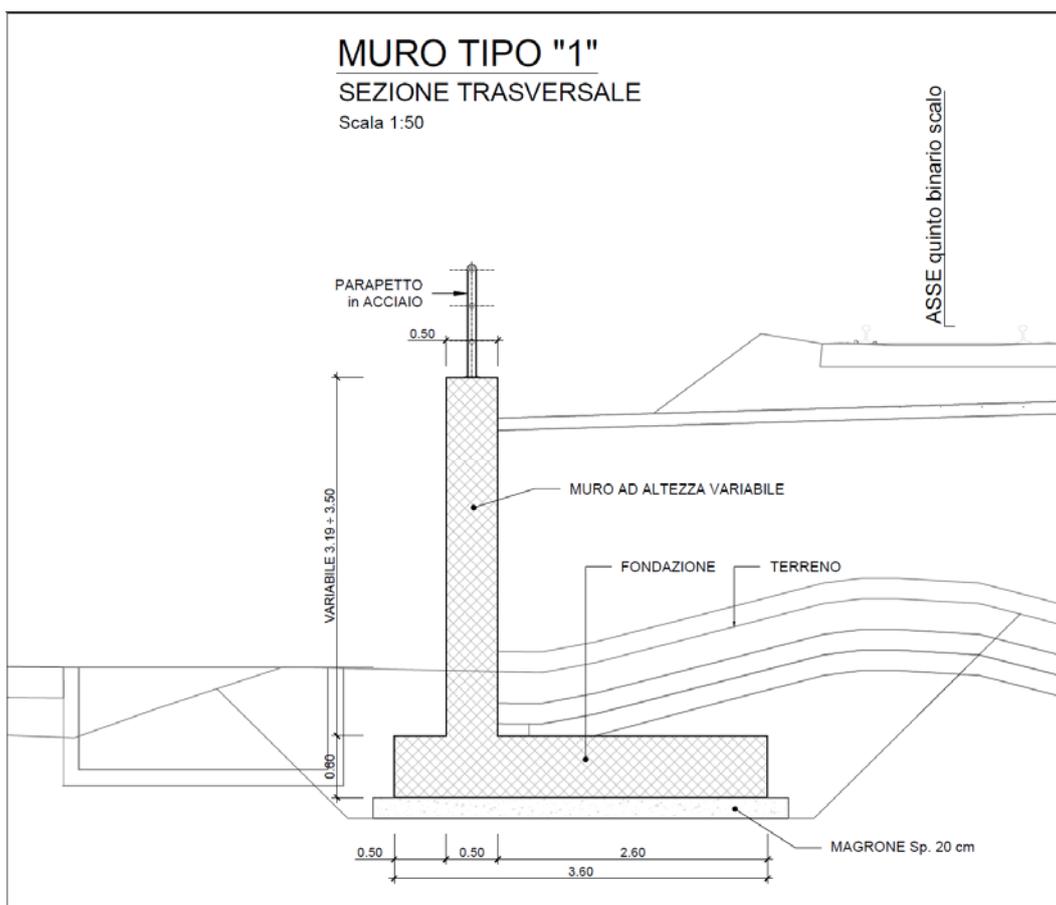


Figura 1-2– Sezione trasversale del muro MU08: tipo 1.

- muro “*tipo 2*”, per altezze del paramento superiori a 3.50 metri la fondazione del muro è diretta ed è caratterizzata da una lunghezza di 4.50 m e spessore 0.80 m. Il ricoprimento sopra la zattera di valle è pari ad almeno 20 cm. L’altezza del paramento massima è pari a 4.27 m (Figura 1-3).

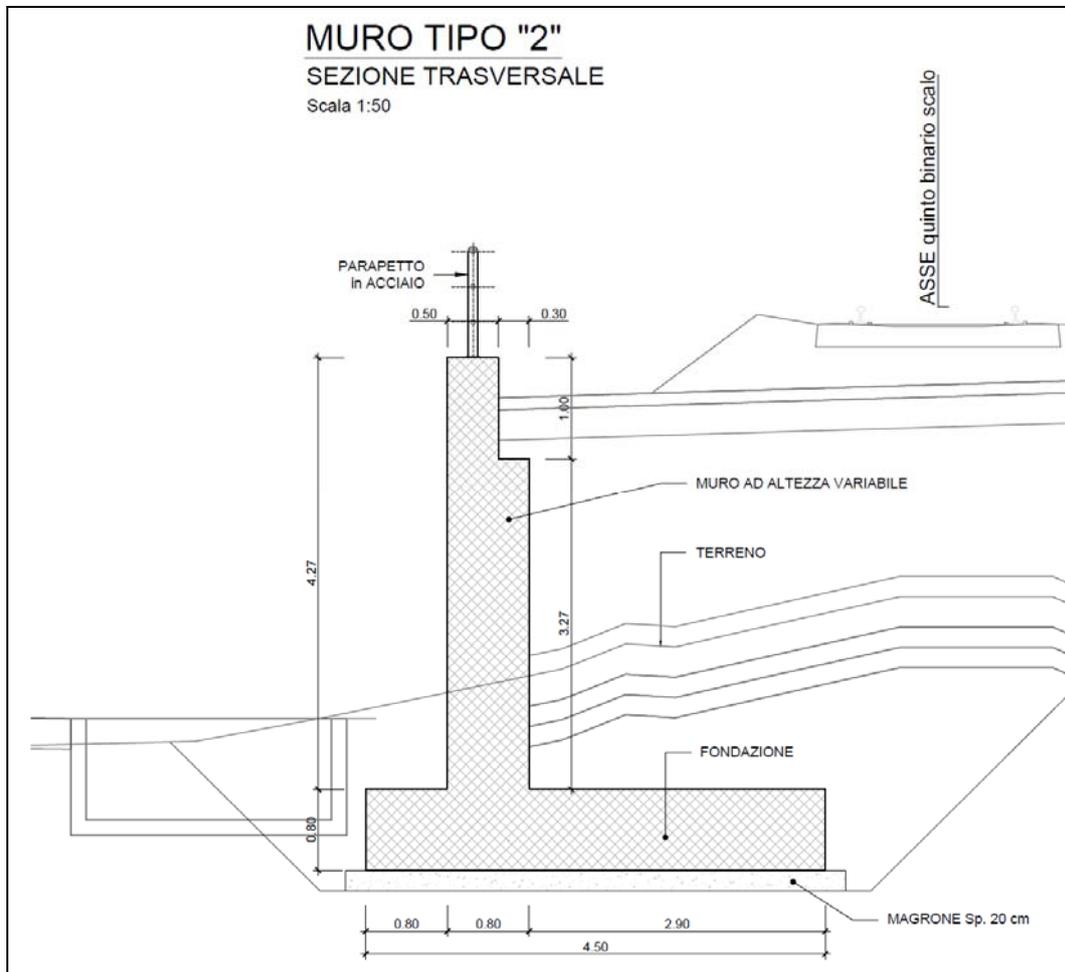


Figura 1-3– Sezione trasversale del muro MU08: tipo 2.

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



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
MACROFASE FUNZIONALE 1  
LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	10 di 96

## 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:

RS3H.0.3.D.78.BZ.MU.08.0.0.001: "MU08: muro di sostegno seconda fase - Pianta profilo sezioni – Tav. 1/3".

RS3H.0.3.D.78.BZ.MU.08.0.0.001: "MU08: muro di sostegno seconda fase - Pianta profilo sezioni – Tav. 2/3".

RS3H.0.3.D.78.BZ.MU.08.0.0.001: "MU08: muro di sostegno seconda fase - Pianta profilo sezioni – Tav. 3/3".

RS3H.0.3.D.78.DX.OC.00.0.0.001: "Opere civili – Elaborati generali OO. CC. – Tabella incidenze armature Opere Civili – Lotto 3"

RS3H.0.3.D.78.DX.OC.00.0.0.001: "Opere civili – Elaborati generali OO. CC. – Tabella materiali – Lotto 3"

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

corrispondenze notevoli

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

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

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

$\gamma$  (gamma) peso dell'unità di volume (kN/m<sup>3</sup>)



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
MACROFASE FUNZIONALE 1  
LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	12 di 96

$\sigma$ (sigma)	tensione normale	(N/mm <sup>2</sup> )	
$\tau$ (tau)	tensione tangenziale	(N / mm <sup>2</sup> )	
$\varepsilon$ (epsilon)	deformazione	(m/m)	-
$\phi$ (fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)	

## 5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

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

### 5.1 CALCESTRUZZO

- Elemento strutturale: fondazione ed elevazione muro di sostegno

Classe di resistenza = C32/40;

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

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

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

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

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

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

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

Ecm = modulo elast. tra 0 e 0.40fcm = 22000 x (fcm/10)<sup>0.3</sup> = 33642.78 N/ mm<sup>2</sup>;

Tolleranza di posa del copriferro = 10 mm;

Classe di esposizione XC4

Copriferro minimo  $c_{min}$  = 50 mm

Condizioni ambientali: aggressive

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

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

Diametro (o diametro equivalente) barre longitudinali:	20	[mm]
Diametro staffe:	14	[mm]
Classe Calcestruzzo:	C32/40	
Condizioni ambientali:	Aggressive	
Vita nominale costruzione:	75	[anni]
Incremento di 5 mm rispetto a vita nominale di 50 anni		
Tolleranza di posa:	10	[mm]
<b>Copriferro staffe:</b>		
Copriferro minimo $c_{min}$ :	40	[mm]
Copriferro nominale Netto Staffe:	50	[mm]
<b>Copriferro barre longitudinali:</b>		
Copriferro nominale Netto barre longitudinali:	78	[mm]
<b>Copriferro nominale dal Baricentro della Barra longitudinale:</b>	<b>88</b>	<b>[mm]</b>

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

Diametro (o diametro equivalente) barre longitudinali:	24	[mm]
Diametro staffe:	14	[mm]
Classe Calcestruzzo:	C32/40	
Condizioni ambientali:	Aggressive	
Vita nominale costruzione:	75	[anni]
Incremento di 5 mm rispetto a vita nominale di 50 anni		
Tolleranza di posa:	10	[mm]
<b>Copriferro staffe:</b>		



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
MACROFASE FUNZIONALE 1  
LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	14 di 96

Copriferro minimo  $c_{min}$ : 40 [mm]

Copriferro nominale Netto Staffe: 50 [mm]

**Copriferro barre longitudinali:**

Copriferro nominale Netto barre longitudinali: 78 [mm]

**Copriferro nominale dal Baricentro della Barra longitudinale: 90 [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:

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

Tabella 5-1 Tensioni caratteristiche acciaio.

E deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella:

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

Tabella 5-2 Requisiti acciaio.

Inoltre si ha:

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

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

Resistenza di calcolo a rottura per trazione e deformazione corrispondente:

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

## 6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica: Si riportano di seguito uno stralcio del profilo stratigrafico e 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 avrà superficie orizzontale.

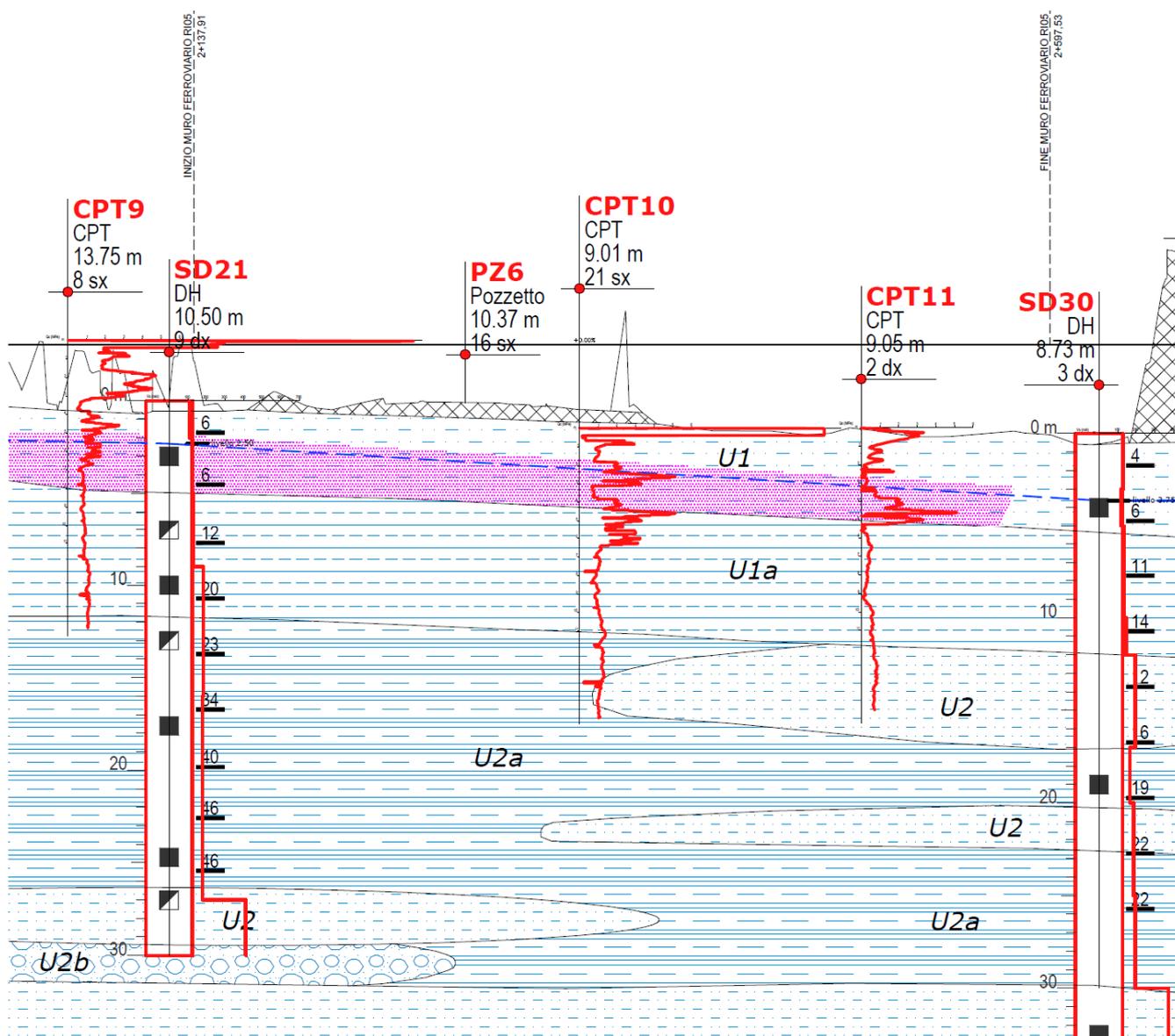


Figura 6-1 – Stralcio del profilo stratigrafico in corrispondenza del muro MU08.

Unità litologiche da p.c.	da [m]	a [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]	$c_u$ [kPa]	$E_0$ [MPa]
U1	0	5.0	18.5	5	30	-	60
U1a	5.0	11.0	19	15	23	60	80
U2a	11.0	29	19	12.5	23	100	120

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

La falda è posta a circa 2.50 metri dal piano campagna.

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

- peso volume,  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ;
- angolo d'attrito,  $\phi' = 38^\circ$ ;
- coesione efficace  $c' = 0 \text{ kPa}$ .

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.					
	MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 03					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3H</b>	LOTTO <b>3 D 78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU.08.0.0.001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>18 di 96</b>

## 7. CRITERI DI VERIFICA

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

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

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

#### SLU di tipo geotecnico (GEO)

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

#### SLU di tipo strutturale (STR)

- Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

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

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

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

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

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

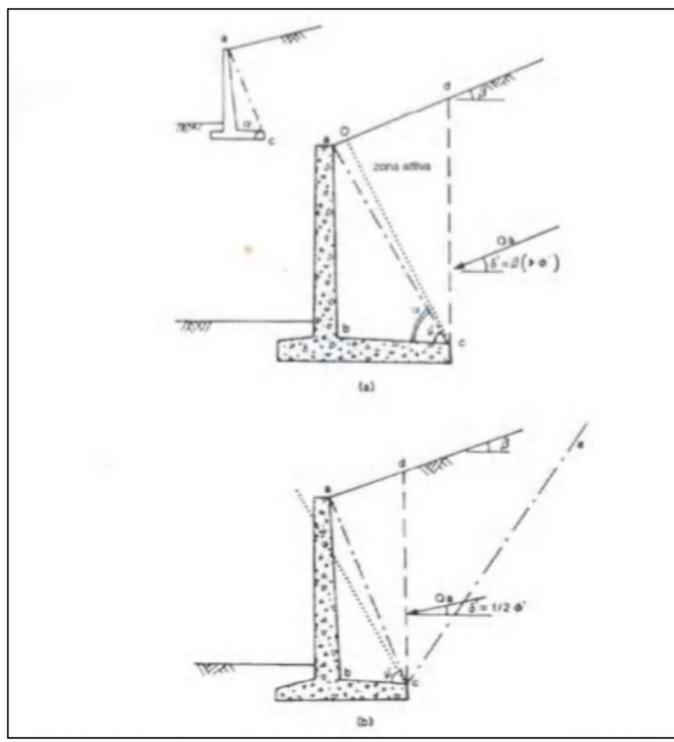


Figura 7-1 – Spinta sui muri di sostegno a mensola con suola lunga (caso a) e con suola corta (caso b).

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

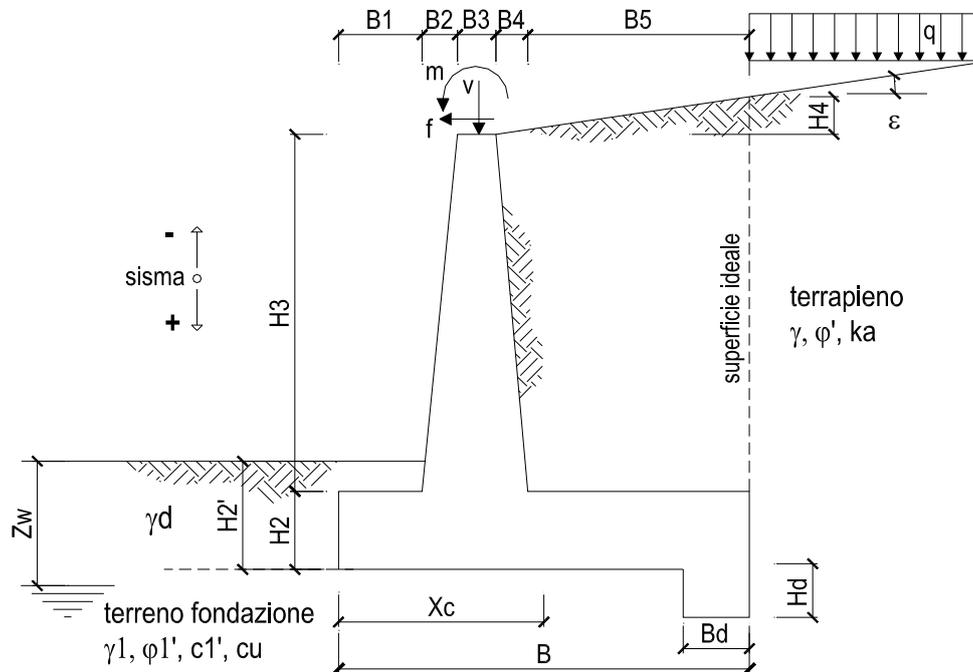
Il terreno al di sopra della suola (abcd) è stato considerato stabilizzante nelle verifiche, e ad esso sono da applicarsi le forze d'inerzia in fase sismica.

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

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

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

Le caratteristiche geometriche sono riportate sinteticamente nel seguente schema:



### 7.1.1 VERIFICA A SCORRIMENTO

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

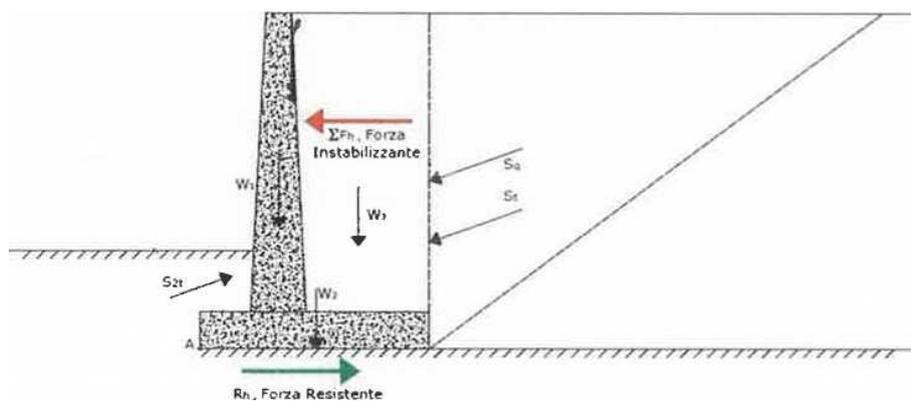


Figura 7-2 – Verifica a scorrimento.

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

### 7.1.2 VERIFICA A RIBALTAMENTO

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

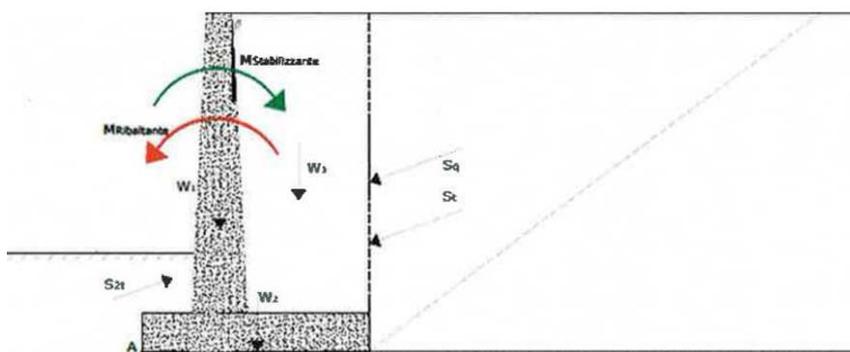


Figura 7-3– Verifica a ribaltamento.

### 7.1.3 VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

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

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

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

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

### 7.1.4 VERIFICA A STABILITÀ GLOBALE

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

## 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

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

dove:

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

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

$g$  = accelerazione di gravità.

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

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

dove:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

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

### 7.3 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLE)

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

$$E_d \leq C_d$$

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

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

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

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

### 7.3.1 CALCOLO DEI CEDIMENTI (SLE)

Per quanto riguarda la valutazione dei cedimenti, è stata impiegata la teoria dell'elasticità, ipotizzando il terreno come un mezzo omogeneo elastico ed isotropo. In tal modo il cedimento immediato è dovuto ad una distorsione del terreno sottostante il carico, che si deforma e cambia forma a volume costante.

La soluzione più largamente usata è quella di Jambu et al. (1956):

$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B/E$$

dove:

B = larghezza caratteristica della fondazione

$q_m$  = carico unitario medio;

E = modulo di deformazione impiegato nel calcolo dei cedimenti =  $E_0 / 10$

$\mu_0$  e  $\mu_1$  = coefficienti correttivi di forma, dipendenti dalla geometria del problema e dallo spessore dello strato compressibile (abachi di Christian e Carrier, 1964).

### 7.4 VERIFICHE STRUTTURALI (SLU)

Le verifiche sono condotte nel rispetto di quanto dichiarato nel "Manuale di progettazione delle opere civili parte II sezione 3" RFI DTC SI CS MA IFS 001 C § 3.5.2..

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, e consiste nel controllare che:

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

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

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

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

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

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

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

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

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;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \cdot f_{cd};$$

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

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

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

$1 \leq \cot\theta \leq 2.5$  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;

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

## 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".

La verifica consiste nel controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

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

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

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

#### Strutture in c.a.

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

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

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

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

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

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

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

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



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
MACROFASE FUNZIONALE 1  
LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	30 di 96

Risultando:

w1= 0.2 mm

w2= 0.3 mm

w3= 0.4 mm

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

Per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

Combinazione Caratteristica (Rara)

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

Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura prevista al punto " C4.1.2.2.4.5 Verifica allo stato limite di fessurazione" della Circolare n.7/19.

## 8. ANALISI DEI CARICHI

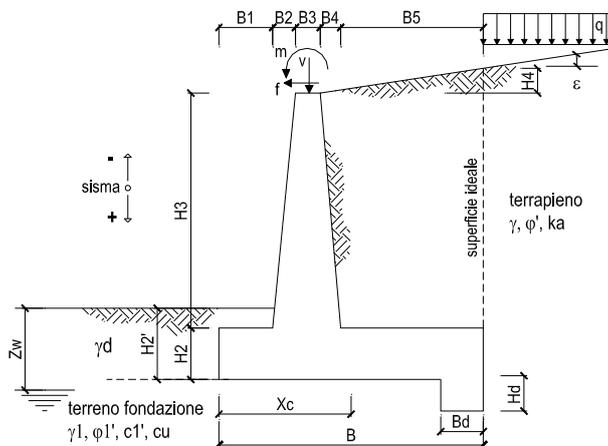
Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

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

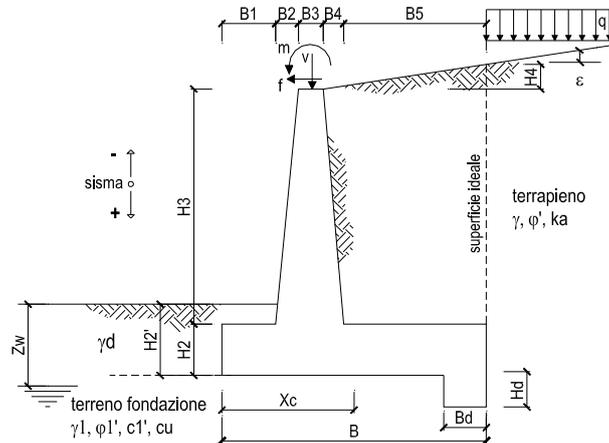
Elevazione	H3 =	3,50	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0,00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0,50	(m)
Aggetto monte	B4 =	0,00	(m)

#### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	3,60	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0,60	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0,50	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	2,60	(m)
Altezza dente	Hd =	0,00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0,00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	1,80	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	$\gamma_{cls}$ =	25,00	(kN/m <sup>3</sup> )
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

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



**Geometria del Muro**

Elevazione	H3 =	4.27	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.50	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.30	(m)

**Geometria della Fondazione**

Larghezza Fondazione	B =	4.50	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0.80	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0.80	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	2.90	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	2.25	(m)

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

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

## 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

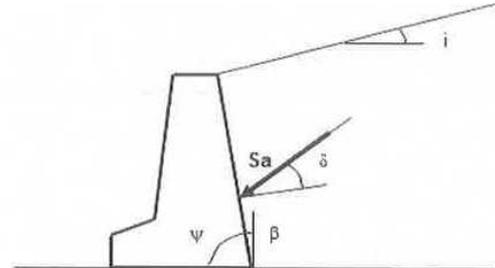
Per il parapetto metallico si considerano le seguenti azioni agenti sul muro:

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

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

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



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
 INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
 DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
 MACROFASE FUNZIONALE 1  
 LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	34 di 96

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

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

<b>Dati Geotecnici</b>			<b>valori caratteristici SLE</b>	<b>valori di progetto</b>	
				<b>STR/GEO</b>	<b>EQU</b>
Dati Terrapien	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\varphi'$	38,00	38,00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$	20,00	20,00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$	0,00	0,00

Figura 8-4 – Dati geotecnici

### 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.

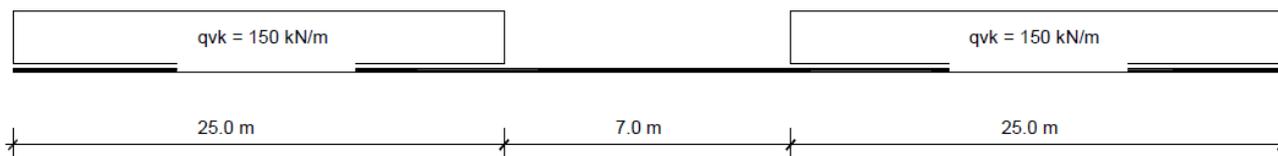


Figura 8-5 – Treno di carico SW2.

Per la ripartizione si considera

- $B_t = 2.40 \text{ m} + 2 \times 0.40 \text{ m} = 2.60 \text{ m}$

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  $\alpha$  che deve assumersi come da tabella seguente:

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " $\alpha$ "
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

Figura 8-6 – Coefficienti  $\alpha$  per modelli di carico.

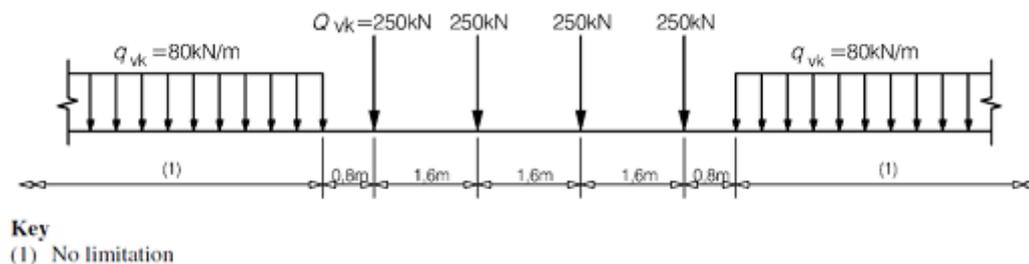
Il valore considerato di carico distribuito in corrispondenza della zona sopra la soletta, risulta dunque:

$$Q = 150 \text{ kN} \quad q_{var} = (150/2.60) \cdot 1.0 = 57.69 \text{ kN/m}^2$$

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

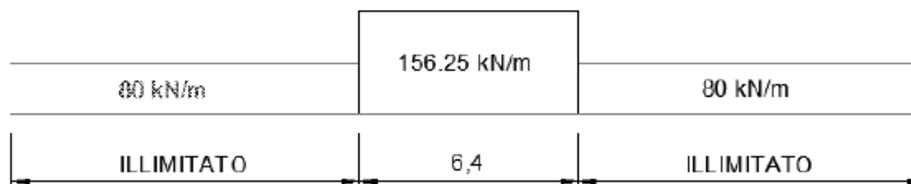
Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



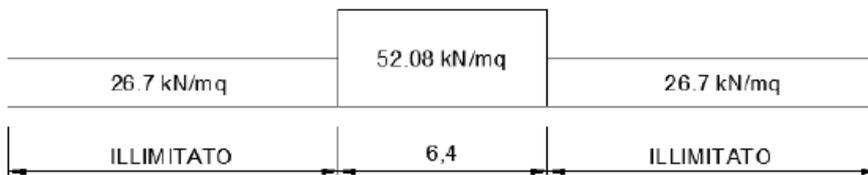
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

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:

$$p = \frac{4 \cdot 250}{4 \cdot 1.60} = 156.25 \text{ kN/m}$$



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:



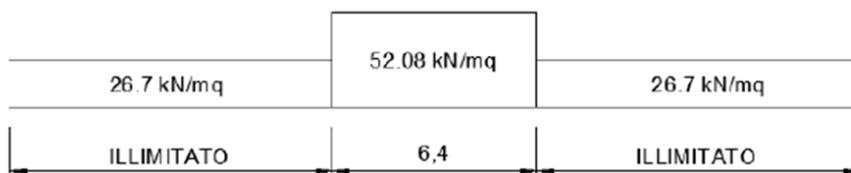
A tali carichi si deve applicare il coefficiente  $\alpha$  relativo alle categorie S.T.I. come indicato nella tabella 11 di seguito riportata:

*Tabella 11*

**Fattore alfa ( $\alpha$ ) per la progettazione di strutture nuove**

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

Nel caso in esame, il coefficiente  $\alpha$  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 NODO DI CATANIA  
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
MACROFASE FUNZIONALE 1  
LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	38 di 96

Pertanto il carico in corrispondenza del piano orizzontale alla quota della testa dell'opera di sostegno calcolato con il modello di calcolo LM71 risulta pari a:

$$q_{var} = 52.08 \text{ kN/m}^2$$

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 57.7 kN/m<sup>2</sup> a vantaggio di sicurezza rispetto ai 52.08 kN/m<sup>2</sup> calcolati con riferimento alle STI.

## 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.

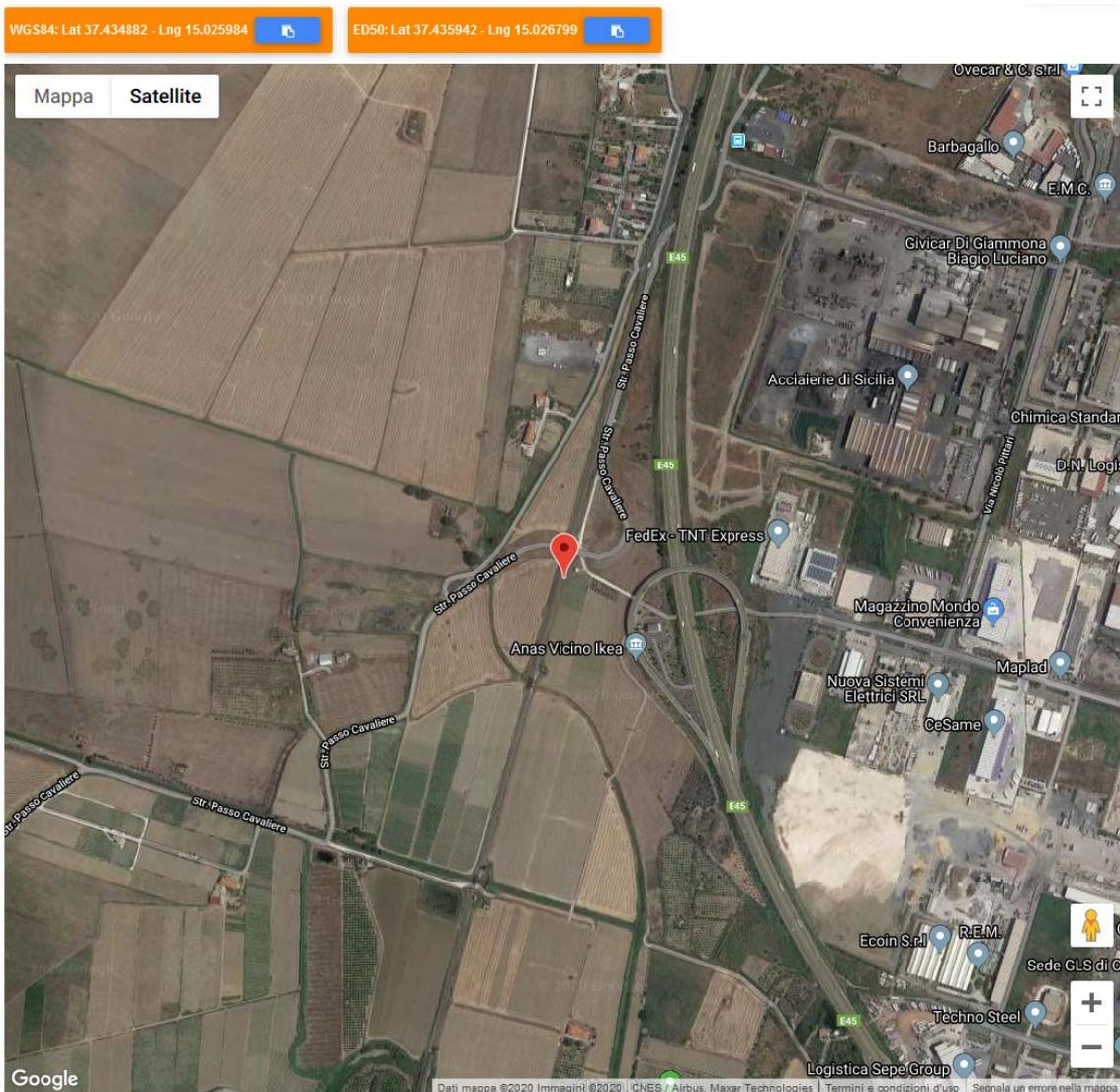


Tabella 8-2 – Localizzazione del sito ove sorgerà l'opera.

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]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	68	0.079	2.503	0.280
Danno (SLD)	113	0.103	2.512	0.291
Salvaguardia vita (SLV)	1068	0.330	2.359	0.467
Prevenzione collasso (SLC)	2193	0.472	2.352	0.527
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 D. 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	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tabella 8-5 – Espressioni di  $S_s$  e  $C_c$ .

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

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

valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica sono pari a  $S_s = 1.232$  e  $C_c = 1.830$

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) us (m)

 1  0.1

 Cat. Sottosuolo D

 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,23	1,00
CC Coeff. funz categoria	2,36	2,32	1,83	1,72
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

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

 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.087	0.154	0.000
kv	--	0.043	0.077	--
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	1.394	1.810	3.979	4.628
Beta	--	0.470	0.380	--

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

Tabella 9-1 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

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

Tabella 9-2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

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

Tabella 9-3 – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi dei muri di sostegno.

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

*Tabella 9-4 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.*

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

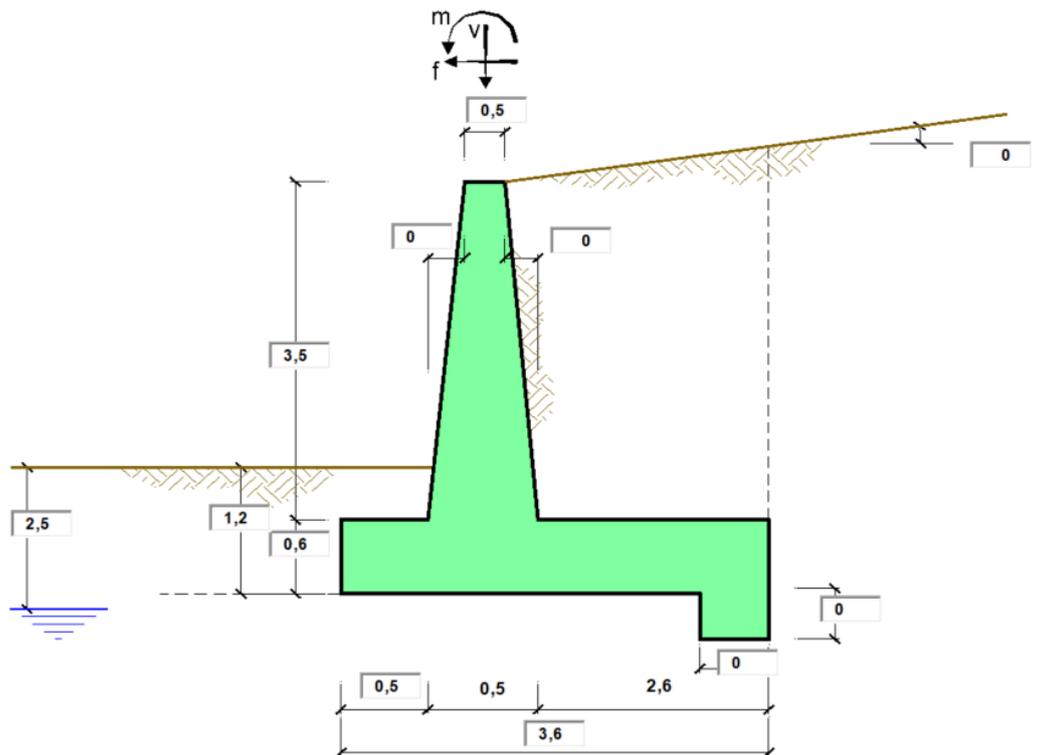
Verifica	Coefficiente parziale $\gamma_R$
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

*Tabella 9-5 – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.*

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

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

### 10.1 DATI DI INPUT



#### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	3,50	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0,00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0,50	(m)
Aggetto monte	B4 =	0,00	(m)

#### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	3,60	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0,60	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0,50	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	2,60	(m)
Altezza dente	Hd =	0,00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0,00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	1,80	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	$\gamma_{cls}$ =	25,00	(kN/m <sup>3</sup> )
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	48 di 96

<b>Dati Geotecnici</b>			valori caratteristici		valori di progetto	
			SLE		STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\phi'$	38.00	38.00	38.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$	0.00	0.00	0.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni		<input checked="" type="radio"/> drenate <input type="radio"/> Non Drenate			
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c_1'$	5.00	5.00	5.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\phi_1'$	30.00	30.00	30.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_1$	18.50	18.50	18.50
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$	20.00	20.00	20.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	7.00		
	Modulo di deformazione	(kN/m <sup>2</sup> )	E	6000		

Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	0.33	(-)	BALTAMENTO $\beta_s$ 0.57 kh 0.23174 kv 0.11587
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	$S_s$	1.232	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Topografico	$S_T$	1	(-)	
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	$\beta_s$	0.38	(-)	
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.1544928	(-)	
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0772	(-)	
Muro libero di traslare o ruotare		<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no			

			STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.238	0.238
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.317	0.359
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.332	0.400
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	3.000	3.000
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	2.740	2.614
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	2.693	2.501

<b>Carichi Agenti</b>			valori		valori di progetto	
					STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m <sup>2</sup> )	qp	16.62	21.60	21.60
	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 <sup>2</sup> )	q	57.69	83.65	83.65
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	0.00	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	0.00	0.00	0.00
	Coefficienti di combinazione	condizione frequente $\Psi_1$	1.00	condizione quasi permanente $\Psi_2$	0.00	
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m <sup>2</sup> )	qs	11.54		
	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		

**CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI**

**Calcestruzzo**

classe cls	C32/40		
Rck	40	(MPa)	
fck	32	(MPa)	
fcm	40	(MPa)	
Ec	33346	(MPa)	
$\alpha_{cc}$	0,85		
$\gamma_C$	1,50		
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_C$	18,13	(MPa)	
$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	3,02	(MPa)	

**Tensioni limite (tensioni ammissibili)**

condizioni statiche

$\sigma_c$	19,2	Mpa
$\sigma_T$	360	Mpa

condizioni sismiche

$\sigma_c$	19,2	Mpa
$\sigma_T$	360	Mpa

**Valore limite di apertura delle fessure**

Frequente	w1	0,2	mm
Quasi Permanente	w1	0,2	mm

**Acciaio**

tipo di acciaio	B450C		
f <sub>yk</sub> =	450	(MPa)	
$\gamma_S$ =	1,15		
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E$ =	391,30	(MPa)	
Es =	210000	(MPa)	
$\epsilon_{ys}$ =	0,19%		

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

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

c = 7,90 (cm)

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

$c_{min}$  = 5,50 (cm)

**Interferro tra I e II strato**

$i_{I-II}$  = 5,00 (cm)

## 10.2 CALCOLO DELLE AZIONI

### 10.2.1 FORZE VERTICALI E INERZIALI

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

			SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	43.75	43.75	43.75
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	54.00	54.00	54.00
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m)	97.75	97.75	97.75

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

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m)	182.00	182.00	182.00
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')/2$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Sovr =	$qp \cdot (B4 + B5)$	(kN/m)	43.20	56.16	56.16
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr	(kN/m)	225.20	238.16	238.16

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B4 + B5)$	(kN/m)	150	217.5	
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B4 + B5)$	(kN/m)	30		

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

- Muro (Mm)

			SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$	(kNm/m)	32.81	32.81	32.81
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 \cdot B4)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	97.20	97.20	97.20
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m)	130.01	130.01	130.01

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

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	(kNm/m)	418.60	418.60	418.60
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Msovr =	$Sovr \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	99.36	129.17	129.17
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr	(kNm/m)	517.96	547.77	547.77

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	345	500.25	
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	69		

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	51 di 96

**INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO**

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps h =	$P_m * k_h$	(kN/m)	15.10	22.65
Ps v =	$P_m * k_v$	(kN/m)	7.55	11.33

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

Ptsh =	$P_t * k_h$	(kN/m)	36.79	55.19
Ptsh v =	$P_t * k_v$	(kN/m)	18.40	27.60

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

MPs1 h=	$k_h * P_{m1} * (H_2 + H_3/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 h=	$k_h * P_{m2} * (H_2 + H_3/2)$	(kNm/m)	15.88	23.83
MPs3 h=	$k_h * P_{m3} * (H_2 + H_3/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs4 h=	$k_h * P_{m4} * (H_2/2)$	(kNm/m)	2.50	3.75
MPs5 h=	$-k_h * P_{m5} * (H_d/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs h=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	18.39	27.58

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

MPs1 v=	$k_v * P_{m1} * (B_1 + 2/3 * B_2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 v=	$k_v * P_{m2} * (B_1 + B_2 + B_3/2)$	(kNm/m)	2.53	3.80
MPs3 v=	$k_v * P_{m3} * (B_1 + B_2 + B_3 + B_4/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs4 v=	$k_v * P_{m4} * (B/2)$	(kNm/m)	7.51	11.26
MPs5 v=	$k_v * P_{m5} * (B - B_d/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs v=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	10.04	15.06

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

MPts1 h=	$k_h * P_{t1} * (H_2 + H_3/2)$	(kNm/m)	66.08	99.11
MPts2 h=	$k_h * P_{t2} * (H_2 + H_3 + H_4/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts3 h=	$k_h * P_{t3} * (H_2 + H_3 * 2/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts h=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	66.08	99.11

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

MPts1 v=	$k_v * P_{t1} * ((H_2 + H_3/2) - (B - B_5/2) * 0.5)$	(kNm/m)	32.34	48.50
MPts2 v=	$k_v * P_{t2} * ((H_2 + H_3 + H_4/3) - (B - B_5/3) * 0.5)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts3 v=	$k_v * P_{t3} * ((H_2 + H_3 * 2/3) - (B_1 + B_2 + B_3 + 2/3 * B_4) * 0.5)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts v=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	32.34	48.50

## 10.2.2 SPINTE IN CONDIZIONE STATICA

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Spinta totale condizione statica				
St	$= 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	39.99	51.98
Sq perm	$= q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	16.21	21.07
Sq acc	$= q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	56.27	81.59
- Componente orizzontale condizione statica				
Sth	$= St \cdot \cos \delta$	(kN/m)	39.99	51.98
Sqh perm	$= Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	16.21	21.07
Sqh acc	$= Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	56.27	81.59
- Componente verticale condizione statica				
Stv	$= St \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Sqv perm	$= Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Sqv acc	$= Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
- Spinta passiva sul dente				
Sp	$= \frac{1}{2} \cdot g1 \cdot Hd^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2') \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
MSt1	$= Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd)$	( kNm/m )	54.65	71.05
MSt2	$= Stv \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSq1 perm	$= Sqh \text{ perm} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	( kNm/m )	33.22	43.19
MSq1 acc	$= Sqh \text{ acc} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	( kNm/m )	115.35	167.26
MSq2 perm	$= Sqv \text{ perm} \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSq2 acc	$= Sqv \text{ acc} \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSp	$= \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2') \cdot Hd^2 / 2$	( kNm/m )	0.00	0.00

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1	$= mp + m$	( kNm/m )	0.00	0.00
Mfext2	$= (fp + f) \cdot (H3 + H2)$	( kNm/m )	0.00	0.00
Mfext3	$= (vp+v) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	( kNm/m )	0.75	0.75

### 10.2.3 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)	39.99	39.99
Sst1 sism =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1\ stat$	(kN/m)	17.42	17.42
Ssq1 perm=	$qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	21.60	21.60
Ssq1 acc =	$qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	15.00	15.00
- Componente orizzontale condizione sismica +				
Sst1h stat =	$Sst1\ stat \cdot \cos \delta$	(kN/m)	39.99	39.99
Sst1h sism =	$Sst1\ sism \cdot \cos \delta$	(kN/m)	17.42	17.42
Ssq1h perm=	$Ssq1\ perm \cdot \cos \delta$	(kN/m)	21.60	21.60
Ssq1h acc=	$Ssq1\ acc \cdot \cos \delta$	(kN/m)	15.00	15.00
- Componente verticale condizione sismica +				
Sst1v stat =	$Sst1\ stat \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Sst1v sism =	$Sst1\ sism \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1v perm=	$Ssq1\ perm \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1v acc=	$Ssq1\ acc \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
- Spinta passiva sul dente				
Sp=	$\frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00

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

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Condizione sismica +				
MSst1 stat =	$Sst1h\ stat \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	( kNm/m )	54.65	54.65
MSst1 sism=	$Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	( kNm/m )	23.81	23.81
MSst2 stat =	$Sst1v\ stat \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSst2 sism =	$Sst1v\ sism \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSsq1 =	$Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	( kNm/m )	75.02	75.02
MSsq2 =	$Ssq1v \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSp =	$\gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd^2 / 2$	( kNm/m )	0.00	0.00

#### 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 )	0.75

### 10.2.4 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)	39.99	39.99
Sst1 sism =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^- - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	11.56	11.56
Ssq1 perm=	$qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$	(kN/m)	22.64	22.64
Ssq1 acc =	$qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$	(kN/m)	15.72	15.72
- Componente orizzontale condizione sismica -				
Sst1h stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	39.99	39.99
Sst1h sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	11.56	11.56
Ssq1h perm=	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	22.64	22.64
Ssq1h acc=	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	15.72	15.72
- Componente verticale condizione sismica -				
Sst1v stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Sst1v sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1v perm=	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1v acc=	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
- Spinta passiva sul dente				
Sp=	$\frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1-kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^- + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{-0.5} + \gamma_1' \cdot (1-kv) \cdot kps^- \cdot H2') \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00

#### 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 )	54.65	54.65
MSst1 sism=	$Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	( kNm/m )	15.80	15.80
MSst2 stat =	$Sst1v \text{ stat} \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSst2 sism =	$Sst1v \text{ sism} \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSsq1 =	$Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	( kNm/m )	78.64	78.64
MSsq2 =	$Ssq1v \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSp =	$\gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd^2 / 2$	( kNm/m )	0.00	0.00

#### 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 )	0.75

### 10.3 VERIFICHE GEOTECNICHE

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

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

Risultante forze verticali (N)				
$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} \text{ perm} + S_{qv} \text{ acc}$		336.91	(kN/m)	
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{th} + S_{qh} + f$		154.64	(kN/m)	
Coefficiente di attrito alla base (f)				
$f = \text{tg}\phi_1'$		0.58	(-)	
<b>Fs scorr.</b>	<b><math>(N \cdot f + S_p) / T</math></b>	<b>1.26</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.1</b>

##### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
$M_s = M_m + M_t + M_{fext3}$		678.53	(kNm/m)	
Momento ribaltante (Mr)				
$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp}$		281.49	(kNm/m)	
<b>Fs ribaltamento</b>	<b><math>M_s / M_r</math></b>	<b>2.41</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.15</b>

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

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{ Sovr acc})$		336.91	554.41	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p$		154.64	154.64	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
$MM = \sum M$		397.04	897.29	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
$M = X_c \cdot N - MM$		209.40	100.65	(kNm/m)

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	56 di 96

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

Fondazione Nastriforme

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

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	5.00		(kPa)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	30.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	12.11		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d'H_2'$	sovraccarico stabilizzante	24.00		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.62	0.18	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.36	3.24	(m)

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

$N_q = tg^2(45 + \phi'/2)*e^{(\pi*tg(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	18.40		(-)
$N_c = (N_q - 1)/tg(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	30.14		(-)
$N_\gamma = 2*(N_q + 1)*tg(\phi')$	(0 in cond. nd)	22.40		(-)

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

$i_q = (1 - T/(N + B*c'*cotg\phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.32	0.54	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$		0.28	0.28	(-)
$i_\gamma = (1 - T/(N + B*c'*cotg\phi'))^{m+1}$		0.18	0.19	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	243.05	342.05	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b>F = <math>q_{lim} * B^* / N</math></b>	$N_{min}$	<b>1.70</b>	>	<b>1.4</b>
		$N_{max}$	<b>2.00</b>	>	

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

#### Condizione sismica +

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 349.90 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 145.91 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg} \phi_1' \quad 0.58 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.38} \quad > \quad \mathbf{1}$$

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 678.53 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 240.35 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{2.82} \quad > \quad \mathbf{1}$$

#### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (\text{Sovr acc}) \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 349.90 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 379.90 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 145.91 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \Sigma M \quad 453.15 \quad 522.15 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 176.67 \quad 161.67 \quad (\text{kNm/m})$$



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
 INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
 DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
 MACROFASE FUNZIONALE 1  
 LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	58 di 96

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

Fondazione Nastriforme

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

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	5.00		(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	30.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	12.11		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d \cdot H2'$	sovraccarico stabilizzante	24.00		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.50	0.43	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.59	2.75	(m)

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

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	18.40		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	30.14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	22.40		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.37	0.41	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.33	0.37	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot \phi'))^{m+1}$		0.22	0.23	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	292.62	320.88	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b>F = <math>q_{lim} \cdot B^* / N</math></b>	<b>Nmin</b>	<b>2.17</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.2</b>
		<b>Nmax</b>	<b>2.32</b>	<b>&gt;</b>	



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
 INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
 DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
 MACROFASE FUNZIONALE 1  
 LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	59 di 96

Condizione sismica -

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO**

Risultante forze verticali (N)					
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$			298.00	(kN/m)	
Risultante forze orizzontali (T)					
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$			141.81	(kN/m)	
Coefficiente di attrito alla base (f)					
$f = \text{tg}\phi_1'$			0.58	(-)	
<b><math>F_s = (N \cdot f + S_p) / T</math></b>			<b>1.21</b>	<b>&gt;</b>	<b>1</b>

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO**

Momento stabilizzante (Ms)					
$M_s = M_m + M_t + M_{fext3}$			678.53	(kNm/m)	
Momento ribaltante (Mr)					
$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$			365.98	(kNm/m)	
<b><math>F_r = M_s / M_r</math></b>			<b>1.85</b>	<b>&gt;</b>	<b>1</b>

**VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)			Nmin	Nmax <sup>↑</sup>	
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$			298.00	328.00	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)					
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$			141.81		(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)					
$MM = \sum M$			372.79	441.79	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)					
$M = X_c \cdot N - MM$			163.62	148.62	(kNm/m)



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
 INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
 DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
 MACROFASE FUNZIONALE 1  
 LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	60 di 96

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

Fondazione Nastriforme

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

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	5.00			(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	30.00			(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	12.11			(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d \cdot H^2$	sovraccarico stabilizzante	24.00			(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.55	0.45		(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.50	2.69		(m)

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

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	18.40			(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	30.14			(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	22.40			(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.31	0.36		(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.27	0.32		(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi'))^{m+1}$		0.17	0.17		(-)

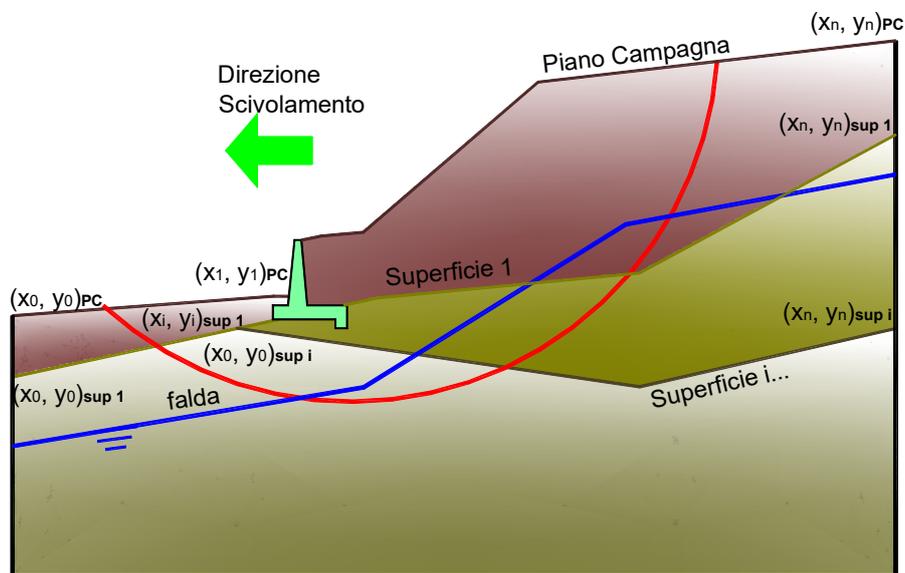
(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	235.85	268.81		(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	--	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b><math>F = q_{lim} \cdot B^* / N</math></b>	<b><math>N_{min}</math></b>	<b>1.98</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.2</b>
		<b><math>N_{max}</math></b>	<b>2.21</b>	<b>&gt;</b>	

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

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



	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kPa]	Descrizione
materiale 1	20.00	38	0	Rilevato - riporto
materiale 2	18.50	30	5	Unità geotecnica 1 - U1
materiale 3	19.00	23	15	Unità geotecnica 2 - U1a
materiale 4	19.00	23	12.5	Unità geotecnica 3 - U2a



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

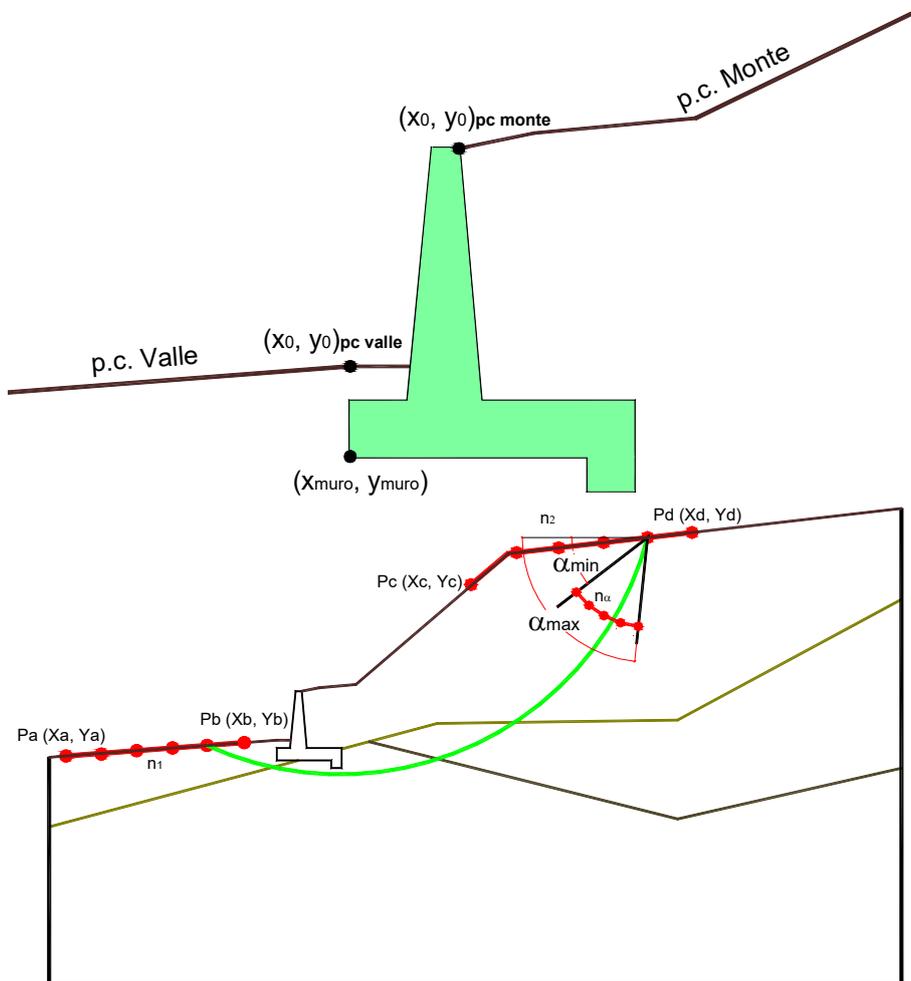
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	62 di 96



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
0	100,000	101,200	0	101,000	104,100	0	50,000	101,200	0	50,000	89,500	0	50,000	98,700
1	50,000	101,200	1	150,000	104,100	1	150,000	101,200	1	150,000	89,500	1	150,000	98,700
2			2			2			2			2		
3			3			3			3			3		
4			4			4			4			4		
5			5			5			5			5		
6			6			6			6			6		
7			7			7			7			7		
8			8			8			8			8		
9			9			9			9			9		
10			10			10			10			10		

Sovraccarichi

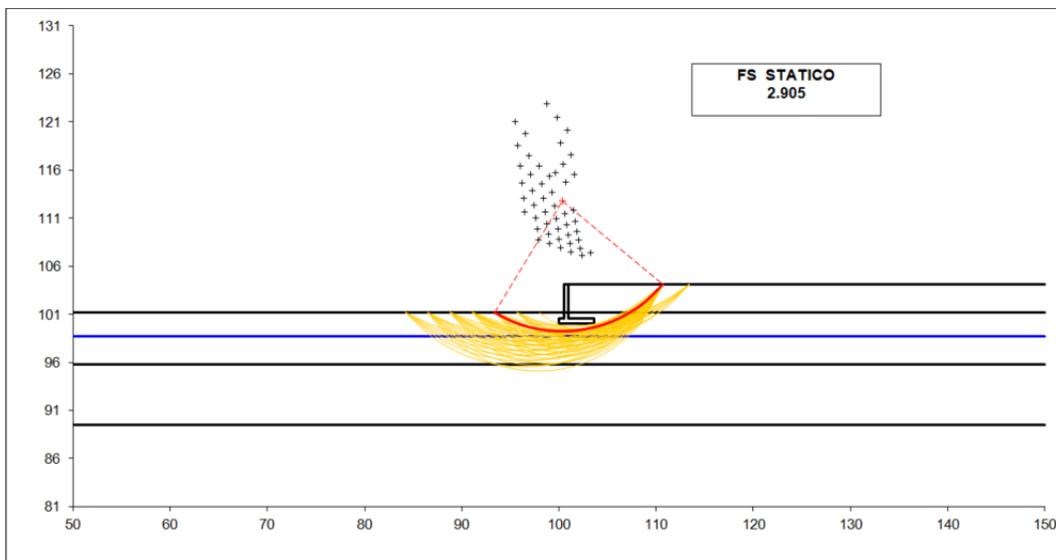
	$x_{in}$	$q_{in}$	$x_{fin}$	$q_{fin}$	% sisma
sovraccarico 1 <input checked="" type="checkbox"/>	104,500	57,7	107,100	57,7	20%
sovraccarico 2 <input type="checkbox"/>					



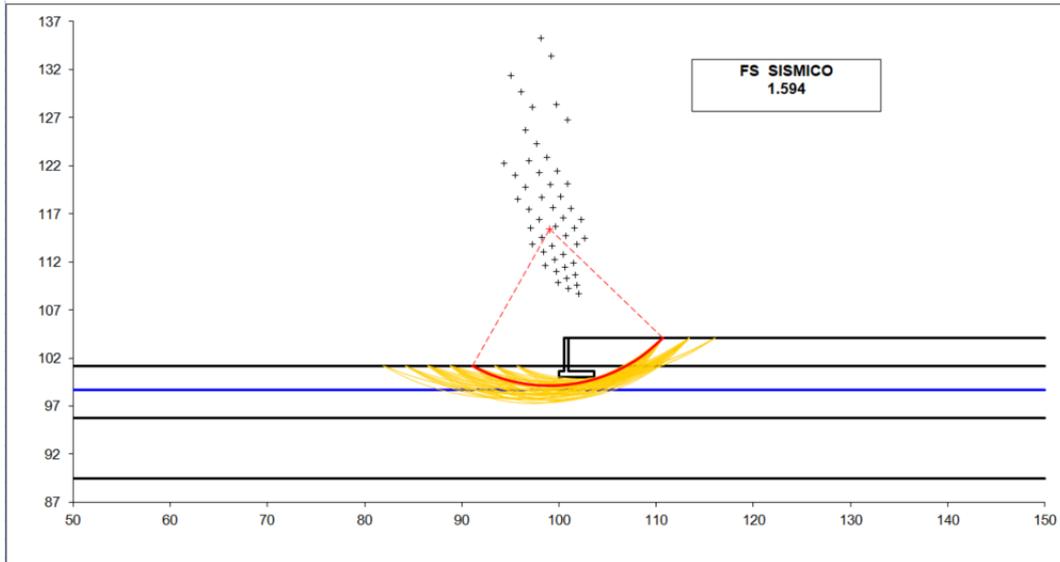
<b>#strisce</b>
<b>30</b>

<b># Superfici Calcolate</b>	<b>FS Bishop</b>	
	<b>STATICO</b>	<b>2.905</b>
<b>991</b>	<b>SISMICO</b>	<b>1.594</b>

**Condizioni statiche**

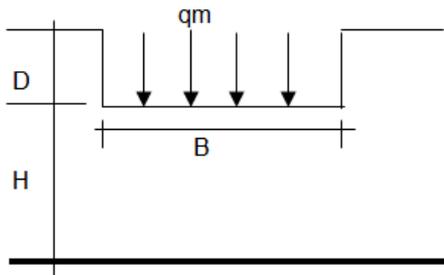


## Condizioni sismiche



### 10.3.4 CALCOLO DEI CEDIMENTI

#### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 * \mu_1 * q_m * B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

N	323.95	(kN/m)
M	137.61	(kNm/m)
e=M/N	0.42	(m)
B*	2.75	(m)

Profondità Piano di Posa della Fondazione

D =	1.20	(m)
D/B*	0.44	(m)
Hs/B*	2.55	(m)

Carico unitario medio (qm)

$$q_m = N / (B - 2 * e) = N / B^* = 122.49 \quad (\text{kN/mq})$$

Coefficiente di forma  $\mu_0 = f(D/B)$

$$\mu_0 = 0.941 \quad (-)$$

Coefficiente di profondità  $\mu_1 = f(H/B)$

$$\mu_1 = 0.77 \quad (-)$$

Cedimento della fondazione

$$\delta = \mu_0 * \mu_1 * q_m * B^* / E = 40.74 \quad (\text{mm})$$

## 10.4 VERIFICHE STRUTTURALI

### 10.4.1 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

#### Reazione del terreno

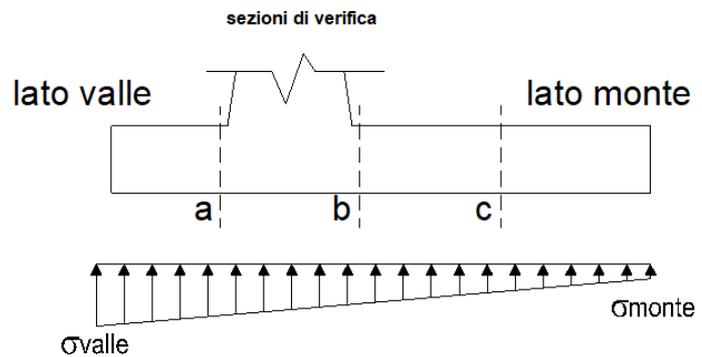
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

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

$$A = 1.0 \cdot B = 3.60 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 2.16 \quad (m^3)$$

caso	N	M	$\sigma_{valle}$	$\sigma_{monte}$
	[kN]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
statico	336.91	209.40	190.59	0.00
	554.41	100.65	200.60	107.41
sisma+	349.90	176.67	178.98	15.40
	379.90	161.67	180.37	30.68
sisma-	298.00	163.62	158.53	7.03
	328.00	148.62	159.92	22.31



#### Mensola Lato Valle

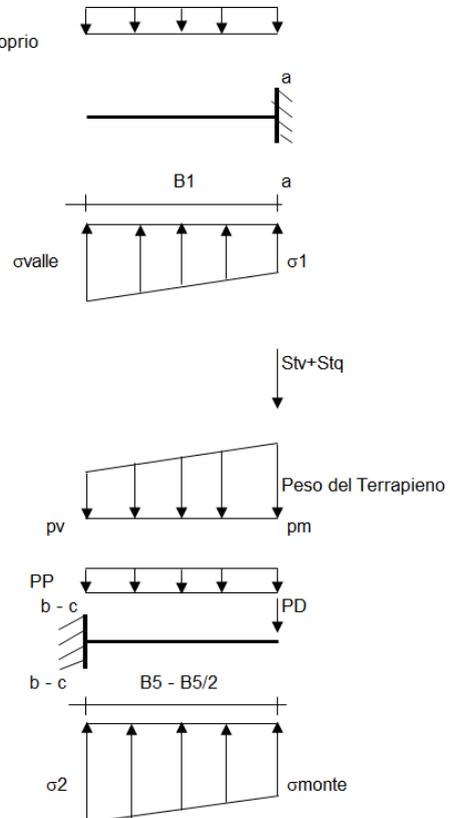
Peso Proprio. PP = 15.00 (kN/m)

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

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

caso	$\sigma_{valle}$	$\sigma_1$	Ma	Va
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	190.59	163.64	20.83	81.06
	200.60	187.66	22.66	89.56
sisma+	178.98	156.26	19.41	81.41
	180.37	159.58	19.81	82.11
sisma-	158.53	137.49	17.21	71.18
	159.92	140.80	17.32	71.88

Peso Proprio



#### Mensola Lato Monte

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

PD = 0.00 (kN/m)

peso proprio soletta fondazione

peso proprio dente

	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	91.60	175.25	103.14	(kN/m <sup>2</sup> )
pvb	91.60	175.25	103.14	(kN/m <sup>2</sup> )
pvc	91.60	175.25	103.14	(kN/m <sup>2</sup> )

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

$$-(St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2/2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2/2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5/2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5/2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5/2)^2 / 3 +$$

$$-(St_v + Sq_v) \cdot (B_5/2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2/2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2/2$$

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

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

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	67 di 96

caso	omonte	σ2b	Mb	Vb	σ2c	Mc	Vc
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	0.00	136.68	-213.87	-103.89	66.60	-73.14	-97.44
	107.41	174.71	-204.19	-127.91	141.06	-60.53	-85.83
sisma+	15.40	133.55	-202.97	-104.94	74.47	-67.38	-90.86
	30.68	138.79	-204.65	-110.57	84.74	-66.39	-90.42
sisma-	7.03	116.44	-185.44	-95.23	61.74	-61.77	-83.18
	22.31	121.69	-181.09	-96.23	72.00	-59.27	-80.42

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

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

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

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

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

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

$$N_{ext} = v$$

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

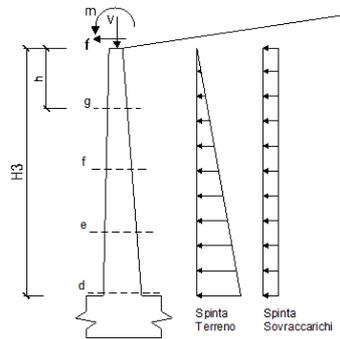
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{ext} = f$$

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



**condizione statica**

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.50	44.20	153.36	0.00	197.56	1.00	43.75	44.75
e-e	2.63	18.65	86.26	0.00	104.91	1.00	32.81	33.81
f-f	1.75	5.52	38.34	0.00	43.86	1.00	21.88	22.88
g-g	0.88	0.69	9.58	0.00	10.28	1.00	10.94	11.94

sezione	h	Vt	Vq	V <sub>ext</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.50	37.88	87.63	0.00	125.52
e-e	2.63	21.31	65.73	0.00	87.03
f-f	1.75	9.47	43.82	0.00	53.29
g-g	0.88	2.37	21.91	0.00	24.28

**condizione sismica +**

sezione	h	M <sub>t stat</sub>	M <sub>t sism</sub>	M <sub>q</sub>	M <sub>ext</sub>	M <sub>inerzia</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp+inerzia</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.50	34.00	14.81	54.67	0.00	11.83	115.31	1.00	47.13	48.13
e-e	2.63	14.34	6.25	30.75	0.00	6.65	58.00	1.00	35.35	36.35
f-f	1.75	4.25	1.85	13.67	0.00	2.96	22.73	1.00	23.56	24.56
g-g	0.88	0.53	0.23	3.42	0.00	0.74	4.92	1.00	11.78	12.78

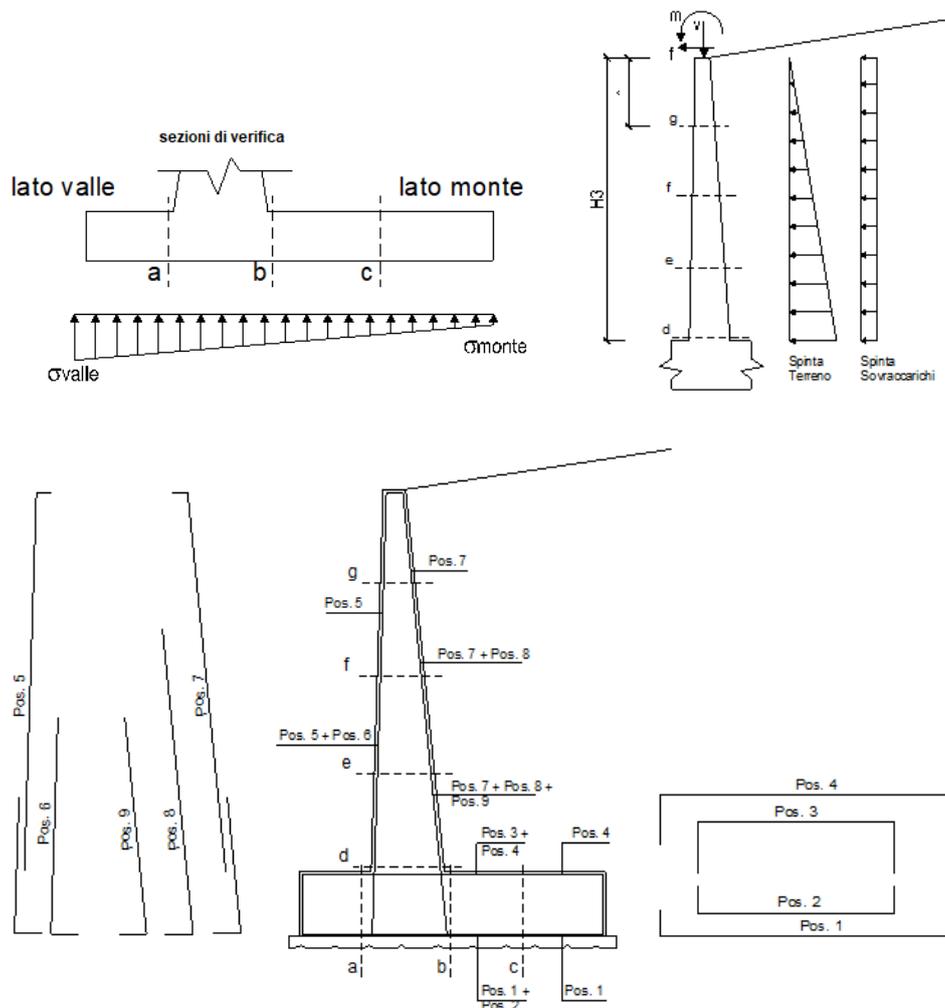
sezione	h	V <sub>t stat</sub>	V <sub>t sism</sub>	V <sub>q</sub>	V <sub>ext</sub>	V <sub>inerzia</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.50	29.14	12.70	31.24	0.00	6.76	79.84
e-e	2.63	16.39	7.14	23.43	0.00	5.07	52.03
f-f	1.75	7.29	3.17	15.62	0.00	3.38	29.46
g-g	0.88	1.82	0.79	7.81	0.00	1.69	12.12

**condizione sismica -**

sezione	h	M <sub>t stat</sub>	M <sub>t sism</sub>	M <sub>q</sub>	M <sub>ext</sub>	M <sub>inerzia</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp+inerzia</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.50	34.00	9.83	57.31	0.00	11.83	112.96	1.00	40.37	41.37
e-e	2.63	14.34	4.15	32.24	0.00	6.65	57.38	1.00	30.28	31.28
f-f	1.75	4.25	1.23	14.33	0.00	2.96	22.76	1.00	20.19	21.19
g-g	0.88	0.53	0.15	3.58	0.00	0.74	5.01	1.00	10.09	11.09

sezione	h	V <sub>t stat</sub>	V <sub>t sism</sub>	V <sub>q</sub>	V <sub>ext</sub>	V <sub>inerzia</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.50	29.14	8.43	32.75	0.00	6.76	77.07
e-e	2.63	16.39	4.74	24.56	0.00	5.07	50.76
f-f	1.75	7.29	2.11	16.37	0.00	3.38	29.15
g-g	0.88	1.82	0.53	8.19	0.00	1.69	12.22

### 10.4.2 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 = 3,50m su fondazione diretta
**ARMATURE**

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

Pertanto l'armatura secondaria sarà pari a:

sez a – a: φ14/20cm (ripartitori in fondazione e in elevazione);

sez b – b: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

sez c – c: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

sez d – d: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

sez e – e: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

sez f – f: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

sez g – g: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)
a - a	22.66	0.00	0.60	31.42	31.42	578.24
b - b	-213.87	0.00	0.60	31.42	31.42	578.24
c - c	-73.14	0.00	0.60	31.42	31.42	578.24
d - d	197.56	44.75	0.50	31.42	31.42	462.74
e - e	104.91	33.81	0.50	31.42	31.42	460.92
f - f	43.86	22.88	0.50	31.42	31.42	459.11
g - g	10.28	11.94	0.50	31.42	31.42	457.29

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

Sez.	V <sub>Ed</sub>	h	V <sub>Rd</sub>	ø staffe	i orizz.	i vert.	θ	V <sub>Rsd</sub>	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	89.56	0.60	269.35	14	20	20	21.8	1734.81	Armatura a taglio non necessaria
b - b	127.91	0.60	269.35	14	20	20	21.8	1734.81	Armatura a taglio non necessaria
c - c	97.44	0.60	269.35	14	20	20	21.8	1734.81	Armatura a taglio non necessaria
d - d	125.52	0.50	248.84	14	20	20	21.8	1395.98	Armatura a taglio non necessaria
e - e	87.03	0.50	247.49	14	20	20	21.8	1395.98	Armatura a taglio non necessaria
f - f	53.29	0.50	246.14	14	20	20	21.8	1395.98	Armatura a taglio non necessaria
g - g	24.28	0.50	244.79	14	20	20	21.8	1395.98	Armatura a taglio non necessaria

### 10.4.3 VERIFICHE SLE TENSIONE

#### Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
a - a	17.87	0.00	0.60	31.42	31.42	0.39	12.61
b - b	-150.96	0.00	0.60	31.42	31.42	3.27	106.55
c - c	-50.70	0.00	0.60	31.42	31.42	1.10	35.78
d - d	142.27	44.75	0.50	31.42	31.42	4.51	119.98
e - e	75.24	33.81	0.50	31.42	31.42	2.39	61.86
f - f	31.32	22.88	0.50	31.42	31.42	1.00	24.37
g - g	7.30	11.94	0.50	31.42	31.42	0.24	4.68

#### Condizione Sismica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
a - a	19.66	0.00	0.60	31.42	31.42	0.43	13.88
b - b	-186.50	0.00	0.60	31.42	31.42	4.05	131.63
c - c	-62.84	0.00	0.60	31.42	31.42	1.36	44.36
d - d	115.31	41.37	0.50	31.42	31.42	3.66	96.45
e - e	58.00	31.28	0.50	31.42	31.42	1.85	46.87
f - f	22.76	21.19	0.50	31.42	31.42	0.73	17.01
g - g	5.01	11.09	0.50	31.42	31.42	0.16	2.79

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

#### 10.4.4 VERIFICHE SLE FESSURAZIONE

##### condizione Frequente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$	wk	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	17.87	0.00	0.60	31.42	31.42	0.39	12.61	0.015	0.200
b - b	-150.96	0.00	0.60	31.42	31.42	3.27	106.55	0.129	0.200
c - c	-50.70	0.00	0.60	31.42	31.42	1.10	35.78	0.043	0.200
d - d	142.27	44.75	0.50	31.42	31.42	4.51	119.98	0.134	0.200
e - e	75.24	33.81	0.50	31.42	31.42	2.39	61.86	0.069	0.200
f - f	31.32	22.88	0.50	31.42	31.42	1.00	24.37	0.027	0.200
g - g	7.30	11.94	0.50	31.42	31.42	0.24	4.68	0.005	0.200

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

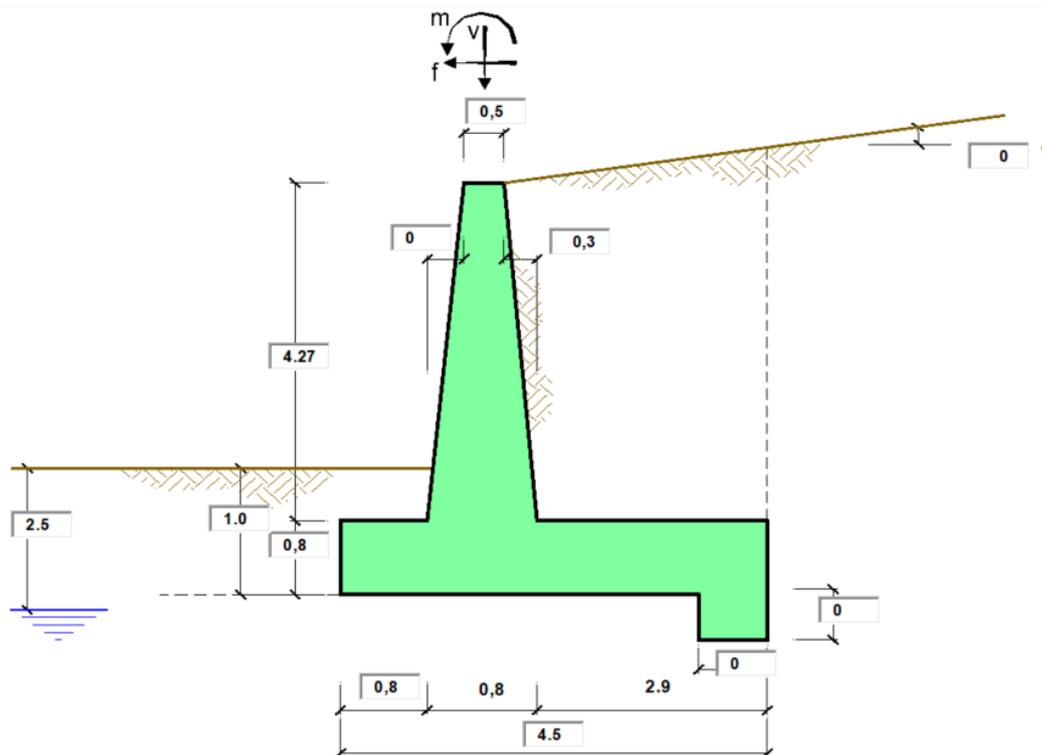
##### condizione Quasi Permanente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$	wk	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	10.54	0.00	0.60	31.42	31.42	0.23	7.44	0.009	0.200
b - b	-57.37	0.00	0.60	31.42	31.42	1.24	40.49	0.049	0.200
c - c	-16.44	0.00	0.60	31.42	31.42	0.36	11.60	0.014	0.200
d - d	58.21	44.75	0.50	31.42	31.42	1.86	44.96	0.050	0.200
e - e	27.96	33.81	0.50	31.42	31.42	0.90	19.70	0.022	0.200
f - f	10.30	22.88	0.50	31.42	31.42	0.34	5.73	0.006	0.200
g - g	2.04	11.94	0.50	31.42	31.42	0.07	0.30	0.000	0.200

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

## 11. PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOSTEGNO “TIPO 2”

### 11.1 DATI DI INPUT



#### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	4.27	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.50	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.30	(m)

#### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	4.50	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0.80	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0.80	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	2.90	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	2.25	(m)

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



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	73 di 96

<b>Dati Geotecnici</b>			<b>valori caratteristici</b>		<b>valori di progetto</b>	
			<b>SLE</b>		<b>STR/GEO</b>	<b>EQU</b>
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\phi'$	38.00	38.00	38.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$	0.00	0.00	0.00
Condizioni			<input checked="" type="radio"/> drenate	<input type="radio"/> Non Drenate		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c_1'$	5.00	5.00	5.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\phi_1'$	30.00	30.00	30.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_1$	18.50	18.50	18.50
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$	20.00	20.00	20.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	7.00		
Modulo di deformazione			E	6000		

Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	0.33	(-)	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">RIBALTAMENTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\beta_s</math></td> <td>0.57</td> </tr> <tr> <td>kh</td> <td>0.23174</td> </tr> <tr> <td>kv</td> <td>0.11587</td> </tr> </tbody> </table>	RIBALTAMENTO		$\beta_s$	0.57	kh	0.23174	kv	0.11587
	RIBALTAMENTO												
	$\beta_s$	0.57											
	kh	0.23174											
	kv	0.11587											
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	$S_s$	1.232	(-)									
Coefficiente Amplificazione Topografico	$S_T$	1	(-)										
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	$\beta_s$	0.38	(-)										
Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.1544928	(-)										
Coefficiente sismico verticale	kv	0.0772	(-)										
Muro libero di traslare o ruotare			<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no										

			STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.238	0.238
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.317	0.359
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.332	0.400
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	3.000	3.000
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	2.740	2.614
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	2.693	2.501

<b>Carichi Agenti</b>			<b>valori caratteristici</b>		<b>valori di progetto</b>	
			<b>SLE - sisma</b>		<b>STR/GEO</b>	<b>EQU</b>
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m <sup>2</sup> )	qp	16.62	21.60	21.60
	Sovraccarico su zattera di monte	<input checked="" type="radio"/> si <input 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			mp	0.00	0.00	0.00
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m <sup>2</sup> )	q	57.69	83.65	83.65
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	0.00	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	0.00	0.00	0.00
	Coefficienti di combinazione			condizione frequente $\Psi_1$	1.00	condizione quasi permanente $\Psi_2$
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m <sup>2</sup> )	qs	11.54		
	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		

**CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI**

**Calcestruzzo**

classe cls	C32/40		
Rck	40	(MPa)	
fck	32	(MPa)	
fcm	40	(MPa)	
Ec	33346	(MPa)	
$\alpha_{cc}$	0.85		
$\gamma_C$	1.50		
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_C$	18.13	(MPa)	
$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	3.02	(MPa)	

**Tensioni limite (tensioni ammissibili)**

condizioni statiche

$\sigma_c$	19.2	Mpa
$\sigma_T$	360	Mpa

condizioni sismiche

$\sigma_c$	19.2	Mpa
$\sigma_T$	360	Mpa

**Valore limite di apertura delle fessure**

Frequente	w1	0.2	mm
Quasi Permanente	w1	0.2	mm

**Acciaio**

tipo di acciaio	B450C		
fyk =	450	(MPa)	
$\gamma_S =$	1.15		
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E =$	391.30	(MPa)	
Es =	210000	(MPa)	
$\epsilon_{ys} =$	0.19%		

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

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

c = 9.00 (cm)

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

$c_{min} = 5.00$  (cm)

**Interferro tra I e II strato**

$i_{I-II} = 5.00$  (cm)

## 11.2 CALCOLO DELLE AZIONI

### 11.2.1 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	0.00
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	53.38	53.38	53.38
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	16.01	16.01	16.01
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	90.00	90.00	90.00
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m)	159.39	159.39	159.39

- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)					
Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m)	247.66	247.66	247.66
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')/2$	(kN/m)	12.81	12.81	12.81
Sovr =	$qp \cdot (B4 + B5)$	(kN/m)	53.17	69.12	69.12
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr	(kN/m)	313.64	329.59	329.59

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro					
Sovr acc. Stat $q \cdot (B4 + B5)$		(kN/m)	184.615385	267.692308	
Sovr acc. Sism $qs \cdot (B4 + B5)$		(kN/m)	36.9230769		

#### 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)	56.04	56.04	56.04
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 \cdot B4)$	(kNm/m)	22.42	22.42	22.42
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	202.50	202.50	202.50
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m)	280.96	280.96	280.96

- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro					
Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	(kNm/m)	755.36	755.36	755.36
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	(kNm/m)	19.22	19.22	19.22
Msovr =	$Sovr \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$	(kNm/m)	154.19	200.45	200.45
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr	(kNm/m)	928.77	975.03	975.03

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro					
Sovr acc. Stat $q \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$		(kNm/m)	535.384615	776.307692	
Sovr acc. Sism $qs \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$		(kNm/m)	107.076923		

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	76 di 96

**INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO**

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps h =	$Pm \cdot kh$	(kN/m)	24.62	36.94
Ps v =	$Pm \cdot kv$	(kN/m)	12.31	18.47

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

Ptsh =	$Pt \cdot kh$	(kN/m)	50.92	76.38
Ptsh v =	$Pt \cdot kv$	(kN/m)	25.46	38.19

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

MPs1 h=	$kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 h=	$kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3/2)$	(kNm/m)	24.20	36.30
MPs3 h=	$kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3/3)$	(kNm/m)	5.50	8.25
MPs4 h=	$kh \cdot Pm4 \cdot (H2/2)$	(kNm/m)	5.56	8.34
MPs5 h=	$-kh \cdot Pm5 \cdot (Hd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs h=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	35.26	52.90

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

MPs1 v=	$kv \cdot Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 v=	$kv \cdot Pm2 \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	(kNm/m)	4.33	6.49
MPs3 v=	$kv \cdot Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4/3)$	(kNm/m)	1.73	2.60
MPs4 v=	$kv \cdot Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	15.64	23.46
MPs5 v=	$kv \cdot Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs v=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	21.70	32.55

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

MPts1 h=	$kh \cdot Pt1 \cdot (H2 + H3/2)$	( kNm/m )	112.30	168.45
MPts2 h=	$kh \cdot Pt2 \cdot (H2 + H3 + H4/3)$	( kNm/m )	0.00	0.00
MPts3 h=	$kh \cdot Pt3 \cdot (H2 + H3 \cdot 2/3)$	( kNm/m )	7.22	10.83
MPts h=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	( kNm/m )	119.51	179.27

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

MPts1 v=	$kv \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3/2) - (B - B5/2) \cdot 0.5)$	( kNm/m )	58.35	87.52
MPts2 v=	$kv \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3) \cdot 0.5)$	( kNm/m )	0.00	0.00
MPts3 v=	$kv \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2/3) - (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4) \cdot 0.5)$	( kNm/m )	1.73	2.60
MPts v=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	( kNm/m )	60.08	90.12

## 11.2.2 SPINTE IN CONDIZIONE STATICA

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
St =	$0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m) 61.15	79.49	79.49
Sq perm =	$q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m) 20.04	26.05	26.05
Sq acc =	$q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m) 69.58	100.89	100.89

- Componente orizzontale condizione statica

Sth =	$St \cdot \cos \delta$	(kN/m) 61.15	79.49	79.49
Sqh perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m) 20.04	26.05	26.05
Sqh acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m) 69.58	100.89	100.89

- Componente verticale condizione statica

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

- Spinta passiva sul dente

$Sp = \frac{1}{2} \cdot g1 \cdot Hd^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
--	--------	------	------	------

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
MSt1 =	$St \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd)$	(kNm/m) 103.34	134.34	134.34
MSt2 =	$St \cdot B$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSq1 perm =	$Sqh \text{ perm} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	(kNm/m) 50.80	66.04	66.04
MSq1 acc =	$Sqh \text{ acc} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	(kNm/m) 176.39	255.76	255.76
MSq2 perm =	$Sqv \text{ perm} \cdot B$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSq2 acc =	$Sqv \text{ acc} \cdot B$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSp =	$\gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1 =	$mp + m$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
Mfext2 =	$(fp + f) \cdot (H3 + H2)$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
Mfext3 =	$(vp+v) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	(kNm/m) 1.05	1.05	1.05

### 11.2.3 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)	61.15	61.15
Sst1 sism =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	26.65	41.97
Ssq1 perm=	$qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	26.71	30.28
Ssq1 acc =	$qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	18.55	21.03
- Componente orizzontale condizione sismica +				
Sst1h stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	61.15	61.15
Sst1h sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	26.65	41.97
Ssq1h perm=	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	26.71	30.28
Ssq1h acc=	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	18.55	21.03
- Componente verticale condizione sismica +				
Sst1v stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Sst1v sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1v perm=	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1v acc=	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
- Spinta passiva sul dente				
Sp=	$\frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00

#### 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 )	103.34	103.34
MSst1 sism=	$Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	( kNm/m )	45.03	70.92
MSst2 stat =	$Sst1v \text{ stat} \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSst2 sism =	$Sst1v \text{ sism} \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSsq1 =	$Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	( kNm/m )	114.72	130.08
MSsq2 =	$Ssq1v \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSp =	$\gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd^2 / 2$	( kNm/m )	0.00	0.00

#### 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 )	1.05

### 11.2.4 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)	61.15	61.15
Sst1 sism =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^- - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	17.68	29.67
Ssq1 perm=	$qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$	(kN/m)	28.00	33.66
Ssq1 acc =	$qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$	(kN/m)	19.44	23.38
- Componente orizzontale condizione sismica -				
Sst1h stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	61.15	61.15
Sst1h sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	17.68	29.67
Ssq1h perm=	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	28.00	33.66
Ssq1h acc=	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	19.44	23.38
- Componente verticale condizione sismica -				
Sst1v stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Sst1v sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1v perm=	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1v acc=	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
- Spinta passiva sul dente				
Sp=	$\frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1-kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^- + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{-0.5} + \gamma_1' \cdot (1-kv) \cdot kps^- \cdot H2') \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00

#### 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 )	103.34	103.34
MSst1 sism=	$Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	( kNm/m )	29.88	50.13
MSst2 stat =	$Sst1v \text{ stat} \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSst2 sism =	$Sst1v \text{ sism} \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSsq1 =	$Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	( kNm/m )	120.25	144.59
MSsq2 =	$Ssq1v \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00
MSp =	$\gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd^2 / 2$	( kNm/m )	0.00	0.00

#### 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 )	1.05

## 11.3 VERIFICHE GEOTECNICHE

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

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

Risultante forze verticali (N)				
$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} \text{ perm} + S_{qv} \text{ acc}$	489.98	(kN/m)		
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{th} + S_{qh} + f$	206.44	(kN/m)		
Coefficiente di attrito alla base (f)				
$f = \text{tg}\phi_1'$	0.58	(-)		
<b>Fs scorr.</b>	<b>(N*f + Sp) / T</b>	<b>1.37</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.1</b>

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
$M_s = M_m + M_t + M_{fext3}$	1257.04	(kNm/m)		
Momento ribaltante (Mr)				
$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp}$	456.14	(kNm/m)		
<b>Fs ribaltamento</b>	<b>Ms / Mr</b>	<b>2.76</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.15</b>

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

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{ Sovr acc})$	489.98	489.98	757.67	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p$	206.44	206.44	206.44	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
$MM = \sum M$	800.89	800.89	1577.20	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
$M = X_c * N - MM$	301.55	301.55	127.55	(kNm/m)

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	81 di 96

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

Fondazione Nastriforme

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

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	5.00		(kPa)
$\varphi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	30.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	11.83		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d'H_2'$	sovraccarico stabilizzante	20.00		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.62	0.17	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.27	4.16	(m)

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

$N_q = tg^2(45 + \varphi'/2)*e^{(\pi*tg(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	18.40		(-)
$N_c = (N_q - 1)/tg(\varphi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	30.14		(-)
$N_\gamma = 2*(N_q + 1)*tg(\varphi')$	(0 in cond. nd)	22.40		(-)

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

$i_q = (1 - T/(N + B*c'*cotg\varphi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.36	0.55	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$		0.33	0.33	(-)
$i_\gamma = (1 - T/(N + B*c'*cotg\varphi'))^{m+1}$		0.22	0.22	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	276.67	347.70	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b>F = <math>q_{lim} * B^* / N</math></b>	$N_{min}$	<b>1.85</b>	>	<b>1.4</b>
		$N_{max}$	<b>1.91</b>	>	



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
 INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
 DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
 MACROFASE FUNZIONALE 1  
 LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	82 di 96

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

Condizione sismica +

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)				
N	=	$P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$	511.80	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$	208.59	(kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)				
f	=	$tg\phi_1'$	0.58	(-)
<b>F<sub>s</sub></b>	=	<b>(N*f + S<sub>p</sub>) / T</b>	<b>1.42</b>	<b>&gt; 1</b>

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (M <sub>s</sub> )				
M <sub>s</sub>	=	$M_m + M_t + M_{fext3}$	1257.04	( kNm/m )
Momento ribaltante (M <sub>r</sub> )				
M <sub>r</sub>	=	$M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$	413.84	( kNm/m )
<b>F<sub>r</sub></b>	=	<b>M<sub>s</sub> / M<sub>r</sub></b>	<b>3.04</b>	<b>&gt; 1</b>

#### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)		N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	
N	=	$P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (Sovr\ acc)$	511.80	548.72 (kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$	208.59	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM	=	$\Sigma M$	874.69	981.77 ( kNm/m )
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M	=	$X_c * N - MM$	276.86	252.86 ( kNm/m )



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
 INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
 DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
 MACROFASE FUNZIONALE 1  
 LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	83 di 96

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

Fondazione Nastriforme

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

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	5.00			(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	30.00			(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	11.83			(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d \cdot H2'$	sovraccarico stabilizzante	20.00			(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.54	0.46		(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.42	3.58		(m)

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

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	18.40			(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	30.14			(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	22.40			(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.38	0.41		(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.34	0.38		(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi'))^{m+1}$		0.23	0.23		(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	295.87	318.18		(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	--	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b><math>F = q_{lim} \cdot B^* / N</math></b>	<b><math>N_{min}</math></b>	<b>1.98</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.2</b>
		<b><math>N_{max}</math></b>	<b>2.07</b>	<b>&gt;</b>	

Condizione sismica -

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO**

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 436.25 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 201.81 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\phi_1' \quad 0.58 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.25} \quad > \quad \mathbf{1}$$

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO**

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 1257.04 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 652.91 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{1.93} \quad > \quad \mathbf{1}$$

**VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{min} & N_{max} \\ 436.25 & 473.18 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 201.81 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad \begin{matrix} 720.74 & 827.82 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad \begin{matrix} 260.83 & 236.83 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
 INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO  
 DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.  
 MACROFASE FUNZIONALE 1  
 LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	3 D 78	CL	MU.08.0.0.001	A	85 di 96

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

Fondazione Nastriforme

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

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	5.00			(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	30.00			(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	11.83			(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d \cdot H^2$	sovraccarico stabilizzante	20.00			(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.60	0.50		(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.30	3.50		(m)

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

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	18.40			(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	( $2 + \pi$ in cond. nd)	30.14			(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	22.40			(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.32	0.36		(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.28	0.32		(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi'))^{m+1}$		0.18	0.18		(-)

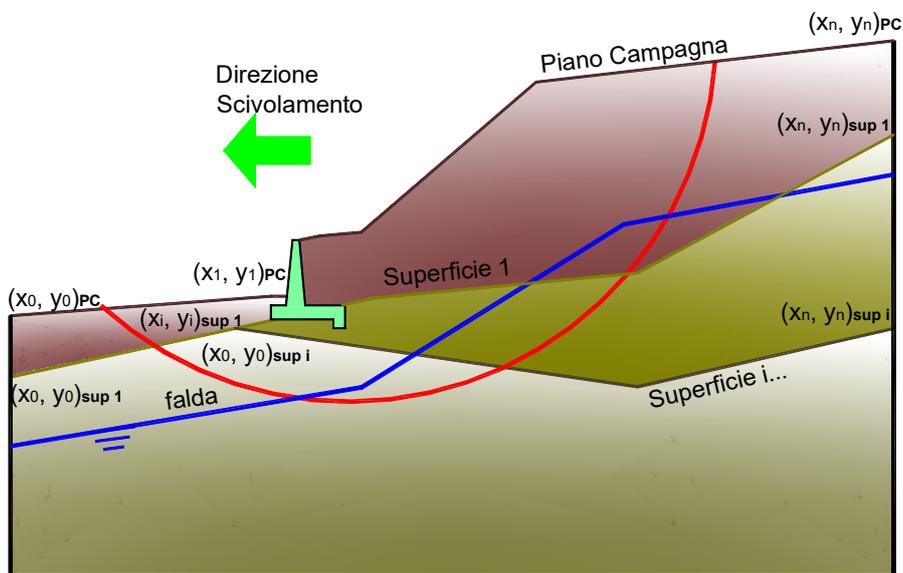
(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	239.58	265.41		(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	--	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b><math>F = q_{lim} \cdot B^* / N</math></b>	<b><math>N_{min}</math></b>	<b>1.81</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.2</b>
		<b><math>N_{max}</math></b>	<b>1.96</b>	<b>&gt;</b>	

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

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



	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kPa]	Descrizione
<b>materiale 1</b>	20.00	38	0	Rilevato - riporto
<b>materiale 2</b>	18.50	30	5	Unità geotecnica 1 - U1
<b>materiale 3</b>	19.00	23	15	Unità geotecnica 2 - U1a
<b>materiale 4</b>	19.00	23	12.5	Unità geotecnica 3 - U2a



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 03

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RS3H

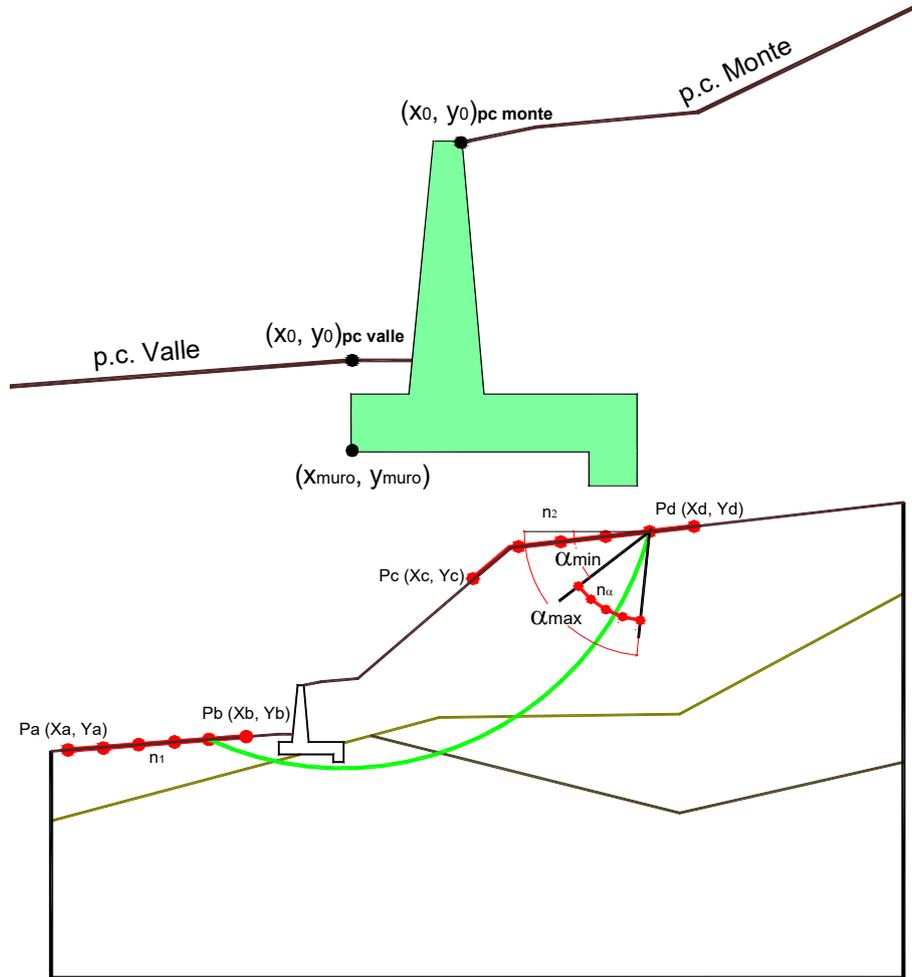
3 D 78

CL

MU.08.0.0.001

A

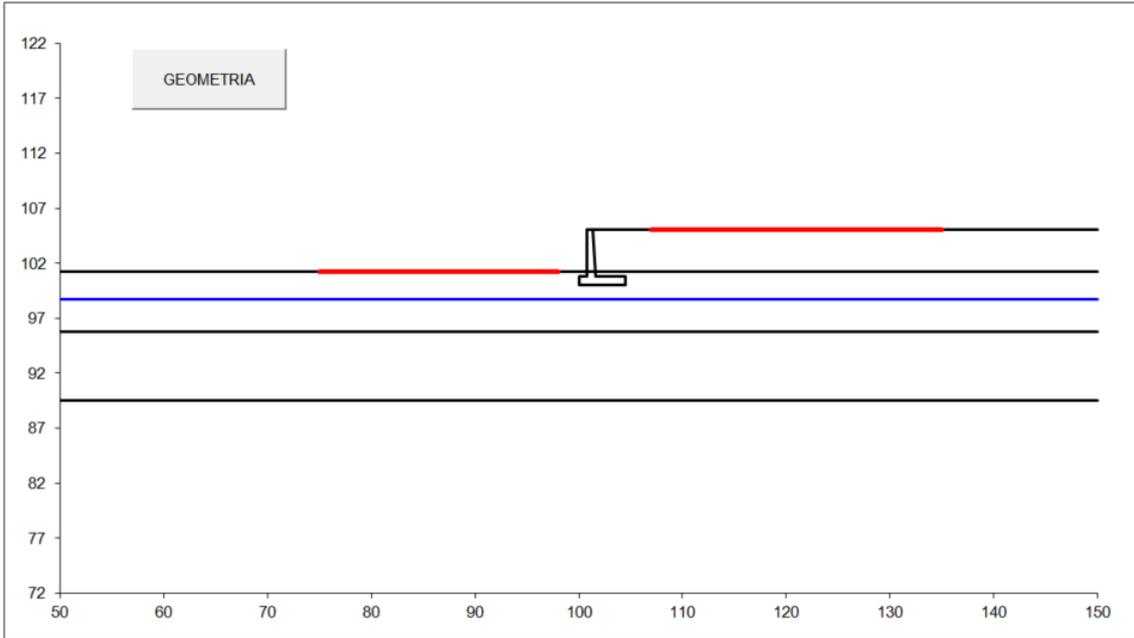
87 di 96



p.c. valle		p.c. monte		superficie 1		superficie 2		superficie 3		fonda				
materiale 1				materiale 2		materiale 3		materiale 4		fonda				
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y			
0	100.000	101.200	0	101.300	105.070	0	50.000	101.200	0	50.000	89.500	0	50.000	98.700
1	50.000	101.200	1	150.000	105.070	1	150.000	101.200	1	150.000	89.500	1	150.000	98.700
2			2			2			2			2		
3			3			3			3			3		
4			4			4			4			4		
5			5			5			5			5		
6			6			6			6			6		
7			7			7			7			7		
8			8			8			8			8		
9			9			9			9			9		
10			10			10			10			10		

Sovraccarichi

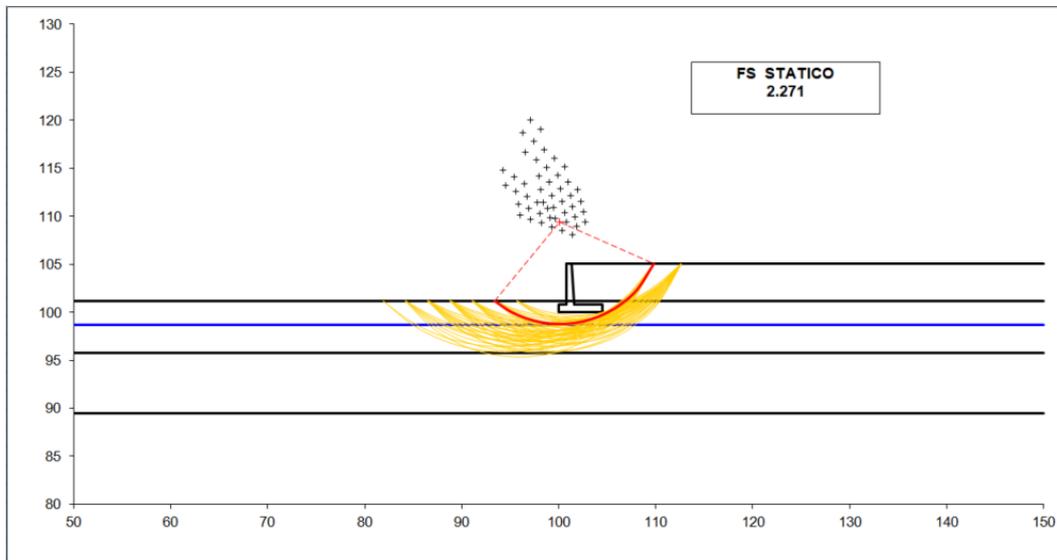
	$x_{in}$	$q_{in}$	$x_{fin}$	$q_{fin}$	% sisma
sovraccarico 1 <input checked="" type="checkbox"/>	104.800	57.7	107.400	57.7	20%
sovraccarico 2 <input type="checkbox"/>					



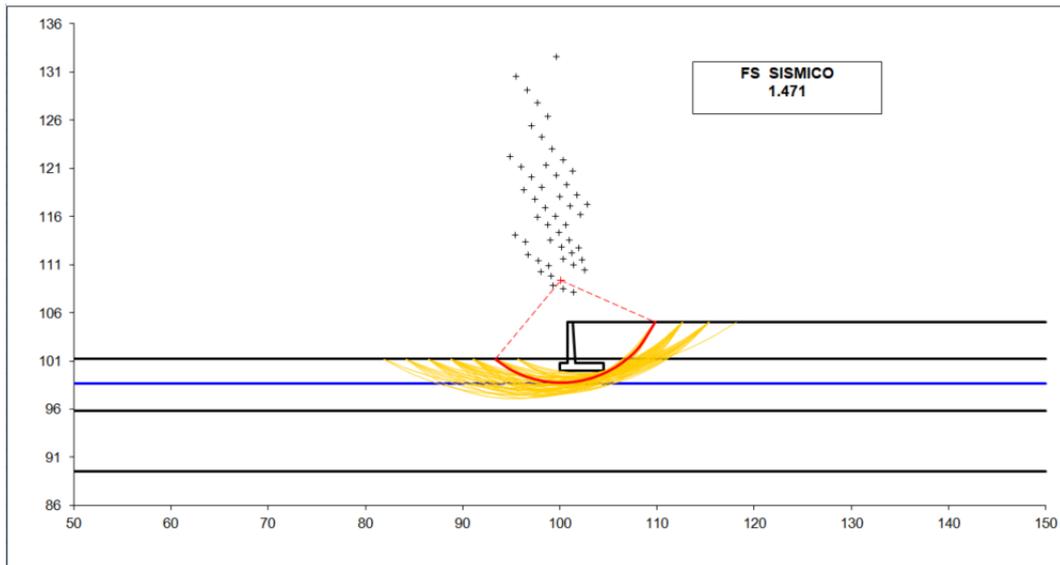
<b>#strisce</b>
<b>30</b>

<b># Superfici Calcolate</b>	<b>FS Bishop</b>	
	<b>STATICO</b>	<b>2.271</b>
<b>889</b>	<b>SISMICO</b>	<b>1.471</b>

**Condizioni statiche**

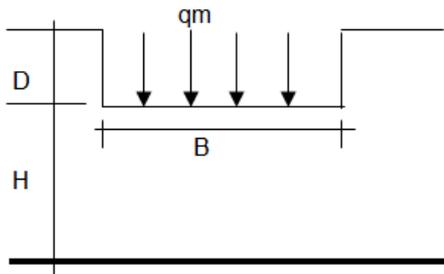


## Condizioni sismiche



### 11.3.4 CALCOLO DEI CEDIMENTI

#### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 * \mu_1 * q_m * B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

N	474.03	(kN/m)
M	186.31	(kNm/m)
$e=M/N$	0.39	(m)
$B^*$	3.71	(m)

Profondità Piano di Posa della Fondazione

D =	1.00	(m)
$D/B^*$ =	0.27	(m)
$Hs/B^*$ =	1.88	(m)

Carico unitario medio ( $q_m$ )

$$q_m = N / (B - 2 * e) = N / B^* = 131.93 \quad (\text{kN/mq})$$

Coefficiente di forma  $\mu_0 = f(D/B)$

$$\mu_0 = 0.949 \quad (-)$$

Coefficiente di profondità  $\mu_1 = f(H/B)$

$$\mu_1 = 0.63 \quad (-)$$

Cedimento della fondazione

$$\delta = \mu_0 * \mu_1 * q_m * B^* / E = 49.16 \quad (\text{mm})$$

## 11.4 VERIFICHE STRUTTURALI

### 11.4.1 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

#### Reazione del terreno

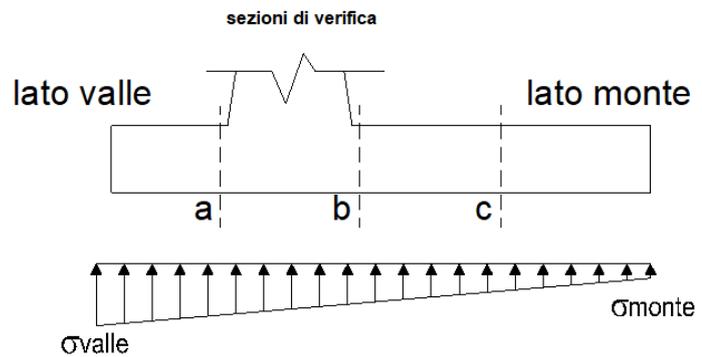
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

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

$$A = 1.0 \cdot B = 4.50 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 3.38 \quad (m^3)$$

caso	N	M	$\sigma_{valle}$	$\sigma_{monte}$
	[kN]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
statico	489.98	301.55	198.23	19.53
	757.67	127.55	206.16	130.58
sisma+	511.80	276.86	195.76	31.70
	548.72	252.86	196.86	47.02
sisma-	436.25	260.83	174.23	19.66
	473.18	236.83	175.32	34.98



#### Mensola Lato Valle

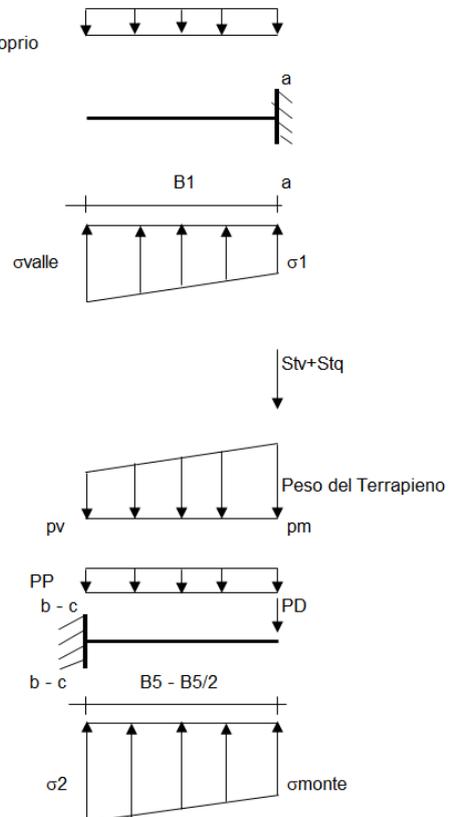
Peso Proprio. PP = 20.00 (kN/m)

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

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

caso	$\sigma_{valle}$	$\sigma_1$	$M_a$	$V_a$
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	198.23	166.46	53.65	129.88
	206.16	192.73	58.14	143.56
sisma+	195.76	166.60	52.64	130.63
	196.86	170.22	53.75	132.26
sisma-	174.23	146.75	46.92	113.90
	175.32	150.37	47.04	115.54

Peso Proprio



#### Mensola Lato Monte

PP = 20.00 (kN/m<sup>2</sup>)

PD = 0.00 (kN/m)

peso proprio soletta fondazione

peso proprio dente

	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	107.00	190.65	118.54	(kN/m <sup>2</sup> )
pvb	107.00	190.65	118.54	(kN/m <sup>2</sup> )
pvc	107.00	190.65	118.54	(kN/m <sup>2</sup> )

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

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

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

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

caso	omonte	o2b	Mb	Vb	o2c	Mc	Vc
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	19.53	134.70	-290.47	-144.67	77.12	-92.80	-114.08
	130.58	179.29	-268.44	-161.59	154.93	-75.65	-98.45
sisma+	31.70	137.43	-293.78	-151.51	84.57	-91.97	-114.08
	47.02	143.58	-294.49	-156.43	95.30	-90.54	-113.22
sisma-	19.66	119.27	-270.48	-138.40	69.47	-85.07	-105.31
	34.98	125.42	-263.70	-138.15	80.20	-81.77	-101.86

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

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

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

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

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

$$M_{inerzia} = \Sigma P m_i \cdot b_i \cdot kh$$

$$N_{ext} = v$$

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

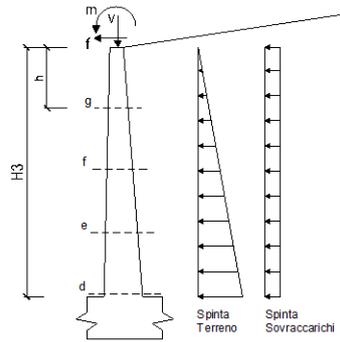
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{ext} = f$$

$$V_{inerzia} = \Sigma P m_i \cdot kh$$



**condizione statica**

sezione	h	Mt	Mq	Mext	Mtot	Next	Npp	Ntot
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.27	80.25	228.26	0.00	308.51	1.00	69.39	70.39
e-e	3.20	33.86	128.40	0.00	162.25	1.00	49.04	50.04
f-f	2.14	10.03	57.06	0.00	67.10	1.00	30.69	31.69
g-g	1.07	1.25	14.27	0.00	15.52	1.00	14.34	15.34

sezione	h	Vt	Vq	Vext	Vtot
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.27	56.38	106.91	0.00	163.30
e-e	3.20	31.72	80.18	0.00	111.90
f-f	2.14	14.10	53.46	0.00	67.55
g-g	1.07	3.52	26.73	0.00	30.25

**condizione sismica +**

sezione	h	Mt stat	Mt sism	Mq	Mext	Minerzia	Mtot	Next	Npp+inerzia	Ntot
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.27	61.73	26.90	81.38	0.00	21.13	191.14	1.00	74.75	75.75
e-e	3.20	26.04	11.35	45.77	0.00	11.39	94.55	1.00	52.83	53.83
f-f	2.14	7.72	3.36	20.34	0.00	4.84	36.26	1.00	33.06	34.06
g-g	1.07	0.96	0.42	5.09	0.00	1.16	7.63	1.00	15.45	16.45

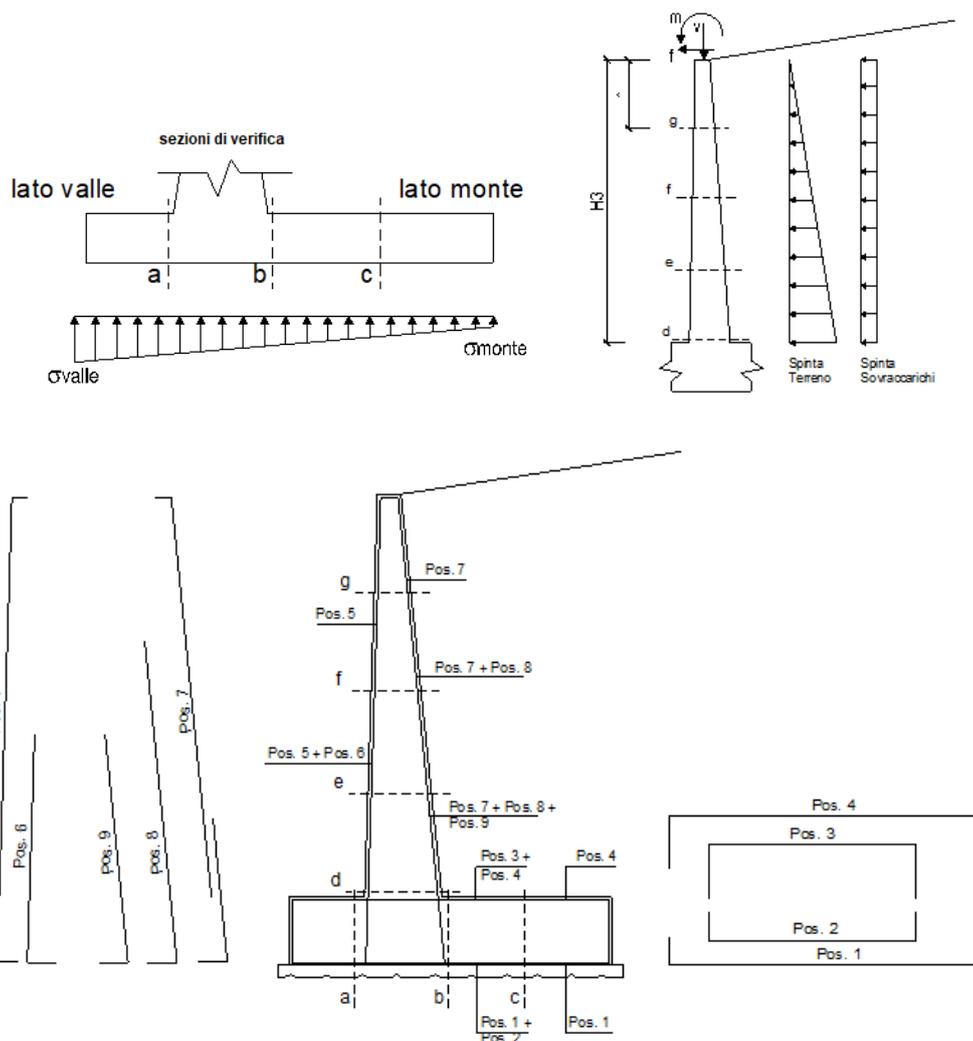
sezione	h	Vt stat	Vt sism	Vq	Vext	Vinerzia	Vtot
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.27	43.37	18.90	38.11	0.00	10.72	111.11
e-e	3.20	24.40	10.63	28.59	0.00	7.58	71.19
f-f	2.14	10.84	4.72	19.06	0.00	4.74	39.37
g-g	1.07	2.71	1.18	9.53	0.00	2.22	15.64

**condizione sismica -**

sezione	h	Mt stat	Mt sism	Mq	Mext	Minerzia	Mtot	Next	Npp+inerzia	Ntot
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.27	61.73	17.85	85.30	0.00	21.13	186.01	1.00	64.03	65.03
e-e	3.20	26.04	7.53	47.98	0.00	11.39	92.94	1.00	45.25	46.25
f-f	2.14	7.72	2.23	21.32	0.00	4.84	36.11	1.00	28.32	29.32
g-g	1.07	0.96	0.28	5.33	0.00	1.16	7.73	1.00	13.24	14.24

sezione	h	Vt stat	Vt sism	Vq	Vext	Vinerzia	Vtot
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	4.27	43.37	12.54	39.95	0.00	10.72	106.59
e-e	3.20	24.40	7.05	29.96	0.00	7.58	68.99
f-f	2.14	10.84	3.14	19.98	0.00	4.74	38.70
g-g	1.07	2.71	0.78	9.99	0.00	2.22	15.70

### 11.4.2 VERIFICHE SLU



#### Armatura minima

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

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

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

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

Muro h = 4,27m su fondazione diretta

**ARMATURE**

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

Pertanto l'armatura secondaria sarà pari a:

sez a – a: φ14/20cm (ripartitori in fondazione e in elevazione);

sez b – b: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

sez c – c: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

sez d – d: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

sez e – e: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

sez f – f: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

sez g – g: φ14/20cm (ripartitori in fondazione);

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)
a - a	58.14	0.00	0.80	31.42	45.24	821.59
b - b	-294.49	0.00	0.80	45.24	31.42	1158.27
c - c	-92.80	0.00	0.80	45.24	31.42	1158.27
d - d	308.51	70.39	0.80	45.24	31.42	1180.04
e - e	162.25	50.04	0.73	45.24	31.42	1039.11
f - f	67.10	31.69	0.65	45.24	31.42	900.17
g - g	15.52	15.34	0.58	45.24	31.42	763.00

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

Sez.	V <sub>Ed</sub>	h	V <sub>Rd</sub>	σ staffe	i orizz.	i vert.	θ	V <sub>Rsd</sub>	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	143.56	0.80	315.52	14	20	20	21.8	2405.70	Armatura a taglio non necessaria
b - b	161.59	0.80	356.30	14	20	20	21.8	2405.70	Armatura a taglio non necessaria
c - c	114.08	0.80	356.30	14	20	20	21.8	2405.70	Armatura a taglio non necessaria
d - d	163.30	0.80	365.67	14	20	20	21.8	2405.70	Armatura a taglio non necessaria
e - e	111.90	0.73	343.90	14	20	20	21.8	2151.58	Armatura a taglio non necessaria
f - f	67.55	0.65	321.54	14	20	20	21.8	1897.45	Armatura a taglio non necessaria
g - g	30.25	0.58	298.41	14	20	20	21.8	1643.33	Armatura a taglio non necessaria

### 11.4.3 VERIFICHE SLE TENSIONE

#### Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
a - a	45.98	0.00	0.80	31.42	45.24	0.55	22.88
b - b	-202.52	0.00	0.80	45.24	31.42	2.25	70.94
c - c	-63.10	0.00	0.80	45.24	31.42	0.70	22.10
d - d	222.88	70.39	0.80	45.24	31.42	2.54	70.86
e - e	116.69	50.04	0.73	45.24	31.42	1.60	40.91
f - f	48.00	31.69	0.65	45.24	31.42	0.82	18.41
g - g	11.04	15.34	0.58	45.24	31.42	0.25	4.25

#### Condizione Sismica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
a - a	53.26	0.00	0.80	31.42	45.24	0.64	26.50
b - b	-271.91	0.00	0.80	45.24	31.42	3.02	95.25
c - c	-86.33	0.00	0.80	45.24	31.42	0.96	30.24
d - d	191.14	65.03	0.80	45.24	31.42	2.18	60.30
e - e	94.55	46.25	0.73	45.24	31.42	1.30	32.57
f - f	36.26	29.32	0.65	45.24	31.42	0.62	13.37
g - g	7.73	14.24	0.58	45.24	31.42	0.17	2.64

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

#### 11.4.4 VERIFICHE SLE FESSURAZIONE

##### condizione Frequente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$	wk	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	45.98	0.00	0.80	31.42	45.24	0.55	22.88	0.032	0.200
b - b	-202.52	0.00	0.80	45.24	31.42	2.25	70.94	0.089	0.200
c - c	-63.10	0.00	0.80	45.24	31.42	0.70	22.10	0.028	0.200
d - d	222.88	70.39	0.80	45.24	31.42	2.54	70.86	0.087	0.200
e - e	116.69	50.04	0.73	45.24	31.42	1.60	40.91	0.048	0.200
f - f	48.00	31.69	0.65	45.24	31.42	0.82	18.41	0.021	0.200
g - g	11.04	15.34	0.58	45.24	31.42	0.25	4.25	0.004	0.200

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

##### condizione Quasi Permanente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$	wk	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	28.14	0.00	0.80	31.42	45.24	0.34	14.00	0.020	0.200
b - b	-77.17	0.00	0.80	45.24	31.42	0.86	27.03	0.034	0.200
c - c	-19.96	0.00	0.80	45.24	31.42	0.22	6.99	0.009	0.200
d - d	97.77	70.39	0.80	45.24	31.42	1.14	27.17	0.033	0.200
e - e	46.31	50.04	0.73	45.24	31.42	0.66	13.27	0.015	0.200
f - f	16.73	31.69	0.65	45.24	31.42	0.30	4.44	0.005	0.200
g - g	3.22	15.34	0.58	45.24	31.42	0.08	0.37	0.000	0.200

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