

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)

Opere di sostegno piazzali

PT90 - Area di Stoccaggio: Opere di sostegno MU30

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 29 CL MU3000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	M.Arcangeli	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	F.Arduini
								0
								0
								0
								0
								0
								0
								0
								0
								0

File: RS3U.4.0.D.29.CL.MU.30.0.0.001.A

n. Elab.: 29_451_7

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 1 di 156

INDICE

1.	PREMESSA	6
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	6
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	14
6.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	16
7.	CRITERI DI VERIFICA MURO DI SOSTEGNO	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
7.4	VERIFICHE STRUTTURALI SLU	26
7.4.1	CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.	26
7.4.2	VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE - PRESSOFLESSIONE.....	26
7.4.3	VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO	26
7.5	VERIFICHE STRUTTURALI SLE.....	28
7.5.1	VERIFICHE ALLE TENSIONI.....	28
7.5.2	VERIFICHE A FESSURAZIONE	29
8.	CRITERI DI VERIFICA PARATIE	31

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	2 di 156

8.1	APPROCCI PROGETTUALI E METODI DI VERIFICA	31
8.2	STABILITÀ GLOBALE	32
9.	ANALISI DEI CARICHI MURO DI SOSTEGNO	34
9.1	PESI PROPRI	34
9.2	CARICHI PERMANENTI	36
9.2.1	PARAPETTO METALLICO.....	36
9.2.2	BARRIERA DI SICUREZZA.....	36
9.2.3	SPINTA DEL TERRENO	36
9.3	CARICHI VARIABILI.....	38
9.3.1	CARICHI MOBILI DA TRAFFICO.....	38
9.4	CARICHI ECCEZIONALI – URTO DA TRAFFICO VEICOLARE.....	39
9.5	VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA	40
9.5.1	VITA NOMINALE.....	40
9.5.2	CLASSE D’USO	40
9.5.3	PERIODO DI RIFERIMENTO.....	40
9.5.4	PARAMETRI SISMICI.....	40
9.6	COMBINAZIONI DI CARICO	45
10.	PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOSTEGNO “TIPO 0”.....	49
10.1	DATI DI INPUT	49
10.2	CALCOLO DELLE AZIONI	53
10.2.1	FORZE VERTICALI E INERZIALI	53
10.2.2	SPINTE IN CONDIZIONE STATICA.....	55
10.2.3	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +.....	56
10.2.4	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -.....	57
10.2.5	SPINTE IN PRESENZA DI URTO.....	58
10.3	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	59

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 3 di 156

10.3.1	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE	59
10.3.2	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE	61
10.3.3	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. NON DRENATE	65
10.3.4	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. NON DRENATE	67
10.3.5	VERIFICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – COND. ECCEZIONALI (URTO).....	71
10.3.6	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE	73
10.3.7	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. NON DRENATE	77
10.4	VERIFICHE STRUTTURALI	81
10.4.1	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	81
10.4.2	VERIFICHE SLU.....	83
10.4.3	VERIFICHE SLE TENSIONE.....	85
10.4.4	VERIFICHE SLE FESSURAZIONE	86
10.4.5	VERIFICHE STRUTTURALI IN PRESENZA DI URTO	87
10.4.6	CALCOLO INCIDENZA ARMATURA	88
11.	PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOSTEGNO “TIPO 1”.....	89
11.1	DATI DI INPUT	89
11.1	CALCOLO DELLE AZIONI	93
11.1.1	FORZE VERTICALI E INERZIALI	93
11.1.2	SPINTE IN CONDIZIONE STATICA.....	95
11.1.3	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +.....	96
11.1.4	SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -.....	97
11.1.5	SPINTE IN PRESENZA DI URTO.....	98
11.2	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	99

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 4 di 156

11.2.1	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE	99
11.2.2	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. DRENATE	101
11.2.3	VERIFICA STATICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. NON DRENATE	105
11.2.4	VERIFICA SISMICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE - C. NON DRENATE	107
11.2.5	VERIFICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – COND. ECCEZIONALI (URTO).....	111
11.2.6	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE	113
11.2.7	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. NON DRENATE	117
11.3	VERIFICHE STRUTTURALI	121
11.3.1	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	121
11.3.2	VERIFICHE SLU.....	123
11.3.3	VERIFICHE SLE TENSIONE.....	125
11.3.4	VERIFICHE SLE FESSURAZIONE	126
11.3.5	VERIFICHE STRUTTURALI IN PRESENZA DI URTO	127
11.3.6	CALCOLO INCIDENZA ARMATURA	128
12.	ANALISI DEI CARICHI PARATIA.....	129
12.1	CARICHI PERMANENTI: SPINTA DEL TERRENO.....	129
12.1	CARICHI VARIABILI: CARICHI MOBILI DA TRAFFICO.....	129
12.2	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	129
12.2.1	Vita nominale.....	129
12.2.2	Classe d'uso.....	129
12.2.3	Periodo di riferimento	130
12.2.4	Parametri sismici.....	130
13.	PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA “TIPO 1”.....	134
13.1	DATI DI INPUT	134

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 5 di 156

13.2	FASI DI CALCOLO	137
13.3	RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE	140
13.4	VERIFICHE GEOTECNICHE	146
1.1.1	Verifiche SLE	146
1.1.2	Stabilità globale	147
1.1	VERIFICHE STRUTTURALI – CONDIZIONI STATICHE	148
1.2	VERIFICHE STRUTTURALI – CONDIZIONI SISMICHE	153
13.5	CALCOLO INDICENZA ARMATURA	156

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 6 di 156

1. PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo della direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo, nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Caltanissetta Xirbi – Enna (Lotto 4).

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche dell'opera di sostegno MU30, che si sviluppa planimetricamente per circa 182 m, dal 0+383.66 km al km 0+203.75 km.



Figura 1-1 – PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 - Pianta.

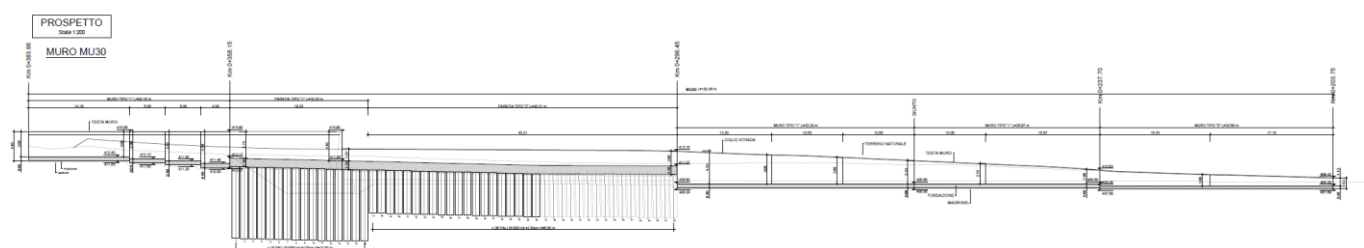


Figura 1-2 – PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 - Prospetto.

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 7 di 156

L'opera si articola come segue:

- dalla progressiva 0+237.70 km alla 0+203.75 km l'opera è costituita dal muro tipo 0: l'altezza massima del paramento è di 2.00 m, con spessore in testa di 0.40 m e variabile allo spiccato, la soletta ha uno spessore di 0.40 m e una lunghezza di 2.60 m;
- dalla progressiva 0+383.66 km alla 0+358.15 km e dalla progressiva 0+296.45 km alla 0+237.70 km l'opera è caratterizzata dal muro di sostegno tipo1: l'altezza massima del paramento è di 4.50 m, con spessore in testa di 0.40 m e variabile allo spiccato, la soletta ha uno spessore di 0.60 m e una lunghezza di 4.20 m;
- dalla progressiva 0+358.15 km alla 0+296.45 km l'opera è costituita da una paratia di pali di diametro 1000 mm e interasse 1.20 m, con una lunghezza massima pari a 10.00 m e altezza massima di scavo di 5.10 m per i primi 16 pali e una lunghezza di 6.00 m e altezza massima di scavo di 3.50 m per i restanti.

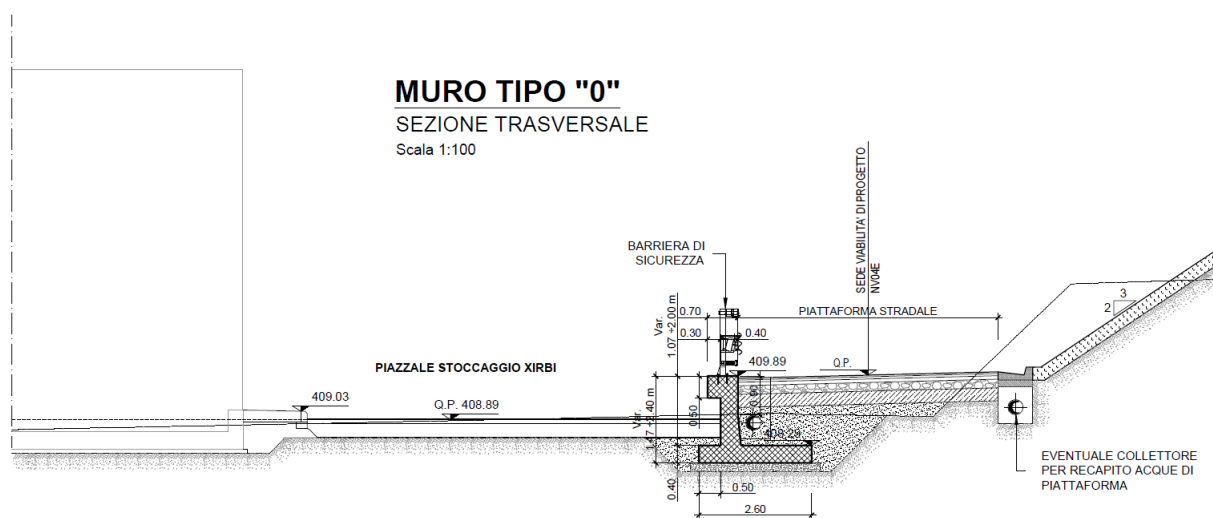


Figura 1-3 – PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 – Sezione muro tipo0.

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RS3U

40 D 29

CL

MU3000 001

A

8 di 156

MURO TIPO "1"

SEZIONE TRASVERSALE

Scala 1:100

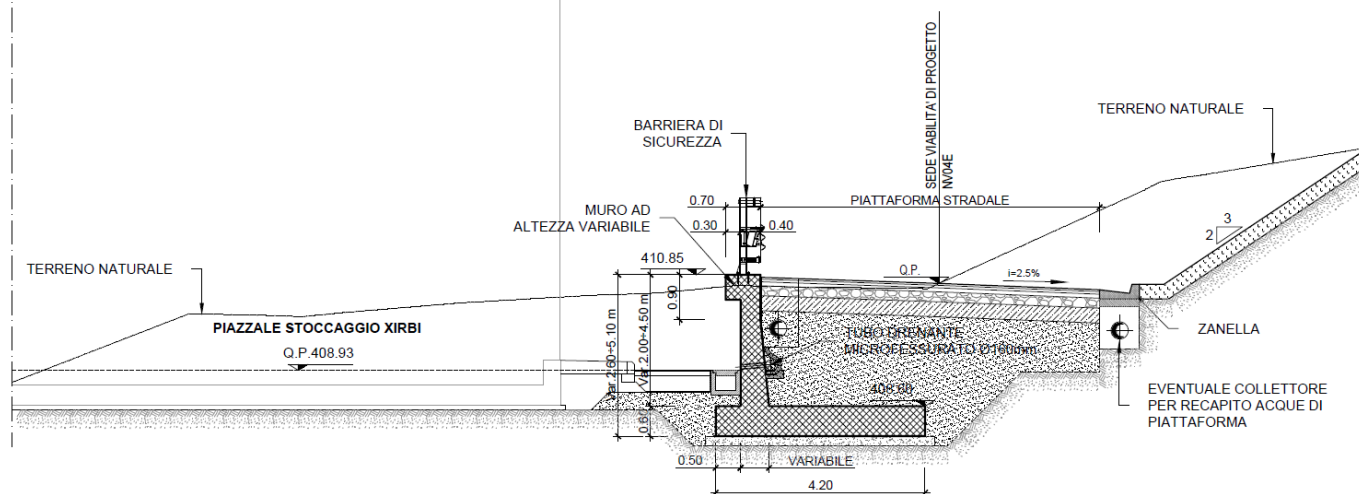


Figura 1-4 – PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 – Sezione muro tipo1.

PARATIA TIPO "1"

SEZIONE TRASVERSALE

Scala 1:100

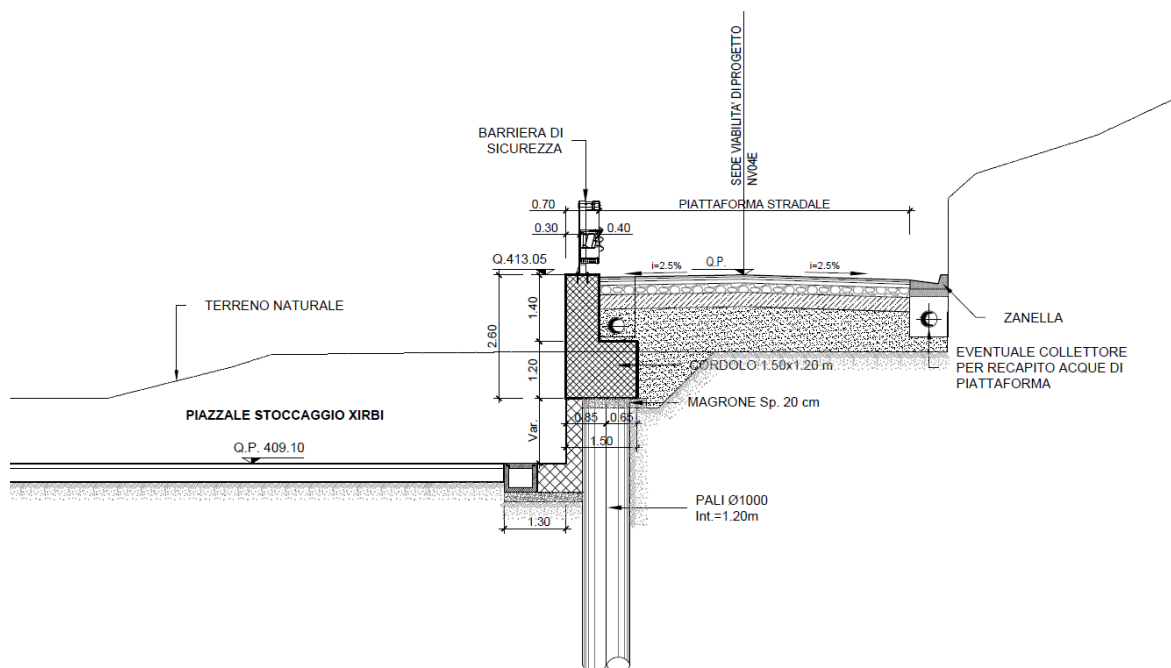


Figura 1-5 – PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 – Sezione paratia tipo1.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 9 di 156

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 10 di 156

2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

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

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

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

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

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

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

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

3. **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

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

RS3U.4.0.D.29.PZ.MU.30.0.0.001: “Opere di sostegno piazzali – PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 – Pianta, prospetto”

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 11 di 156

4. UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

unità di misura principali

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

unità di misura derivate **kN**

(kiloNewton)	103N
MN (megaNewton)	106N
kgf (kilogrammo-forza)	1 kgf = 9.81 N
cm (centimetro)	10-2 m
mm (millimetro)	10-3 m
Pa (Pascal)	1 N/m2
kPa (kiloPascal)	103 N/m2
MPa (megaPascal)	106 N/m2
N/m3	(peso specifico)
g (accelerazione di gravità)	~9.81 m/s2

corrispondenze notevoli

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

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

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

γ (gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m3)
σ (sigma)	tensione normale	(N/mm2)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 12 di 156

τ (tau)	tensione tangenziale	(N / mm ²)	
ε (epsilon)	deformazione	(m/m)	-
ϕ (fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)	

5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

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

5.1 CALCESTRUZZO

- Elemento strutturale: fondazione ed elevazione muro di sostegno

Classe di resistenza = C30/37;

R_{ck} = resistenza cubica = 37 N/mm²;

f_{ck} = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83 R_{ck} = 30.71 N/ mm²;

f_{cm} = resistenza cilindrica media = $f_{ck} + 8$ = 38.71 N/ mm²;

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 17.4$ N/mm²;

f_{ctm} = resistenza a trazione media = $0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.94$ N/ mm²;

f_{cfm} = resistenza a traz. per flessione media = $1.20 \times f_{ctm} = 3.53$ N/ mm²;

f_{cfk} = resistenza a traz. per flessione carati. = $0.70 \times f_{cfm} = 2.47$ N/ mm²;

E_{cm} = modulo elast. tra 0 e 0.40 $f_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 33019.43$ N/ mm²;

Tolleranza di posa del copriferro = 10 mm;

Classe di esposizione XC3

Copriferro minimo $c_{min} = 40$ mm

Condizioni ambientali: ordinarie

Apertura fessure limite: $w_1 = 0.2$ mm

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 13 di 156

CALCOLO COPRIFERRO - § C4.1.6.1.3 ISTRUZIONI NTC 2018

- Elemento strutturale: fondazione ed elevazione muro di sostegno

Diametro (o diametro equivalente) barre longitudinali:	20	[mm]
Diametro staffe:	10	[mm]
Classe Calcestruzzo:	C30/37	
Condizioni ambientali:	Aggressive	
Vita nominale costruzione:	75	[anni]
Tolleranza di posa:	10	[mm]
Copriferro staffe:		
Copriferro minimo c_{min} :	30	[mm]
Copriferro nominale Netto Staffe:	40	[mm]
Copriferro barre longitudinali:		
Copriferro nominale Netto barre longitudinali:	60	[mm]
Copriferro nominale dal Baricentro della Barra longitudinale:	70	[mm]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 14 di 156

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 ²
$f_{t\ nom}$	540 N/mm ²

Tabella 5-1 Tensioni caratteristiche acciaio.

E deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella:

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y\ nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t\ nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_y/f_{ynom})_k$	$< 1,35$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\leq 1,25$	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 ϕ	
$12 \leq \phi \leq 16\ mm$	5 ϕ	
per $16 < \phi \leq 25\ mm$	8 ϕ	
per $25 < \phi \leq 40\ mm$	10 ϕ	

Tabella 5-2 Requisiti acciaio.

Inoltre si ha:

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

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

Resistenza di calcolo a rottura per trazione e deformazione corrispondente:

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 15 di 156

Strutture di sostegno

Calcestruzzo per pali	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck}/1.5 = 14.17 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3} = 29962 \text{ MPa}$

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	B450C
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391.3 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (DM 17/01/2018).	$\sigma_{lim} = 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 16 di 156

6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo del mezzo interessato dall'opera. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica con specifico riferimento al volume significativo interessato dalle opere.

Si evidenzia, inoltre, la presenza di una coltre superficiale di circa 1m le cui caratteristiche non risultano tali da permettervi l'impostazione del piano di posa del muro di sostegno.

Unità litologiche da p.c.	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	c_u [kPa]	E_0 [MPa]
a2	1.00	5.50	19	15.0	25	75	100
FYN4	5.50	-	19	20.0	21	175	220

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

In cui:

γ = peso specifico del terreno;

c'_k = coesione efficace;

ϕ'_k = angolo d'attrito efficace;

c_u = coesione non drenata;

E_0 = Modulo dinamico del terreno;

Il rilevato a monte avrà superficie orizzontale.

La falda è posta ad una profondità superiore a 5.0 metri dal piano campagna.

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

- peso volume, $\gamma = 19$ kN/m³;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA’					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	17 di 156

- angolo d'attrito, $\varphi' = 35^\circ$;
- coesione efficace $c' = 0$ kPa.

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

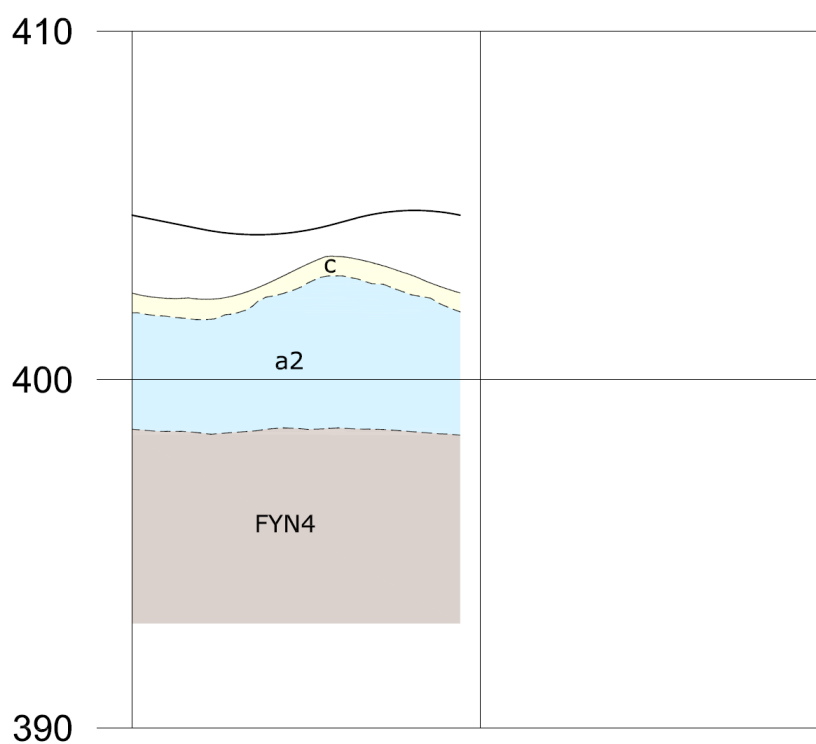


Figura 6-1 – Stralcio del profilo geotecnico.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 18 di 156

7. CRITERI DI VERIFICA MURO DI SOSTEGNO

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).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 19 di 156

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

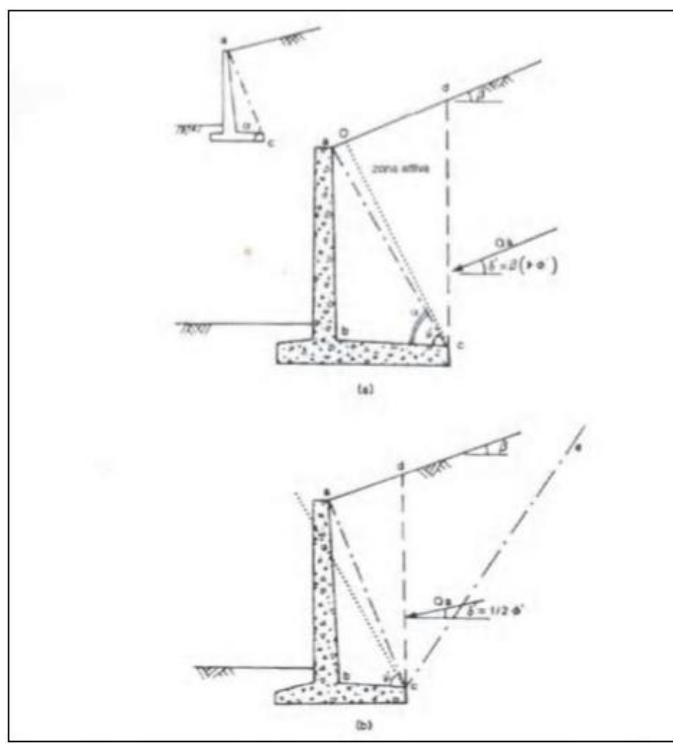


Figura 7-1 – Spinta sui muri di sostegno a mensola con suola lunga (caso a) e con suola corta (caso b).

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

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

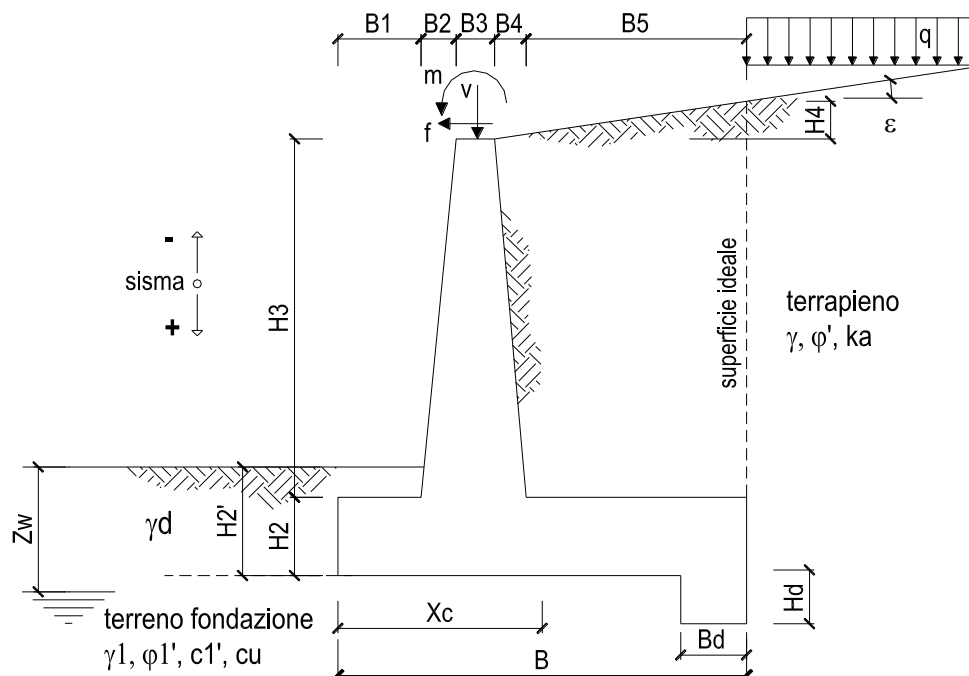
Inoltre nella verifica a scorrimento e a ribaltamento dei muri di sostegno viene trascurata la resistenza passiva antistante il muro.

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

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

Le caratteristiche geometriche sono riportate sinteticamente nel seguente schema:

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 20 di 156



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.

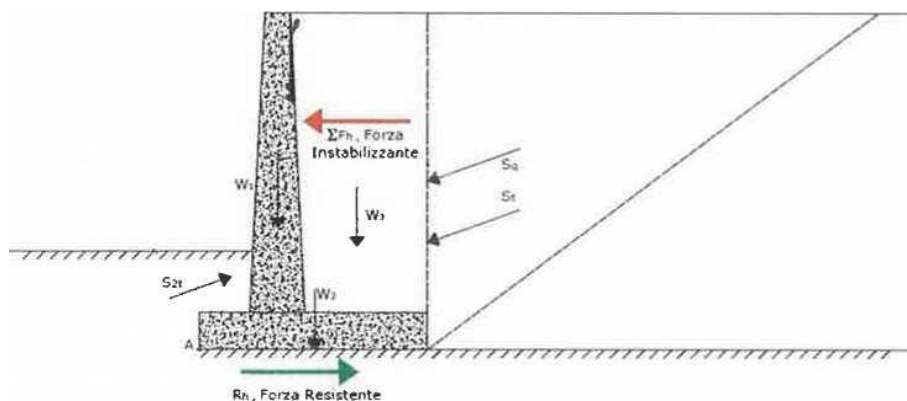


Figura 7-2 – Verifica a scorrimento.

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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 21 di 156

7.1.2 VERIFICA A RIBALTAMENTO

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

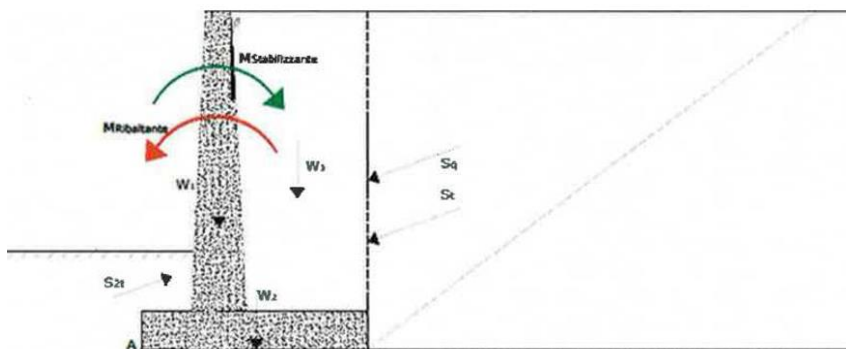


Figura 7-3– Verifica a ribaltamento.

7.1.3 VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

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

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

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

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

7.1.4 VERIFICA A STABILITÀ GLOBALE

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 22 di 156

7.2 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLV) IN CONDIZIONI SISMICHE

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

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

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

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

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

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

dove:

β_m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

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

g = accelerazione di gravità.

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

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

dove:

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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 23 di 156

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

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

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

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

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

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

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

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

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

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

ϕ = angolo di attrito interno del terrapieno;

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

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

δ = angolo di attrito terrapieno – muro;

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 24 di 156

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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 25 di 156

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 26 di 156

7.4 VERIFICHE STRUTTURALI SLU

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

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

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

7.4.1 CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

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

7.4.2 VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE - PRESSOFLESSIONE

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

7.4.3 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO

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

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

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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	27 di 156

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

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

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

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

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

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02;$$

A_{sl} è l'area dell'armatura tesa;

b_w è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

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

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

A_c è l'area della sezione di calcestruzzo;

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 28 di 156

$\alpha_{cw} = 1$ 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 $0.75 f_{yk}$.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 29 di 156

Per il caso in esame risulta in particolare:

- Muro di sostegno:

CALCESTRUZZO

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

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

ACCIAIO

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

7.5.2 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

Risultando:

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

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 30 di 156

$w_3 = 0.4 \text{ mm}$

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

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

Combinazione Caratteristica (Rara)

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

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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 31 di 156

8. CRITERI DI VERIFICA PARATIE

8.1 Approcci progettuali e metodi di verifica

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

- collasso del complesso opera-terreno;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi,
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

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

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

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto con la verifica di stati limite ultimi GEO, applicando la Combinazione 2 ($A2+M2+R1$). Per le verifiche di stati limite ultimi STR l'analisi è stata condotta con la combinazione 1 ($A1+M1+R1$), applicando i coefficienti parziali $A1$ ($\gamma = 1,3$) all'effetto delle azioni. A tale scopo, nelle analisi, i valori caratteristici dei carichi variabili sfavorevoli sono stati amplificati di un coefficiente pari a $1,5/1,3 = 1,15$.

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

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

in cui Δt è la differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo.

Il corretto dimensionamento nei confronti degli SLU assicura che gli spostamenti dell'opera siano compatibili con le esigenze di funzionalità della stessa; pertanto, trattandosi di opere provvisorie, in assenza di fabbricati o altre opere da salvaguardare a ridosso delle stesse, non si ritengono necessarie ulteriori valutazioni di verifica nei confronti degli SLE.

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

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), con riferimento alla configurazione finale dell'opera di sostegno. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono pari

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 32 di 156

all'unità. Si adotta il metodo pseudostatico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale secondo le prescrizioni della normativa (DM 17/01/2018):

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

dove:

- $a_{\max}$ è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,
- α è il coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018);
- β è il coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018).

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

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

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

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

I coefficienti di spinta attiva sono determinati attraverso la relazione di Mononobe (1929) e Okabe (1926). I coefficienti di spinta passiva sono determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007). L'angolo di attrito terreno/struttura, δ , si assume pari a 2/3 della resistenza al taglio del terreno naturale.

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

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte con il codice di calcolo SLOPE/W (GEO-SLOPE/W 2007).

8.2 STABILITÀ GLOBALE

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 33 di 156

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

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

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

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

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

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

in cui:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 34 di 156

9. ANALISI DEI CARICHI MURO DI SOSTEGNO

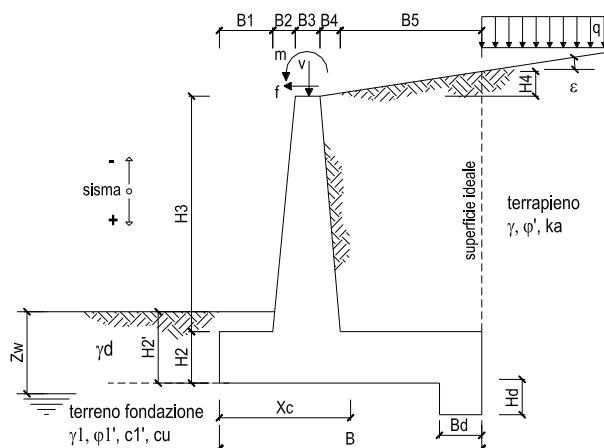
Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

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

9.1 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 =	2.00	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.00	(m)

Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	2.60	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0.40	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0.40	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	1.80	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	1.30	(m)

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

Figura 9-1 – Caratteristiche geometriche muri di sostegno con fondazione diretta – tipo 0.

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

RS3U

LOTTO

40 D 29

CODIFICA

CL

DOCUMENTO

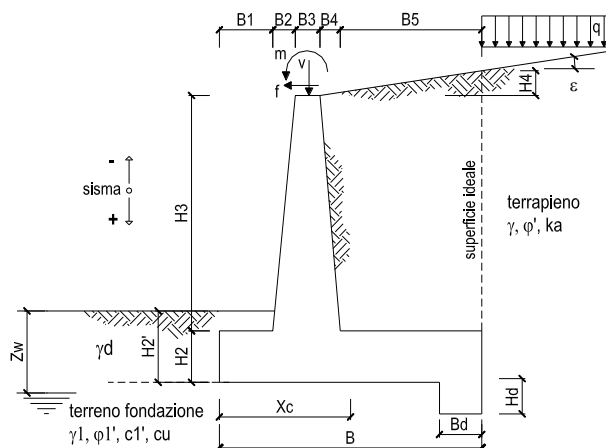
MU3000 001

REV.

A

FOGLIO

35 di 156



Geometria del Muro

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

Geometria della Fondazione

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

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

Figura 9-2 – Caratteristiche geometriche muri di sostegno con fondazione diretta – tipo 1.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 36 di 156

9.2 CARICHI PERMANENTI

9.2.1 PARAPETTO METALLICO

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

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

9.2.2 BARRIERA DI SICUREZZA

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

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

9.2.3 SPINTA DEL TERRENO

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

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

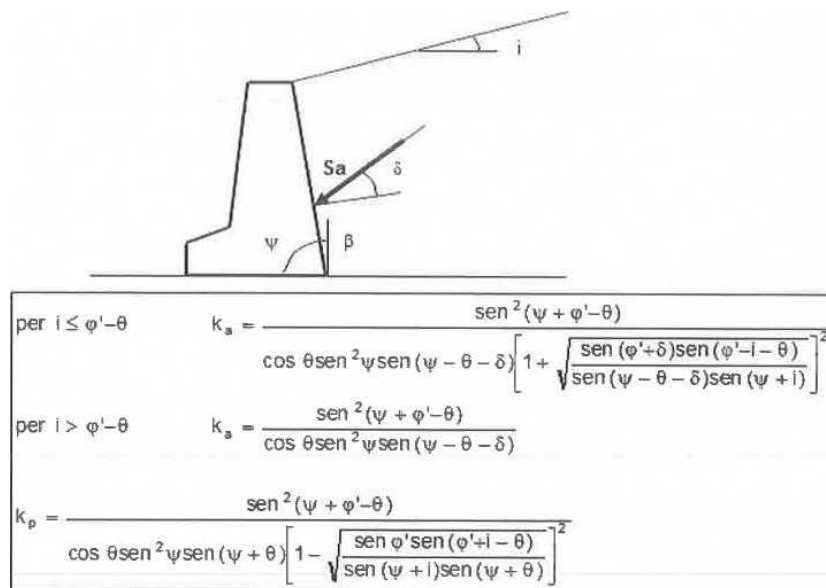


Figura 9-3 – Coefficiente di spinta attiva e passiva.

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 37 di 156

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

<u>Dati Geotecnici</u>			valori caratteristici SLE	valori di progetto	
				STR/GEO	EQU
Dati Terrapien o	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	φ'	35,00	35,00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m ³)	γ'	19,00	19,00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	0,00	0,00

Figura 9-4 – Dati geotecnici

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	38 di 156

9.3 CARICHI VARIABILI

9.3.1 CARICHI MOBILI DA TRAFFICO

Per quanto attiene il sovraccarico variabile dovuto al carico stradale si applica il carico verticale statico di 20 kPa che, in condizioni sismiche, è stato ridotto al 20% (4 kPa).

Carichi Agenti					valori caratteristici		valori di progetto	
					SLE - sisma		STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente		(kN/m ²)	qp	0,00		0,00	0,00
	Sovraccarico su zattera di monte	☒ si ☐ no						
	Forza Orizzontale in Testa permanente		(kN/m)	fp	0,00		0,00	0,00
	Forza Verticale in Testa permanente		(kN/m)	vp	3,50		3,50	3,50
Condizioni Statiche	Momento in Testa permanente		(kNm/m)	mp	0,00		0,00	0,00
	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche		(kN/m ²)	q	20,00		29,00	29,00
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche		(kN/m)	f	0,00		0,00	0,00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche		(kN/m)	v	0,00		0,00	0,00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche		(kNm/m)	m	0,00		0,00	0,00
Condizioni Sismiche	Coefficienti di combinazione	condizione frequente Ψ1		1,00	condizione quasi permanente Ψ2		0,00	0,00
	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche		(kN/m ²)	qs	4,00			
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kN/m)	fs	0,00			
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kN/m)	vs	0,00			
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kNm/m)	ms	0,00			

Figura 9-5 – Carichi agenti

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 39 di 156

9.4 CARICHI ECCEZIONALI – URTO DA TRAFFICO VEICOLARE

Per i muri di sostegno si è considerata l'azione causata da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza. La normativa prevede una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia (il più piccolo dei due valori), ed applicata su una linea lunga 0,5 m. Effettuando una diffusione longitudinale a 45° fino alla base del paramento si ottiene la lunghezza longitudinale (L_c) e il valore della forza riferito ad 1 m di lunghezza di muro.

Nel dimensionamento degli elementi strutturali ai quali è collegata la barriera si deve tener conto della eventuale sovrapposizione delle zone di diffusione di tale sistema di forze, in funzione della geometria della barriera e delle sue condizioni di vincolo. Per il dimensionamento dell'impalcato, le forze orizzontali così determinate devono essere amplificate di un fattore pari a 1,50.

Il coefficiente parziale di sicurezza per la combinazione di carico agli SLU per l'urto di veicolo in svio deve essere assunto unitario.

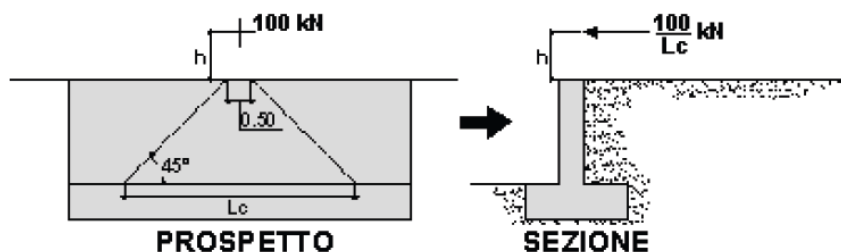


Figura 9-6 – Schema di diffusione della forza di collisione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 40 di 156

9.5 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

9.5.1 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.

9.5.2 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.

9.5.3 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.

9.5.4 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:

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 41 di 156

Stati Limite	P_{VF} : 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 9-1 – Probabilità di superamento al variare dello stato limite considerato.



Tabella 9-2 – Localizzazione del sito ove sorgeranno le opera.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 42 di 156

Da cui si ottiene la seguente tabella:

Stati limite

 Classe Edificio  Vita Nominale  Interpolazione				
III. Affollamento significativo...				
CU = 1.5				
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	68	0.039	2.523	0.286
Danno (SLD)	113	0.048	2.503	0.321
Salvaguardia vita (SLV)	1068	0.097	2.658	0.468
Prevenzione collasso (SLC)	2193	0.118	2.730	0.524
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	112.5			

Tabella 9-3 – Parametri relativi all'azione sismica.

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

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

Tabella 9-4 – 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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 43 di 156

sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle tabelle di seguito riportate:

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

Tabella 9-5 – 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 9-6 – Valori massimi dei coefficienti di amplificazione topografica S_T .

valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica sono pari a $S_s = 1.50$ e $C_c = 1.350$

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

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

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	44 di 156

Coefficienti sismici

 Tipo Muri di sostegno NTC 2018

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

	H (m)	us (m)
 1	 0.1	

 Cat. Sottosuolo C

 Cat. Topografica T1

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

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.034	0.055	0.000
kv	--	0.017	0.028	--
Amax [m/s ²]	0.579	0.704	1.427	1.732
Beta	--	0.470	0.380	--

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 45 di 156

9.6 COMBINAZIONI DI CARICO

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	46 di 156

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

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

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

Tabella 9-7 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

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

Tabella 9-8 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

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

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

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 47 di 156

Tabella 9-10 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

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

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

Tabella 9-11 – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.

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

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

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

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

Tabella 9-12 – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico.

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

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 48 di 156

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combi- nazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequent)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	–	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Tabella 9-13 – Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali.

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

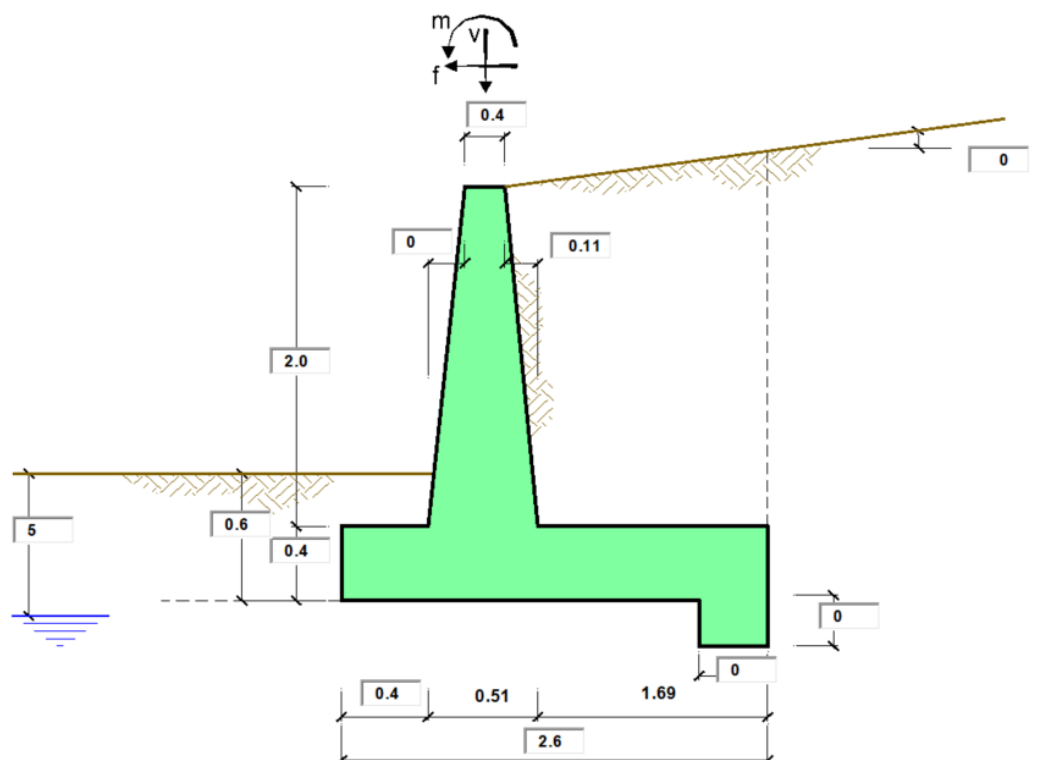
Si ottengono le seguenti combinazioni di carico per le verifiche:

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

Tabella 9-14– Combinazioni di carico.

10. PROGETTO E VERIFICA DEL MURO DI SOSTEGNO “TIPO 0”

10.1 DATI DI INPUT



Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	2.00	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.11	(m)

Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	2.60	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0.40	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0.40	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	1.69	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	1.30	(m)

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

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 50 di 156

Dati geotecnici e carichi agenti – Condizione statica e sismica

Dati Geotecnici			valori caratteristici SLE	valori di progetto	
				STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	φ'	35.00	35.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m ³)	γ'	19.00	19.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	0.00	0.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	☒ drenate ☐ Non Drenate			
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c1'$	15.00	15.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\phi1'$	25.00	25.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m ³)	$\gamma1$	19.00	19.00
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m ³)	γd	19.00	19.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	5.00	
	Modulo di deformazione	(kN/m ²)	E	10000	

Dati Sismici	Accelerazione sismica	a_g/g	0.086	(-)	RIBALTAMENTO β_s 0.57 k_h 0.07353 k_v 0.03677
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_s	1.5	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1	(-)	
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_s	0.38	(-)	
	Coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.04902	(-)	
	Coefficiente sismico verticale	k_v	0.0245	(-)	
Muro libero di traslare o ruotare		☒ si ☐ no			

			STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	k_a 0.271	0.271	0.271
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	k_{as+} 0.297	0.297	0.310
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	k_{as-} 0.298	0.298	0.313
	Coeff. Di Spinta Passiva	k_p 2.464	2.464	2.464
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	k_{ps+} 2.387	2.387	2.349
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	k_{ps-} 2.383	2.383	2.340

Carichi Agenti			valori caratteristici SLE - sisma	valori di progetto	
				STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m ²)	qp	0.00	0.00
	Sovraccarico su zattera di monte	☒ si ☐ no			
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	fp	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	vp	3.50	3.50
Condizioni Statiche	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp	0.00	0.00
	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m ²)	q	20.00	29.00
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	0.00	0.00
Condizioni Sismiche	Coefficienti di combinazione	condizione frequente $\Psi1$	1.00	condizione quasi permanente $\Psi2$	0.00
	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m ²)	qs	4.00	
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	fs	0.00	
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	vs	0.00	
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kNm/m)	ms	0.00	

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 51 di 156

Dati geotecnici e carichi agenti – Condizione eccezionale con urto

Dati Geotecnici			valori caratteristici SLE	valori di progetto	
				STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	φ'	35.00	35.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m³)	γ'	19.00	19.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	0.00	0.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	☒ drenate ☐ Non Drenate			
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c1'$	15.00	15.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\phi1'$	25.00	25.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m³)	$\gamma1$	19.00	19.00
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m³)	γd	19.00	19.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata $H = 2*B$)	(m)	H_s	5.00	
	Modulo di deformazione	(kN/m²)	E	10000	

Dati Sismici	Accelerazione sismica	a_g/g	0.086	(-)	RIBALTAMENTO β_s 0.57 kh 0.07353 kv 0.03677
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_s	1.5	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1	(-)	
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_s	0.38	(-)	
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.04902	(-)	
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0245	(-)	
	Muro libero di traslare o ruotare	☒ si ☐ no			

			STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	k_a 0.271	0.271	0.271
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	k_{as+} 0.297	0.297	0.310
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	k_{as-} 0.298	0.298	0.313
	Coeff. Di Spinta Passiva	k_p 2.464	2.464	2.464
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	k_{ps+} 2.387	2.387	2.349
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	k_{ps-} 2.383	2.383	2.340

Carichi Agenti			valori caratteristici SLE - sisma	valori di progetto	
				STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m²)	q_p	0.00	0.00
	Sovraccarico su zattera di monte ☒ si ☐ no				
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	f_p	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	v_p	3.50	3.50
Condizioni Statiche	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	m_p	0.00	0.00
	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m²)	q	0.00	0.00
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	10.00	14.50
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	10.00	14.50
Condizioni Sismiche	Coefficienti di combinazione condizione frequente $\Psi1$		1.00	condizione quasi permanente $\Psi2$	0.00
	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m²)	q_s	0.00	
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	f_s	0.00	
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	v_s	0.00	
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kNm/m)	m_s	0.00	

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	52 di 156

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Calcestruzzo

classe cls

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

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

Tensioni limite (tensioni ammissibili)

condizioni statiche

σ _c	18	Mpa
σ _f	360	Mpa

condizioni sismiche

σ _c	18	Mpa
σ _f	360	Mpa

Valore limite di apertura delle fessure

Frequente	w1	0.2	mm
Quasi Permanente	w1	0.2	mm

Acciaio

tipo di acciaio

f _{yk} =	450	(MPa)
γ _s =	1.15	
f _{yd} = f _{yk} / γ _s	391.30	(MPa)

E _s =	210000	(MPa)
ε _{ys} =	0.19%	

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

c = 6.50 (cm)

Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

c_{min} = 3.50 (cm)

Interfero tra I e II strato

i_{I-II} = 5.00 (cm)

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

RS3U

LOTTO

40 D 29

CODIFICA

CL

DOCUMENTO

MU3000 001

REV.

A

FOGLIO

53 di 156

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) 20.00	20.00	20.00
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m) 2.75	2.75	2.75
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m) 26.00	26.00	26.00
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m) 48.75	48.75	48.75

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

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m) 64.22	64.22	64.22
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) 2.09	2.09	2.09
Sovr =	$qp \cdot (B4+B5)$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr	(kN/m) 66.31	66.31	66.31

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B4+B5)$	(kN/m) 36	52.2	
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B4+B5)$	(kN/m) 7.2		

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) 12.00	12.00	12.00
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 \cdot B4)$	(kNm/m) 2.30	2.30	2.30
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m) 33.80	33.80	33.80
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m) 48.10	48.10	48.10

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

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$	(kNm/m) 112.71	112.71	112.71
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) 1.83	1.83	1.83
Msovr =	$Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr	(kNm/m) 114.53	114.53	114.53

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m) 61.2	88.74	
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m) 12.24		

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	54 di 156

INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps _h =	Pm*kh	(kN/m)	2.39	3.58
Ps _v =	Pm*k _v	(kN/m)	1.19	1.79

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

Pts _h =	Pt*kh	(kN/m)	3.25	4.88
Pts _v =	Pt*k _v	(kN/m)	1.63	2.44

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

MPs1 _h =	kh*Pm1*(H2+H3/3)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 _h =	kh*Pm2*(H2 + H3/2)	(kNm/m)	1.37	2.06
MPs3 _h =	kh*Pm3*(H2+H3/3)	(kNm/m)	0.14	0.22
MPs4 _h =	kh*Pm4*(H2/2)	(kNm/m)	0.25	0.38
MPs5 _h =	-kh*Pm5*(Hd/2)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs _h =	MPs1+MPs2+MPs3+MPs4+MPs5	(kNm/m)	1.77	2.66

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

MPs1 _v =	k _v *Pm1*(B1+2/3*B2)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 _v =	k _v *Pm2*(B1+B2+B3/2)	(kNm/m)	0.29	0.44
MPs3 _v =	k _v *Pm3*(B1+B2+B3+B4/3)	(kNm/m)	0.06	0.08
MPs4 _v =	k _v *Pm4*(B/2)	(kNm/m)	0.83	1.24
MPs5 _v =	k _v *Pm5*(B-Bd/2)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs _v =	MPs1+MPs2+MPs3+MPs4+MPs5	(kNm/m)	1.18	1.77

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

MPts1 _h =	kh*Pt1*(H2 + H3/2)	(kNm/m)	4.41	6.61
MPts2 _h =	kh*Pt2*(H2 + H3 + H4/3)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts3 _h =	kh*Pt3*(H2+H3*2/3)	(kNm/m)	0.18	0.27
MPts _h =	MPts1 + MPts2 + MPts3	(kNm/m)	4.58	6.88

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

MPts1 _v =	k _v *Pt1*((H2 + H3/2) - (B - B5/2)*0.5)	(kNm/m)	2.76	4.14
MPts2 _v =	k _v *Pt2*((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3)*0.5)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts3 _v =	k _v *Pt3*((H2+H3*2/3)-(B1+B2+B3+2/3*B4)*0.5)	(kNm/m)	0.05	0.07
MPts _v =	MPts1 + MPts2 + MPts3	(kNm/m)	2.81	4.22

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

RS3U

LOTTO

40 D 29

CODIFICA

CL

DOCUMENTO

MU3000 001

REV.

A

FOGLIO

55 di 156

10.2.2 SPINTE IN CONDIZIONE STATICA

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$$

$$Sq_{perm} = q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$$

$$Sq_{acc} = q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta$$

$$Sqh_{perm} = Sq_{perm} \cdot \cos \delta$$

$$Sqh_{acc} = Sq_{acc} \cdot \cos \delta$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta$$

$$Sqv_{perm} = Sq_{perm} \cdot \sin \delta$$

$$Sqv_{acc} = Sq_{acc} \cdot \sin \delta$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H_d^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot H_d^2 \cdot k_p + (2 \cdot c_1 \cdot \gamma_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_d^2) \cdot H_d$$

SLE	STR/GEO	EQU/RIB
-----	---------	---------

(kN/m)	14.83	19.28	19.28
(kN/m)	0.00	0.00	0.00
(kN/m)	13.01	18.86	18.86

(kN/m)	14.83	19.28	19.28
(kN/m)	0.00	0.00	0.00
(kN/m)	13.01	18.86	18.86

(kN/m)	0.00	0.00	0.00
(kN/m)	0.00	0.00	0.00
(kN/m)	0.00	0.00	0.00

(kN/m)	0.00	0.00	0.00
--------	------	------	------

MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

$$MSt1 = Sth \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 3 - H_d)$$

$$MSt2 = Stv \cdot B$$

$$MSq1_{perm} = Sqh_{perm} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$$

$$MSq1_{acc} = Sqh_{acc} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$$

$$MSq2_{perm} = Sqv_{perm} \cdot B$$

$$MSq2_{acc} = Sqv_{acc} \cdot B$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot H_d^3 \cdot k_p / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot \gamma_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_d^2) \cdot H_d^2 / 2$$

SLE	STR/GEO	EQU/RIB
-----	---------	---------

(kNm/m)	11.86	15.42	15.42
(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
(kNm/m)	15.61	22.63	22.63
(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
(kNm/m)	0.00	0.00	0.00

MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$$Mfext1 = m_p + m$$

$$Mfext2 = (f_p + f) \cdot (H_3 + H_2)$$

$$Mfext3 = (v_p + v) \cdot (B_1 + B_2 + B_3 / 2)$$

(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
(kNm/m)	2.10	2.10	2.10

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 56 di 156

10.2.3 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica +

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Sst1 stat =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	14.83	14.83
Sst1 sism =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	1.82	1.82
Ssq1 perm=	$qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1 acc =	$qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	2.85	2.85

- Componente orizzontale condizione sismica +

Sst1h stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	14.83	14.83
Sst1h sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	1.82	1.82
Ssq1h perm=	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1h acc=	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	2.85	2.85

- 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	0.00
--	--------	------	------	------

MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica +

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
MSst1 stat =	$Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	(kNm/m)	11.86	11.86
MSst1 sism=	$Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	(kNm/m)	1.45	1.45
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)	3.42	3.42
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)	2.10

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 57 di 156

10.2.4 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$	(kN/m)	14.83	14.83	14.83
Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (1 - k_v) \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_{as}^- - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	1.09	1.09	1.69
Ssq1 perm = $q_p \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}^-$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1 acc = $q_s \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}^-$	(kN/m)	2.86	2.86	3.01

- Componente orizzontale condizione sismica -

Sst1h stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	14.83	14.83	14.83
Sst1h sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	1.09	1.09	1.69
Ssq1h perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1h acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	2.86	2.86	3.01

- Componente verticale condizione sismica -

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

- Spinta passiva sul dente

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

MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
MSst1 stat = $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d)/3 - H_d)$	(kNm/m)	11.86	11.86	11.86
MSst1 sism = $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d)/3 - H_d)$	(kNm/m)	0.88	0.88	1.35
MSst2 stat = $Sst1v \text{ stat} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSst2 sism = $Sst1v \text{ sism} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSsq1 = $Ssq1h \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d)/2 - H_d)$	(kNm/m)	3.44	3.44	3.61
MSsq2 = $Ssq1v \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSp = $\gamma_1' \cdot H_d^3 \cdot k_{ps}^+ / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot k_{ps}^{+0.5} + \gamma_1' \cdot k_{ps}^+ \cdot H_2') \cdot H_d^2 / 2$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00

MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1 = $mp + ms$	(kNm/m)	0.00
Mfext2 = $(fp + fs) \cdot (H_3 + H_2)$	(kNm/m)	0.00
Mfext3 = $(vp + vs) \cdot (B_1 + B_2 + B_3/2)$	(kNm/m)	2.10

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 58 di 156

10.2.5 SPINTE IN PRESENZA DI URTO

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)	14.83	19.28	19.28
$Sq_{perm} = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Sq_{acc} = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente orizzontale condizione statica

$Sth = St \cdot \cos \delta$	(kN/m)	14.83	19.28	19.28
$Sqh_{perm} = Sq_{perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Sqh_{acc} = Sq_{acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente verticale condizione statica

$Stv = St \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Sqv_{perm} = Sq_{perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Sqv_{acc} = Sq_{acc} \cdot \sin \delta$	(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
$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd)$	(kNm/m)	11.86	15.42	15.42
$MSt2 = Stv \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
$MSq1_{perm} = Sqh_{perm} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
$MSq1_{acc} = Sqh_{acc} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
$MSq2_{perm} = Sqv_{perm} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
$MSq2_{acc} = Sqv_{acc} \cdot B$	(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)	10.00	14.50	14.50
$Mfext2 = (fp + f) \cdot (H3 + H2)$	(kNm/m)	24.00	34.80	34.80
$Mfext3 = (vp+v) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	(kNm/m)	2.10	2.10	2.10

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 59 di 156

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	$= P_m + P_t + v + St_v + Sq_v \text{ perm} + Sq_v \text{ acc}$	118.56	(kN/m)	
Risultante forze orizzontali (T)				
T	$= S_{th} + S_{qh} + f$	38.14	(kN/m)	
Coefficiente di attrito alla base (f)				
f	$= \text{tg}\phi_1'$	0.47	(-)	
Fs scorr.	$(N \cdot f + S_p) / T$	1.45	>	1.1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
M_s	$= M_m + M_t + M_{fext3}$	164.73	(kNm/m)	
Momento ribaltante (Mr)				
M_r	$= M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp}$	38.05	(kNm/m)	
Fs ribaltamento	M_s / M_r	4.33	>	1.15

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
N	$= P_m + P_t + v + St_v + Sq_v (+ Sovr \text{ acc})$	118.56	170.76	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	$= S_{th} + S_{qh} + f - S_p$	38.14	38.14	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM	$= \Sigma M$	126.68	215.42	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M	$= X_c \cdot N - MM$	27.45	6.57	(kNm/m)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 60 di 156

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

Fondazione Nastriforme

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

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	15.00		(kPa)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d^* H_2'$	sovraccarico stabilizzante	11.40		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.23	0.04	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.14	2.52	(m)

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

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

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

$i_q = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.63	0.72	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.60	0.60	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi'))^{m+1}$		0.51	0.53	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	373.96	389.81	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	N_{min}	6.74	>	1.4
		N_{max}	5.76	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 61 di 156

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

Condizione sismica +

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)				
N	=	$P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$	121.38	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$	25.14	(kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)				
f	=	$tg\phi_1'$	0.47	(-)
F_s	=	$(N \cdot f + S_p) / T$	2.25	> 1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (M _s)				
M _s	=	$M_m + M_t + M_{fext3}$	164.73	(kNm/m)
Momento ribaltante (M _r)				
M _r	=	$M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$	21.20	(kNm/m)
Fr	=	M_s / M_r	7.77	> 1

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)		N _{min}	N _{max} 	
N	=	$P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (Sovr\ acc)$	121.38	128.58 (kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$	25.14	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM	=	ΣM	145.63	157.87 (kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M	=	$X_c \cdot N - MM$	12.16	9.28 (kNm/m)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 62 di 156

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

Fondazione Nastriforme

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

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	15.00		(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d^*H_2'$	sovraccarico stabilizzante	11.40		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.10	0.07	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.40	2.46	(m)

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

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

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

$iq = (1 - T / (N + B^*c' \cot \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.76	0.77	(-)
$ic = iq - (1 - iq) / (N_q - 1)$		0.74	0.75	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^*c' \cot \phi'))^{m+1}$		0.67	0.67	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	487.38	496.37	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	N_{min}	9.64	>	1.2
		N_{max}	9.48	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 63 di 156

Condizione sismica -

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 115.74 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 24.43 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' \quad 0.47 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad 2.21 \quad > \quad 1$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 164.73 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 32.35 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad 5.09 \quad > \quad 1$$

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 115.74 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 122.94 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 24.43 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \Sigma M \quad 138.21 \quad 150.45 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 12.25 \quad 9.37 \quad (\text{kNm/m})$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 64 di 156

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.	15.00		(kN/mq)
$\phi'1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d'H_2'$	sovraccarico stabilizzante	11.40		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.11	0.08	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.39	2.45	(m)

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

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

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cot \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.76	0.77	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.74	0.75	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cot \phi'))^{m+1}$		0.67	0.67	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	486.26	495.71	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	N_{min}	10.03	>	1.2
		N_{max}	9.87	>	

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 65 di 156

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

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)				
N	=	$P_m + P_t + v + St_v + Sq_v \text{ perm} + Sq_v \text{ acc}$	118.56	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$St_h + Sq_h + f$	38.14	(kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)				
f	=	$tg\phi_1'$	0.47	(-)
Fs scorr.		$(N \cdot f + Sp) / T$	1.45	> 1.1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
Ms	=	$M_m + M_t + M_{fext3}$	164.73	(kNm/m)
Momento ribaltante (Mr)				
Mr	=	$M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp}$	38.05	(kNm/m)
Fs ribaltamento		Ms / Mr	4.33	> 1.15

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax [↑]	
N	=	$P_m + P_t + v + St_v + Sq_v (+ Sovr \text{ acc})$	118.56	170.76 (kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$St_h + Sq_h + f - Sp$	38.14	38.14 (kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM	=	ΣM	126.68	215.42 (kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M	=	$X_c \cdot N - MM$	27.45	6.57 (kNm/m)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 66 di 156

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75.00		(kPa)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d^* H_2^*$	sovraccarico stabilizzante	11.40		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.23	0.04	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.14	2.52	(m)

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

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) e^{(\pi \tan \varphi' \tan \varphi')}$	(1 in cond. nd)	1.00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$	(2+ π in cond. nd)	5.14		(-)
$N_\gamma = 2^* (N_q + 1) \tan \varphi'$	(0 in cond. nd)	0.00		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B^* c' \cot \varphi'))^m$	(1 in cond. nd)	1.00	1.00	(-)
$i_c = (1 - m T / (B^* cu^* N_c))$		0.91	0.92	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \varphi'))^{m+1}$		- -		(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	361.33	366.79	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} B^* / N$	Nmin	6.51	>	1.4
		Nmax	5.42	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 67 di 156

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

Condizione sismica +

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 121.38 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 25.14 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \varphi_1' \quad 0.47 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad 2.25 > 1$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 164.73 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 21.20 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad 7.77 > 1$$

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (\text{Sovr acc}) \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 121.38 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 128.58 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 25.14 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 145.63 \quad 157.87 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 12.16 \quad 9.28 \quad (\text{kNm/m})$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 68 di 156

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75.00		(kN/mq)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	11.40		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.10	0.07	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.40	2.46	(m)

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

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\varphi') \cdot \tan(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	1.00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi')$	(2+ π in cond. nd)	5.14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\varphi')$	(0 in cond. nd)	0.00		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cot(\varphi')))^m$	(1 in cond. nd)	1.00	1.00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B^* \cdot cu \cdot N_c))$		0.95	0.95	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cot(\varphi')))^{m+1}$		--		(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	376.07	376.55	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	N_{min}	7.43	>	1.2
		N_{max}	7.19	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 69 di 156

Condizione sismica -

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 115.74 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 24.43 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' \quad 0.47 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad 2.21 \quad > \quad 1$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 164.73 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 32.35 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad 5.09 \quad > \quad 1$$

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 115.74 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 122.94 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 24.43 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \Sigma M \quad 138.21 \quad 150.45 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 12.25 \quad 9.37 \quad (\text{kNm/m})$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 70 di 156

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75.00		(kN/mq)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma \cdot d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	11.40		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.11	0.08	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.39	2.45	(m)

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

$N_q = \tan^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \phi' \cdot \tan \phi')}$	(1 in cond. nd)	1.00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \tan \phi'$	(2+ π in cond. nd)	5.14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$	(0 in cond. nd)	0.00		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cot \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	1.00	1.00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B^* \cdot cu \cdot N_c))$		0.95	0.95	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cot \phi'))^{m+1}$		- -		(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	376.56	377.06	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	7.77	>	1.2
		Nmax	7.51	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 71 di 156

10.3.5 VERIFICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – COND. ECCEZIONALI (URTO)

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)				
N	=	$P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv \text{ perm}} + S_{qv \text{ acc}}$	118.56	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{th} + S_{qh} + f$	33.78	(kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)				
f	=	$\tan \phi_1'$	0.47	(-)
Fs scorr.		$(N \cdot f + S_p) / T$	1.64	> 1.1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
Ms	=	$M_m + M_t + M_{fext3}$	164.73	(kNm/m)
Momento ribaltante (Mr)				
Mr	=	$M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp}$	64.72	(kNm/m)
Fs ribaltamento		Ms / Mr	2.55	> 1.15

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax [↑]	
N	=	$P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ S_{ovr \text{ acc}})$	118.56	118.56 (kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	=	$S_{th} + S_{qh} + f - S_p$	33.78	33.78 (kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM	=	ΣM	100.01	100.01 (kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M	=	$X_c \cdot N - MM$	54.12	54.12 (kNm/m)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 72 di 156

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

Fondazione Nastriforme

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

c'	coesione terreno di fondaz.	15.00		(kPa)
φ'	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d^* H_2^*$	sovraccarico stabilizzante	11.40		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.46	0.46	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	1.69	1.69	(m)

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

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

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

$i_q = (1 - T / (N + B^* c' \cot \varphi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.65	0.65	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.61	0.61	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \varphi'))^{m+1}$		0.52	0.52	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

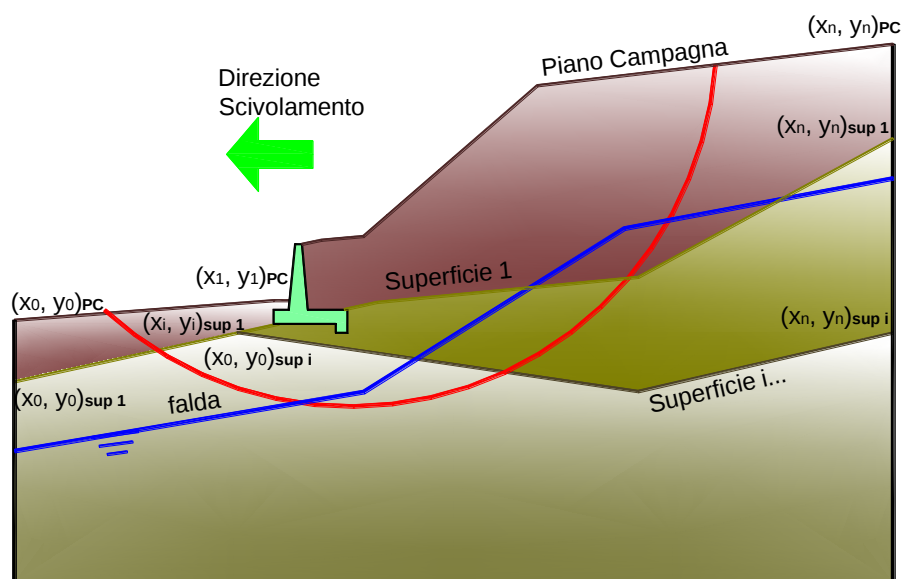
q_{lim}	(carico limite unitario)	359.32	359.32	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} B^* / N$	N_{min}	5.11	>	1.4
		N_{max}	5.11	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 73 di 156

10.3.6 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE

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



	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kPa]	Descrizione
materiale 1	20.00	38	0	Rilevato - riporto
materiale 2	19.00	25	15	Unità geotecnica 1 - a2
materiale 3	19.00	21	20	Unità geotecnica 1 - FYN4
materiale 4				

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

RS3U

LOTTO

40 D 29

CODIFICA

CL

DOCUMENTO

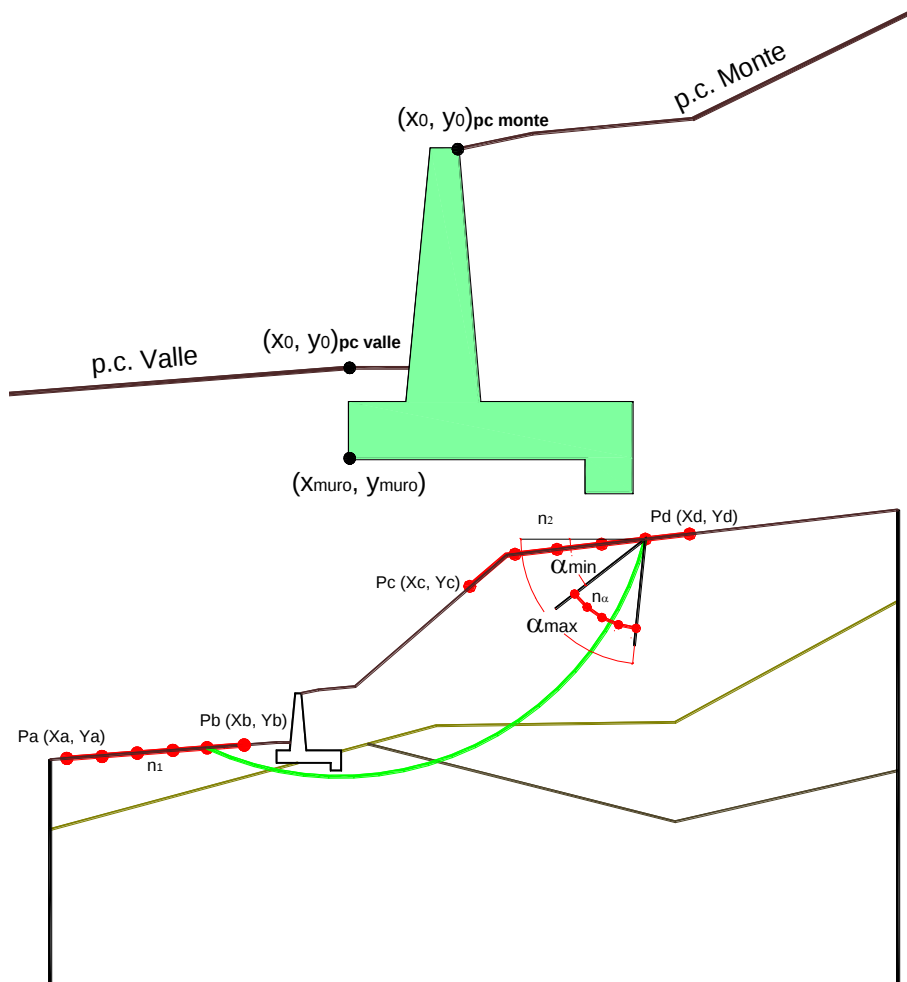
MU3000 001

REV.

A

FOGLIO

74 di 156



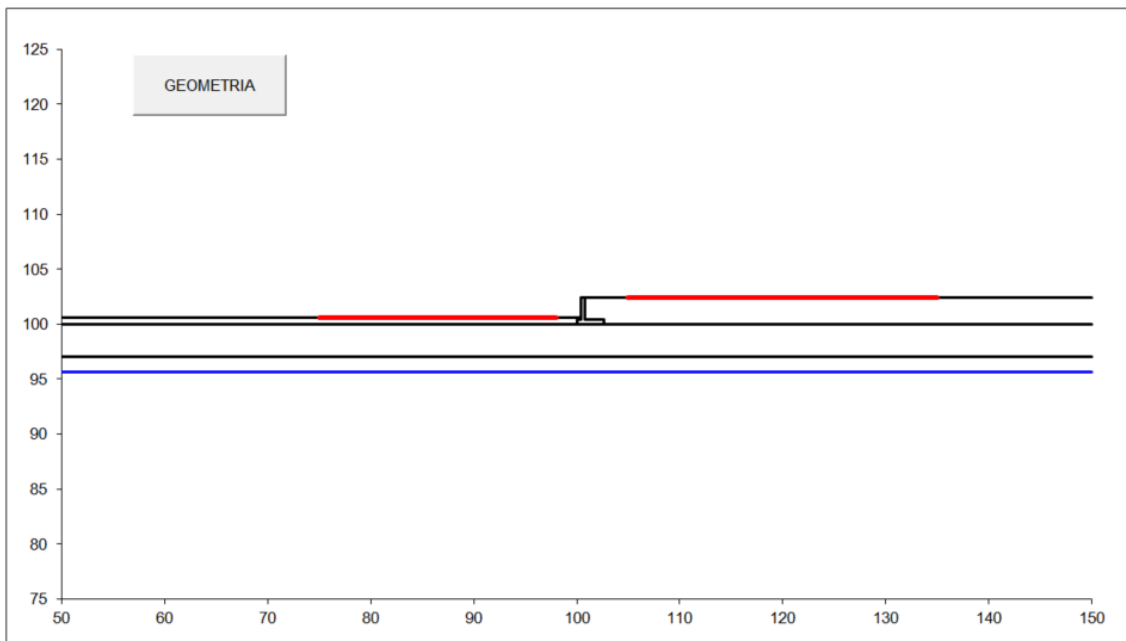
p.c. valle			p.c. monte			superficie 1			superficie 2			superficie 3			f.c.da		
materiale 1						☒ materiale 2			☒ materiale 3			☐ materiale 4			☒		
	x	y		x	y		x	y		x	y		x	y		x	y
0	100.000	100.600	0	100.800	102.400	0	50.000	100.000	0	50.000	97.000	0			0	50.000	95.600
1	50.000	100.600	1	150.000	102.400	1	150.000	100.000	1	150.000	97.000	1			1	150.000	95.600
2			2			2			2			2			2		
3			3			3			3			3			3		
4			4			4			4			4			4		
5			5			5			5			5			5		
6			6			6			6			6			6		
7			7			7			7			7			7		
8			8			8			8			8			8		
9			9			9			9			9			9		
10			10			10			10			10			10		

Sovraccarichi

	x_{in}	q_{in}	x_{fin}	q_{fin}	% sisma
sovraccarico 1 ☒	103.800	20	106.400	20	20%
sovraccarico 2 ☐					

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30
Relazione di calcolo

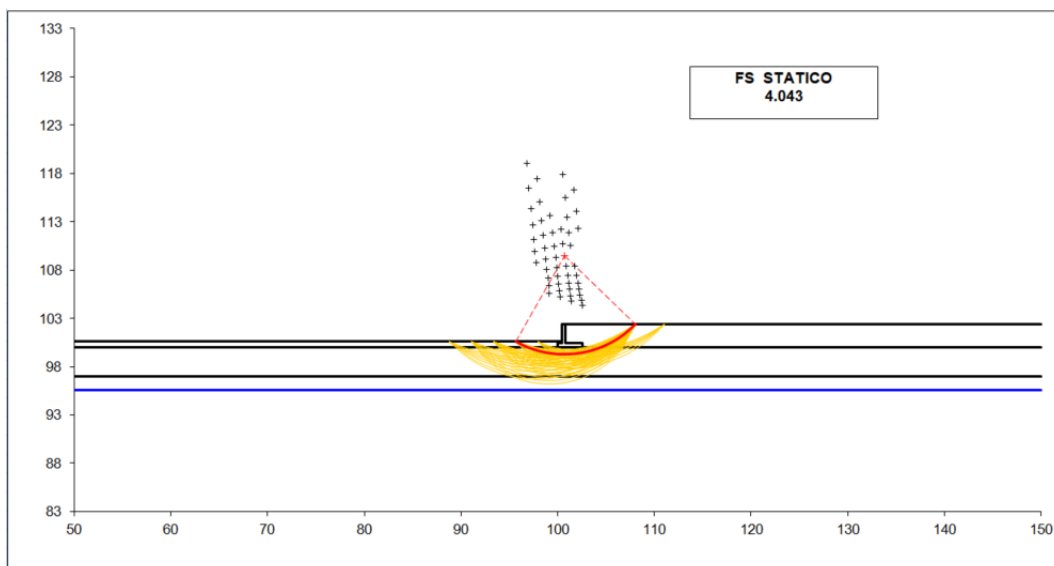
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	75 di 156



#strisce
30

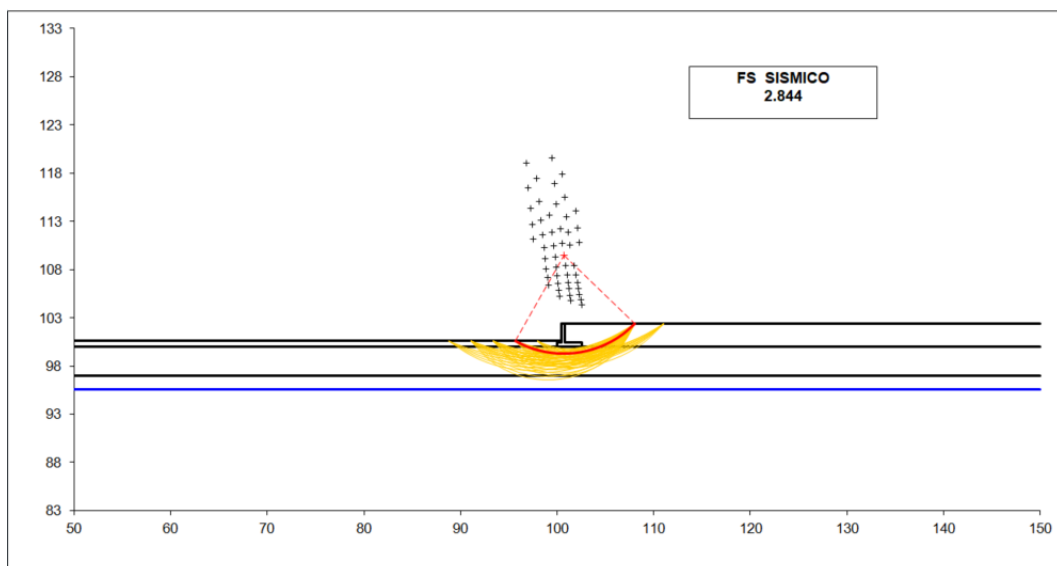
# Superfici Calcolate	FS Bishop	
1084	STATICO	4.043
	SISMICO	2.844

Condizioni statiche



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	76 di 156

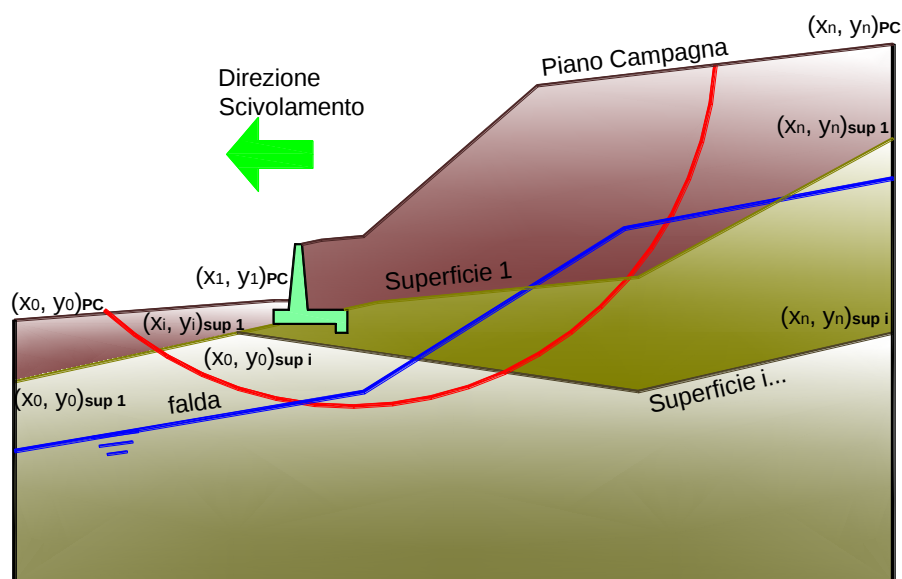
Condizioni sismiche



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 77 di 156

10.3.7 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. NON DRENATE

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



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

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

RS3U

LOTTO

40 D 29

CODIFICA

CL

DOCUMENTO

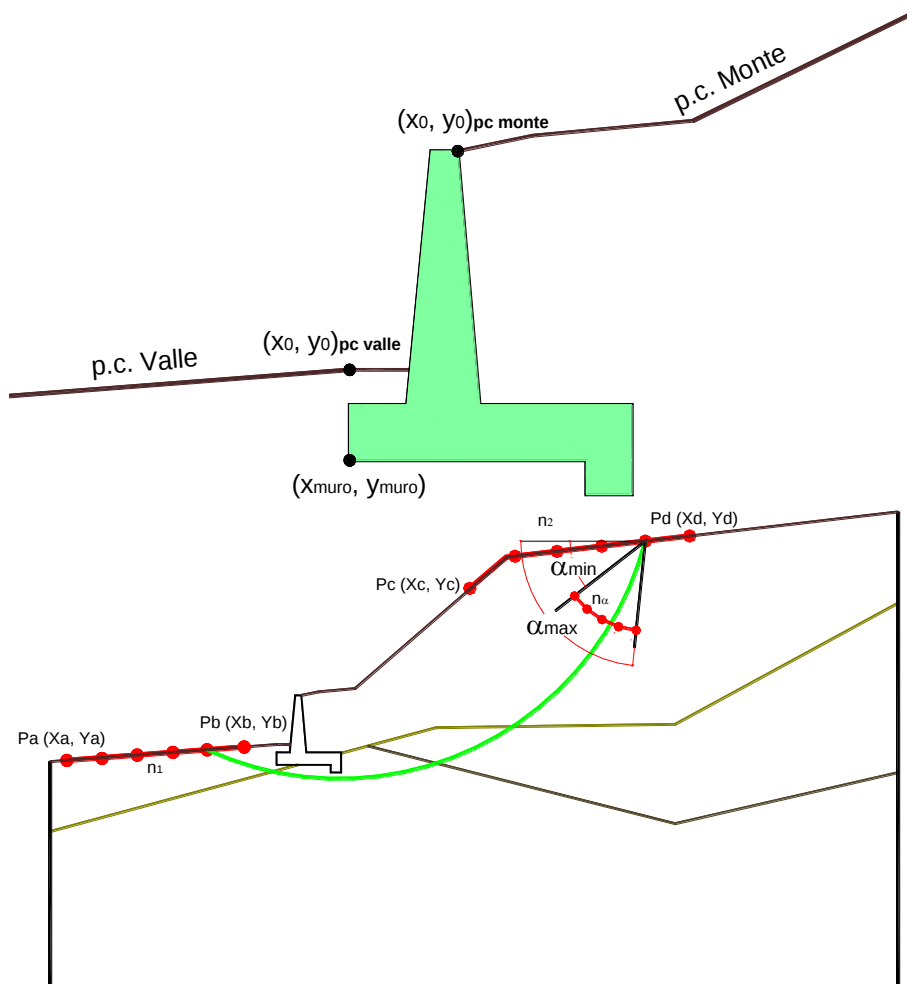
MU3000 001

REV.

A

FOGLIO

78 di 156

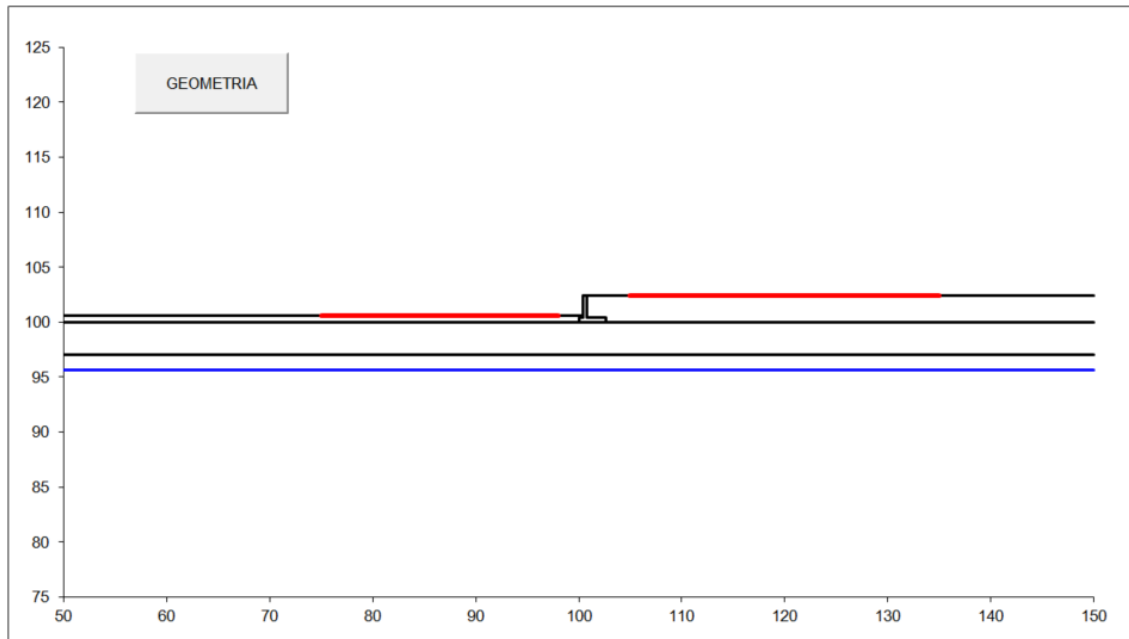


p.c. valle			p.c. monte			superficie 1		superficie 2		superficie 3		falda		
materiale 1						☒	materiale 2	☒	materiale 3	☐	materiale 4	☒		
	x	y		x	y		x	y	x	y	x		x	y
0	100.000	100.600	0	100.800	102.400	0	50.000	100.000	0	50.000	97.000	0	50.000	95.600
1	50.000	100.600	1	150.000	102.400	1	150.000	100.000	1	150.000	97.000	1	150.000	95.600
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	☒	103.800	20	106.400	20	20%
sovraccarico 2	☐					

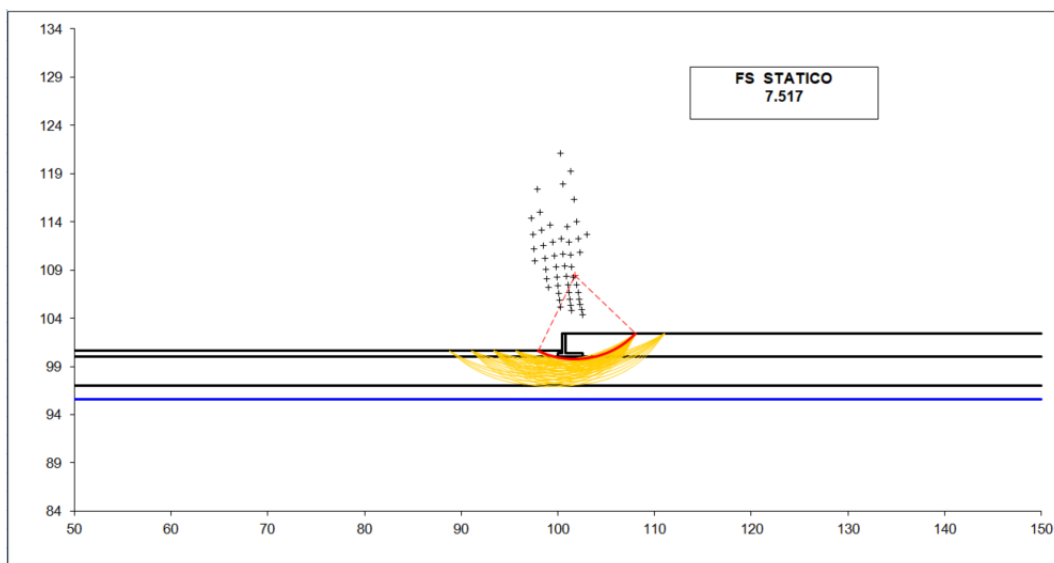
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 79 di 156



#strisce
30

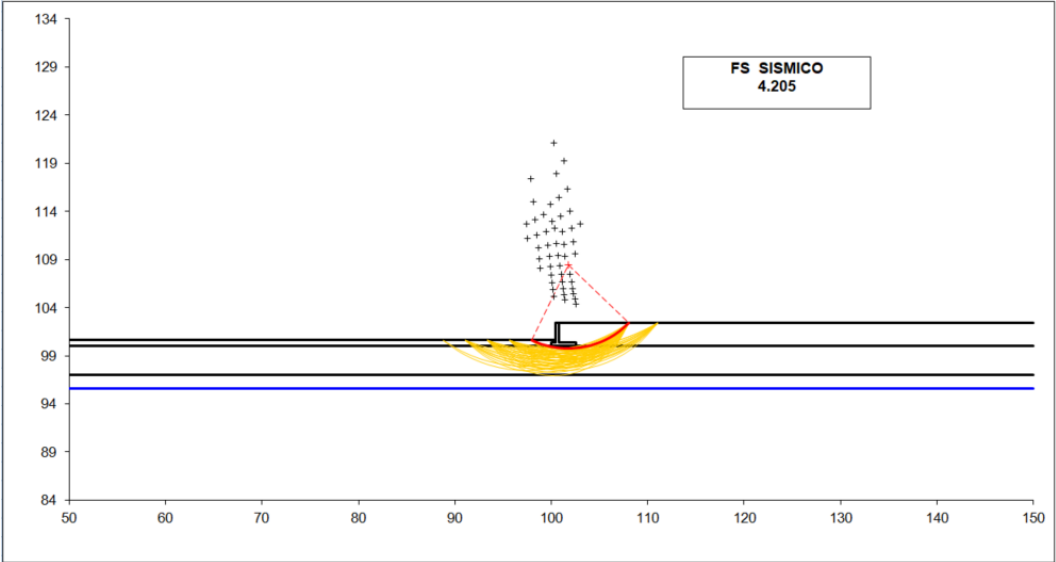
# Superfici Calcolate	FS Bishop	
1084	STATICO	7.517
	SISMICO	4.205

Condizioni statiche



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA’					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 80 di 156

Condizioni sismiche



PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	81 di 156

10.4 VERIFICHE STRUTTURALI

10.4.1 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Reazione del terreno

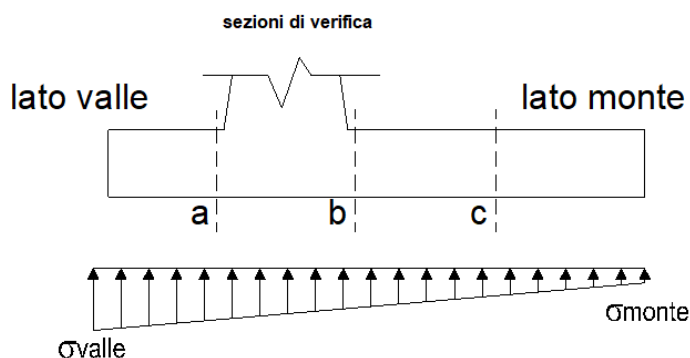
$$\sigma_{\text{valle}} = N / A + M / W_{\text{gg}}$$

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

$$A = 1.0 \cdot B = 2.60 \quad (\text{m}^2)$$

$$W_{\text{gg}} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 1.13 \quad (\text{m}^3)$$

caso	N	M	σ_{valle}	σ_{monte}
	[kN]	[kNm]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
statico	118.56	27.45	69.96	21.24
	170.76	6.57	71.51	59.85
sisma+	121.38	12.16	57.48	35.89
	128.58	9.28	57.69	41.21
sisma-	115.74	12.25	55.39	33.64
	122.94	9.37	55.60	38.97



Mensola Lato Valle

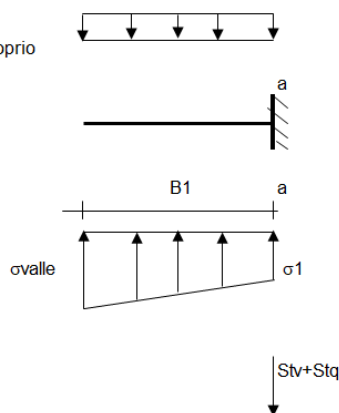
Peso Proprio. PP = 10.00 (kN/m)

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

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

caso	σ_{valle}	σ_1	M_a	V_a
	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kNm]	[kN]
statico	69.96	62.47	4.60	22.49
	71.51	69.71	4.87	24.24
sisma+	57.48	54.16	3.69	19.23
	57.69	55.16	3.75	19.23
sisma-	55.39	52.04	3.56	18.39
	55.60	53.04	3.58	18.40

Peso Proprio



Mensola Lato Monte

PP = 10.00 (kN/m²)

PD = 0.00 (kN/m)

peso proprio soletta fondazione
peso proprio dente

	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	38.00	67.00	42.00	(kN/m ²)
pvb	38.00	67.00	42.00	(kN/m ²)
pvc	38.00	67.00	42.00	(kN/m ²)

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

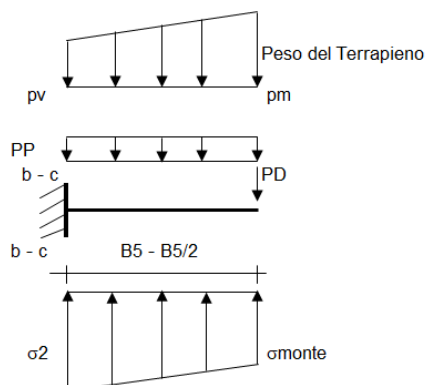
$$-(Stv + Sqv) \cdot B^2 - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + Msp + Sp \cdot H2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{\text{monte}} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B^2 / 2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_{\text{monte}}) \cdot (B^2 / 2)^2 - (pm - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 / 2)^2 +$$

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

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

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



PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

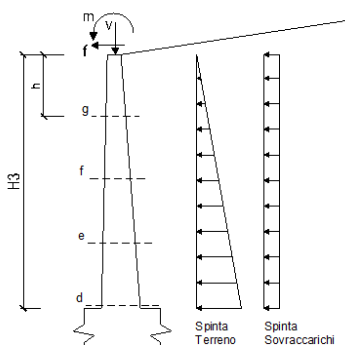
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	82 di 156

caso	σ_{monte} [kN/m ²]	σ_{2b} [kN/m ²]	M_b [kNm]	V_b [kN]	σ_{2c} [kN/m ²]	M_c [kNm]	V_c [kN]
statico	21.24	52.91	-23.14	-18.47	37.07	-7.67	-15.92
	59.85	67.43	-20.89	-22.59	63.64	-5.67	-12.89
sisma+	35.89	49.92	-12.30	-10.60	42.91	-3.91	-8.26
	41.21	51.93	-12.12	-11.33	46.57	-3.67	-7.93
sisma-	33.64	47.78	-12.10	-10.33	40.71	-3.86	-8.15
	38.97	49.78	-11.64	-10.73	44.37	-3.55	-7.65

CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo

$$\begin{aligned}
 M_{t \text{ stat}} &= \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3 \\
 M_{t \text{ sism}} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a \text{ orizz}}) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad o \cdot h/3 \\
 M_q &= \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz}} \cdot q \cdot h^2 \\
 M_{\text{ext}} &= m \cdot f \cdot h \\
 M_{\text{inerzia}} &= \Sigma P_m \cdot b_i \cdot kh \\
 N_{\text{ext}} &= v \\
 N_{\text{pp+inerzia}} &= \Sigma P_m \cdot (1 \pm kv) \\
 V_{t \text{ stat}} &= \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \\
 V_{t \text{ sism}} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a \text{ orizz}}) \cdot h^2 \\
 V_q &= K_{a \text{ orizz}} \cdot q \cdot h \\
 V_{\text{ext}} &= f \\
 V_{\text{inerzia}} &= \Sigma P_m \cdot kh
 \end{aligned}$$



condizione statica

sezione	h [m]	Mt [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M _{ext} [kNm/m]	M _{tot} [kNm/m]	N _{ext} [kN/m]	N _{pp} [kN/m]	N _{tot} [kN/m]
d-d	2.00	8.92	15.72	0.00	24.64	3.50	22.75	26.25
e-e	1.50	3.77	8.84	0.00	12.61	3.50	16.55	20.05
f-f	1.00	1.12	3.93	0.00	5.04	3.50	10.69	14.19
g-g	0.50	0.14	0.98	0.00	1.12	3.50	5.17	8.67

sezione	h [m]	Vt [kN/m]	Vq [kN/m]	V _{ext} [kN/m]	V _{tot} [kN/m]
d-d	2.00	13.39	15.72	0.00	29.10
e-e	1.50	7.53	11.79	0.00	19.32
f-f	1.00	3.35	7.86	0.00	11.21
g-g	0.50	0.84	3.93	0.00	4.77

condizione sismica +

sezione	h [m]	M _{t stat} [kNm/m]	M _{t sism} [kNm/m]	M _q [kNm/m]	M _{ext} [kNm/m]	M _{inerzia} [kNm/m]	M _{tot} [kNm/m]	N _{ext} [kN/m]	N _{pp+inerzia} [kN/m]	N _{tot} [kN/m]
d-d	2.00	6.87	0.84	2.38	0.00	1.07	11.15	3.50	23.31	26.81
e-e	1.50	2.90	0.36	1.34	0.00	0.59	5.18	3.50	16.95	20.45
f-f	1.00	0.86	0.11	0.59	0.00	0.26	1.81	3.50	10.95	14.45
g-g	0.50	0.11	0.01	0.15	0.00	0.06	0.33	3.50	5.30	8.80

sezione	h [m]	V _{t stat} [kN/m]	V _{t sism} [kN/m]	V _q [kN/m]	V _{ext} [kN/m]	V _{inerzia} [kN/m]	V _{tot} [kN/m]
d-d	2.00	10.30	1.26	2.38	0.00	1.12	15.05
e-e	1.50	5.79	0.71	1.78	0.00	0.81	9.10
f-f	1.00	2.57	0.32	1.19	0.00	0.52	4.60
g-g	0.50	0.64	0.08	0.59	0.00	0.25	1.57

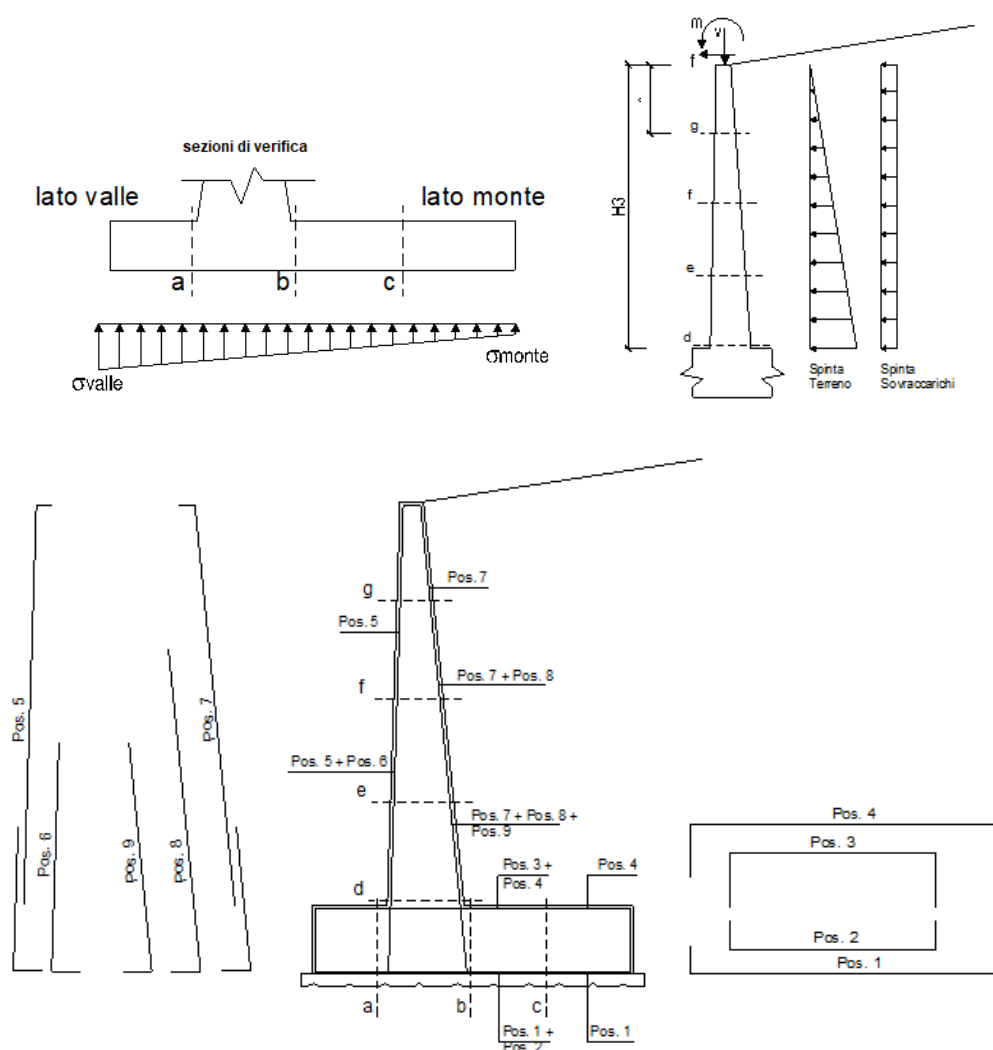
condizione sismica -

sezione	h [m]	M _{t stat} [kNm/m]	M _{t sism} [kNm/m]	M _q [kNm/m]	M _{ext} [kNm/m]	M _{inerzia} [kNm/m]	M _{tot} [kNm/m]	N _{ext} [kN/m]	N _{pp+inerzia} [kN/m]	N _{tot} [kN/m]
d-d	2.00	6.87	0.51	2.39	0.00	1.07	10.83	3.50	22.19	25.69
e-e	1.50	2.90	0.21	1.34	0.00	0.59	5.04	3.50	16.14	19.64
f-f	1.00	0.86	0.06	0.60	0.00	0.26	1.77	3.50	10.43	13.93
g-g	0.50	0.11	0.01	0.15	0.00	0.06	0.33	3.50	5.05	8.55

sezione	h [m]	V _{t stat} [kN/m]	V _{t sism} [kN/m]	V _q [kN/m]	V _{ext} [kN/m]	V _{inerzia} [kN/m]	V _{tot} [kN/m]
d-d	2.00	10.30	0.76	2.39	0.00	1.12	14.56
e-e	1.50	5.79	0.43	1.79	0.00	0.81	8.82
f-f	1.00	2.57	0.19	1.19	0.00	0.52	4.48
g-g	0.50	0.64	0.05	0.60	0.00	0.25	1.54

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 83 di 156

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 84 di 156

Muro $h = 2.00m$ su fondazione diretta

ARMATURE

pos	n°/ml	ϕ	II strato	pos	n°/ml	ϕ	II strato
1	5.0	16		5	5.0	16	
2	0.0	0	☐	6	0.0	0	☐
3	0.0	0	☐	7	5.0	20	
4	5.0	20		8	0.0	0	☐
				9	0.0	0	☐

Pertanto l'armatura secondaria sarà pari a:

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

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

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

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

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

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

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

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(kNm)
a - a	4.87	0.00	0.40	10.05	15.71	133.13
b - b	-23.14	0.00	0.40	15.71	10.05	194.79
c - c	-7.67	0.00	0.40	15.71	10.05	194.79
d - d	24.64	26.25	0.51	15.71	10.05	267.62
e - e	12.61	20.05	0.48	15.71	10.05	249.21
f - f	5.04	14.19	0.46	15.71	10.05	231.03
g - g	1.12	8.67	0.43	15.71	10.05	213.06

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

Sez.	V _{Ed}	h	V _{rd}	ø staffe	i orizz.	i vert.	θ	V _{Rsd}	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	24.24	0.40	152.18	10	20	20	21.8	582.58	Armatura a taglio non necessaria
b - b	22.59	0.40	172.48	10	20	20	21.8	582.58	Armatura a taglio non necessaria
c - c	15.92	0.40	172.48	10	20	20	21.8	582.58	Armatura a taglio non necessaria
d - d	29.10	0.51	199.74	10	20	20	21.8	772.74	Armatura a taglio non necessaria
e - e	19.32	0.48	193.20	10	20	20	21.8	725.20	Armatura a taglio non necessaria
f - f	11.21	0.46	186.56	10	20	20	21.8	677.66	Armatura a taglio non necessaria
g - g	4.77	0.43	179.81	10	20	20	21.8	630.12	Armatura a taglio non necessaria

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	85 di 156

10.4.3 VERIFICHE SLE TENSIONE

Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ_c	σ_f
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
a - a	4.11	0.00	0.40	10.05	15.71	0.29	13.40
b - b	-15.54	0.00	0.40	15.71	10.05	0.93	32.91
c - c	-5.04	0.00	0.40	15.71	10.05	0.30	10.68
d - d	17.70	26.25	0.51	15.71	10.05	0.68	19.93
e - e	8.99	20.05	0.48	15.71	10.05	0.38	9.17
f - f	3.57	14.19	0.46	15.71	10.05	0.17	2.47
g - g	0.78	8.67	0.43	15.71	10.05	0.04	-0.02

Condizione Sismica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ_c	σ_f
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
a - a	3.73	0.00	0.40	10.05	15.71	0.26	12.15
b - b	-12.30	0.00	0.40	15.71	10.05	0.73	26.04
c - c	-3.91	0.00	0.40	15.71	10.05	0.23	8.28
d - d	11.15	25.69	0.51	15.71	10.05	0.43	10.01
e - e	5.18	19.64	0.48	15.71	10.05	0.22	3.26
f - f	1.81	13.93	0.46	15.71	10.05	0.08	0.25
g - g	0.33	8.55	0.43	15.71	10.05	0.03	-

sez. compressa

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 86 di 156

10.4.4 VERIFICHE SLE FESSURAZIONE

condizione Frequente

Sez.	M	N	h	A _f	A' _f	σ _c	σ _f	w _k	w _{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)	(mm)
a - a	4.11	0.00	0.40	10.05	15.71	0.29	13.40	0.018	0.200
b - b	-15.54	0.00	0.40	15.71	10.05	0.93	32.91	0.037	0.200
c - c	-5.04	0.00	0.40	15.71	10.05	0.30	10.68	0.012	0.200
d - d	17.70	26.25	0.51	15.71	10.05	0.68	19.93	0.025	0.200
e - e	8.99	20.05	0.48	15.71	10.05	0.38	9.17	0.011	0.200
f - f	3.57	14.19	0.46	15.71	10.05	0.17	2.47	0.003	0.200
g - g	0.78	8.67	0.43	15.71	10.05	0.04	-0.02	0.000	0.200

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

condizione Quasi Permanente

Sez.	M	N	h	A _f	A' _f	σ _c	σ _f	w _k	w _{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)	(mm)
a - a	2.93	0.00	0.40	10.05	15.71	0.21	9.54	0.013	0.200
b - b	-4.33	0.00	0.40	15.71	10.05	0.26	9.17	0.010	0.200
c - c	-1.17	0.00	0.40	15.71	10.05	0.07	2.48	0.003	0.200
d - d	6.87	26.25	0.51	15.71	10.05	0.26	3.66	0.004	0.200
e - e	2.90	20.05	0.48	15.71	10.05	0.12	0.45	0.000	0.200
f - f	0.86	14.19	0.46	15.71	10.05	0.00	-	-	0.200
g - g	0.11	8.67	0.43	15.71	10.05	0.00	-	-	0.200

sez. compressa
sez. compressa

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 87 di 156

10.4.5 VERIFICHE STRUTTURALI IN PRESENZA DI URTO

Per le verifiche strutturali dei muri “tipo 0” si considera la verifica a pressoflessione della sezione di spiccato del paramento per la quale:

$M = [100 \cdot (H_p + 1)] / L_c = 66.67 \text{ kNm/m}$ momento allo spiccato

$T = 100 / L_c = 22.22 \text{ kN/m}$ taglio allo spiccato

in cui

$L_c = 0.5 \text{ m} + 2 H_p = 4.50 \text{ m}$ larghezza di ripartizione come descritto al par. 9.4

$H_p = 2.00 \text{ m}$ altezza max del paramento

<u>Carichi Agenti</u>					<u>valori caratteristici</u> SLE - sisma		<u>valori di progetto</u>	
							STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente		(kN/m ²)	qp	0.00		0.00	0.00
	Sovraccarico su zattera di monte	● si ○ no						
	Forza Orizzontale in Testa permanente		(kN/m)	fp	0.00		0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa permanente		(kN/m)	vp	3.50		3.50	3.50
	Momento in Testa permanente		(kNm/m)	mp	0.00		0.00	0.00
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche		(kN/m ²)	q	0.00		0.00	0.00
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche		(kN/m)	f	22.22		32.22	32.22
	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	66.67		96.67	96.67
	Coefficienti di combinazione	condizione frequente Ψ1		1.00	condizione quasi permanente Ψ2		0.00	0.00
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche		(kN/m ²)	qs	0.00			
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kN/m)	fs	0.00			
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kN/m)	vs	0.00			
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kNm/m)	ms	0.00			

Verifiche SLU

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(kNm)
a - a	6.30	0.00	0.40	10.05	15.71	133.06
b - b	-42.28	0.00	0.40	15.71	10.05	193.88
c - c	-14.26	0.00	0.40	15.71	10.05	193.88
d - d	52.42	26.25	0.51	15.71	10.05	266.67
e - e	40.02	20.05	0.48	15.71	10.05	248.27
f - f	30.12	14.19	0.46	15.71	10.05	230.09
g - g	21.89	8.67	0.43	15.71	10.05	212.13

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

Sez.	V _{Ed}	h	V _{rd}	ø staffe	i orizz.	i vert.	θ	V _{Rsd}	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	30.52	0.40	151.57	10	20	20	21.8	579.12	Armatura a taglio non necessaria
b - b	32.50	0.40	172.02	10	20	20	21.8	579.12	Armatura a taglio non necessaria
c - c	29.42	0.40	172.02	10	20	20	21.8	579.12	Armatura a taglio non necessaria
d - d	27.89	0.51	199.32	10	20	20	21.8	769.28	Armatura a taglio non necessaria
e - e	22.03	0.48	192.77	10	20	20	21.8	721.74	Armatura a taglio non necessaria
f - f	17.85	0.46	186.12	10	20	20	21.8	674.20	Armatura a taglio non necessaria
g - g	15.34	0.43	179.36	10	20	20	21.8	626.66	Armatura a taglio non necessaria

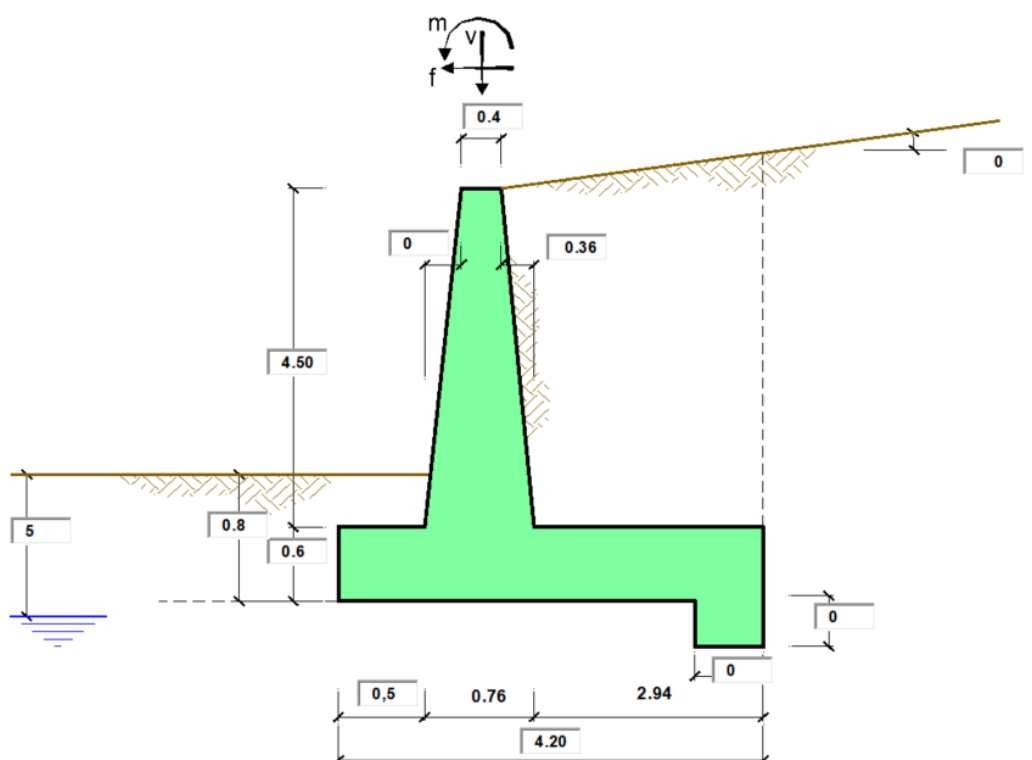
	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	88 di 156

10.4.6 CALCOLO INCIDENZA ARMATURA

	TIPO 1	
MU15B	MURO a mensola MU15B-TIPO0	
	PARTE D'OPERA	INCIDENZA (Kg/mc)
	Elevazione	70
	Fondazione	70

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

11.1 DATI DI INPUT



Geometria del Muro

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

Geometria della Fondazione

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 90 di 156

Dati geotecnici e carichi agenti – Condizione statica e sismica

Dati Geotecnici			valori caratteristici SLE	valori di progetto	
				STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	φ'	35.00	35.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m³)	γ'	19.00	19.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	0.00	0.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	☒ drenate ☐ Non Drenate			
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c1'$	15.00	15.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\phi1'$	25.00	25.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m³)	$\gamma1$	19.00	19.00
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m³)	γd	19.00	19.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	8.00	
	Modulo di deformazione	(kN/m²)	E	10000	

Dati Sismici	Accelerazione sismica	a_g/g	0.086	(-)	RIBALTAMENTO β_s 0.57 k_h 0.07353 k_v 0.03677
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_s	1.5	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1	(-)	
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_s	0.38	(-)	
	Coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.04902	(-)	
	Coefficiente sismico verticale	k_v	0.0245	(-)	
	Muro libero di traslare o ruotare	☒ si ☐ no			

			STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	k_a 0.271	0.271	0.271
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	k_{as+} 0.297	0.297	0.310
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	k_{as-} 0.298	0.298	0.313
	Coeff. Di Spinta Passiva	k_p 2.464	2.464	2.464
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	k_{ps+} 2.387	2.387	2.349
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	k_{ps-} 2.383	2.383	2.340

Carichi Agenti			valori caratteristici SLE - sisma	valori di progetto	
				STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m²)	qp	0.00	0.00
	Sovraccarico su zattera di monte ☒ si ☐ no				
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	fp	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	vp	3.50	3.50
Condizioni Statiche	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp	0.00	0.00
	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m²)	q	20.00	29.00
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	0.00	0.00
Condizioni Sismiche	Coefficienti di combinazione condizione frequente $\Psi1$		1.00	condizione quasi permanente $\Psi2$	0.00
	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m²)	qs	4.00	
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	fs	0.00	
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	vs	0.00	
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kNm/m)	ms	0.00	

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 91 di 156

Dati geotecnici e carichi agenti – Condizione eccezionale con urto

Dati Geotecnici			valori caratteristici SLE	valori di progetto	
				STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	φ'	35.00	35.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m³)	γ'	19.00	19.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	0.00	0.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	☒ drenate ☐ Non Drenate			
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c1'$	15.00	15.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\phi1'$	25.00	25.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m³)	$\gamma1$	19.00	19.00
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m³)	γd	19.00	19.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata $H = 2*B$)	(m)	H_s	8.00	
	Modulo di deformazione	(kN/m²)	E	10000	

Dati Sismici	Accelerazione sismica	a_g/g	0.086	(-)	RIBALTAMENTO β_s 0.57 k_h 0.07353 k_v 0.03677	
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_s	1.5	(-)		
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1	(-)		
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_s	0.38	(-)		
	Coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.04902	(-)		
	Coefficiente sismico verticale	k_v	0.0245	(-)		
	Muro libero di traslare o ruotare	☒ si ☐ no				

			STR/GEO	RIB
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	k_a 0.271	0.271	0.271
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	k_{as+} 0.297	0.297	0.310
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	k_{as-} 0.298	0.298	0.313
	Coeff. Di Spinta Passiva	k_p 2.464	2.464	2.464
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	k_{ps+} 2.387	2.387	2.349
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	k_{ps-} 2.383	2.383	2.340

Carichi Agenti			valori caratteristici SLE - sisma	valori di progetto	
				STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m²)	q_p	0.00	0.00
	Sovraccarico su zattera di monte ☒ si ☐ no				
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	f_p	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	v_p	3.50	3.50
Condizioni Statiche	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	m_p	0.00	0.00
	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m²)	q	0.00	0.00
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	10.00	14.50
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	10.00	14.50
Condizioni Sismiche	Coefficienti di combinazione condizione frequente $\Psi1$		1.00	condizione quasi permanente $\Psi2$	0.00
	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m²)	q_s	0.00	
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	f_s	0.00	
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	v_s	0.00	
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kNm/m)	m_s	0.00	

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	92 di 156

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Calcestruzzo

classe cls

Rck	37	(MPa)
fck	30	(MPa)
fcm	38	(MPa)
Ec	32837	(MPa)
α_{cc}	0.85	
γ_c	1.50	

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

Tensioni limite (tensioni ammissibili)

condizioni statiche

σ_c	18	Mpa
σ_f	360	Mpa

condizioni sismiche

σ_c	18	Mpa
σ_f	360	Mpa

Valore limite di apertura delle fessure

Frequente	w1	0.2	mm
Quasi Permanente	w1	0.2	mm

Acciaio

tipo di acciaio

$f_{yk} =$	450	(MPa)
$\gamma_s =$	1.15	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / \gamma_E =$	391.30	(MPa)

$E_s =$	210000	(MPa)
$\epsilon_{ys} =$	0.19%	

coefficiente omogeneizzazione acciaio $n = 15$

Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

$c = 7.00$ (cm)

Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

$c_{min} = 4.00$ (cm)

Interfero tra I e II strato

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 93 di 156

11.1 CALCOLO DELLE AZIONI

11.1.1 FORZE VERTICALI E INERZIALI

FORZE VERTICALI

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Peso del Muro (Pm)				
Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m) 45.00	45.00	45.00
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m) 20.25	20.25	20.25
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m) 63.00	63.00	63.00
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m) 128.25	128.25	128.25
- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)				
Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m) 251.37	251.37	251.37
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) 15.39	15.39	15.39
Sovr =	$qp \cdot (B4+B5)$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr	(kN/m) 266.76	266.76	266.76
- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro				
Sovr acc. Stat	$q \cdot (B4+B5)$	(kN/m) 66	95.7	
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B4+B5)$	(kN/m) 13.2		

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) 31.50	31.50	31.50
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 \cdot B4)$	(kNm/m) 20.66	20.66	20.66
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m) 132.30	132.30	132.30
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m) 184.46	184.46	184.46
- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro				
Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$	(kNm/m) 686.24	686.24	686.24
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) 17.54	17.54	17.54
Msovr =	$Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr	(kNm/m) 703.78	703.78	703.78
- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro				
Sovr acc. Stat	$q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m) 168.3	244.035	
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m) 33.66		

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	94 di 156

INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps _h =	Pm*kh	(kN/m)	6.29	9.43
Ps _v =	Pm*k _v	(kN/m)	3.14	4.72

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

Pts _h =	Pt*kh	(kN/m)	13.08	19.61
Pts _v =	Pt*k _v	(kN/m)	6.54	9.81

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

MPs1 h=	kh*Pm1*(H2+H3/3)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 h=	kh*Pm2*(H2 + H3/2)	(kNm/m)	6.29	9.43
MPs3 h=	kh*Pm3*(H2+H3/3)	(kNm/m)	2.08	3.13
MPs4 h=	kh*Pm4*(H2/2)	(kNm/m)	0.93	1.39
MPs5 h=	-kh*Pm5*(Hd/2)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs h=	MPs1+MPs2+MPs3+MPs4+MPs5	(kNm/m)	9.30	13.95

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

MPs1 v=	k _v *Pm1*(B1+2/3*B2)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 v=	k _v *Pm2*(B1+B2+B3/2)	(kNm/m)	0.77	1.16
MPs3 v=	k _v *Pm3*(B1+B2+B3+B4/3)	(kNm/m)	0.51	0.76
MPs4 v=	k _v *Pm4*(B/2)	(kNm/m)	3.24	4.86
MPs5 v=	k _v *Pm5*(B-Bd/2)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs v=	MPs1+MPs2+MPs3+MPs4+MPs5	(kNm/m)	4.52	6.78

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

MPts1 h=	kh*Pt1*(H2 + H3/2)	(kNm/m)	35.12	52.68
MPts2 h=	kh*Pt2*(H2 + H3 + H4/3)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts3 h=	kh*Pt3*(H2+H3*2/3)	(kNm/m)	2.72	4.07
MPts h=	MPts1 + MPts2 + MPts3	(kNm/m)	37.83	56.75

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

MPts1 v=	k _v *Pt1*((H2 + H3/2) - (B - B5/2)*0.5)	(kNm/m)	16.82	25.23
MPts2 v=	k _v *Pt2*((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3)*0.5)	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts3 v=	k _v *Pt3*((H2+H3*2/3)-(B1+B2+B3+2/3*B4)*0.5)	(kNm/m)	0.54	0.81
MPts v=	MPts1 + MPts2 + MPts3	(kNm/m)	17.36	26.04

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 95 di 156

11.1.2 SPINTE IN CONDIZIONE STATICA

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
St =	$0,5 \cdot \gamma \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$	(kN/m) 66.96	87.05	87.05
Sq perm =	$q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
Sq acc =	$q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$	(kN/m) 27.64	40.08	40.08

- Componente orizzontale condizione statica

Sth =	$St \cdot \cos \delta$	(kN/m) 66.96	87.05	87.05
Sqh perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m) 0.00	0.00	0.00
Sqh acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m) 27.64	40.08	40.08

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

MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
MSt1 =	$Sth \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 3 - H_d)$	(kNm/m) 113.83	147.98	147.98
MSt2 =	$Stv \cdot B$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSq1 perm =	$Sqh \text{ perm} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSq1 acc =	$Sqh \text{ acc} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$	(kNm/m) 70.48	102.20	102.20
MSq2 perm =	$Sqv \text{ perm} \cdot B$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSq2 acc =	$Sqv \text{ acc} \cdot B$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00
MSp =	$\gamma_1 \cdot H_d^3 \cdot k_p / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot \gamma_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2') \cdot H_d^2 / 2$	(kNm/m) 0.00	0.00	0.00

MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 96 di 156

11.1.3 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA +

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica +

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Sst1 stat =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	66.96	66.96
Sst1 sism =	$0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	8.21	12.51
Ssq1 perm=	$qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1 acc =	$qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	6.06	6.33

- Componente orizzontale condizione sismica +

Sst1h stat =	$Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	66.96	66.96
Sst1h sism =	$Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	8.21	12.51
Ssq1h perm=	$Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1h acc=	$Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	6.06	6.33

- 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	0.00
--	--------	------	------	------

MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica +

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
MSst1 stat =	$Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	(kNm/m)	113.83	113.83
MSst1 sism=	$Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	(kNm/m)	13.95	21.27
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)	15.45	16.14
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)	2.45

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 97 di 156

11.1.4 SPINTE IN CONDIZIONE SISMICA -

SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$	(kN/m)	66.96	66.96	66.96
Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (1 - k_v) \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_{as}^- - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	4.94	4.94	7.64
Ssq1 perm = $q_p \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}^-$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1 acc = $q_s \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}^-$	(kN/m)	6.09	6.09	6.39

- Componente orizzontale condizione sismica -

Sst1h stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	66.96	66.96	66.96
Sst1h sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	4.94	4.94	7.64
Ssq1h perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1h acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	6.09	6.09	6.39

- Componente verticale condizione sismica -

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

- Spinta passiva sul dente

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

MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
MSst1 stat = $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d)/3 - H_d)$	(kNm/m)	113.83	113.83	113.83
MSst1 sism = $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d)/3 - H_d)$	(kNm/m)	8.40	8.40	12.98
MSst2 stat = $Sst1v \text{ stat} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSst2 sism = $Sst1v \text{ sism} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSsq1 = $Ssq1h \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d)/2 - H_d)$	(kNm/m)	15.52	15.52	16.30
MSsq2 = $Ssq1v \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSp = $\gamma_1' \cdot H_d^3 \cdot k_{ps}^+ / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot k_{ps}^{+0.5} + \gamma_1' \cdot k_{ps}^+ \cdot H_2') \cdot H_d^2 / 2$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00

MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1 = $mp + ms$	(kNm/m)	0.00
Mfext2 = $(fp + fs) \cdot (H_3 + H_2)$	(kNm/m)	0.00
Mfext3 = $(vp + vs) \cdot (B_1 + B_2 + B_3/2)$	(kNm/m)	2.45

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 98 di 156

11.1.5 SPINTE IN PRESENZA DI URTO

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)	66.96	87.05	87.05
$Sq_{perm} = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Sq_{acc} = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente orizzontale condizione statica

$Sth = St \cdot \cos \delta$	(kN/m)	66.96	87.05	87.05
$Sqh_{perm} = Sq_{perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Sqh_{acc} = Sq_{acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente verticale condizione statica

$Stv = St \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Sqv_{perm} = Sq_{perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Sqv_{acc} = Sq_{acc} \cdot \sin \delta$	(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
$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd)$	(kNm/m)	113.83	147.98	147.98
$MSt2 = Stv \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
$MSq1_{perm} = Sqh_{perm} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
$MSq1_{acc} = Sqh_{acc} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
$MSq2_{perm} = Sqv_{perm} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
$MSq2_{acc} = Sqv_{acc} \cdot B$	(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)	10.00	14.50	14.50
$Mfext2 = (fp + f) \cdot (H3 + H2)$	(kNm/m)	51.00	73.95	73.95
$Mfext3 = (vp+v) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	(kNm/m)	2.45	2.45	2.45

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	99 di 156

11.2 VERIFICHE GEOTECNICHE

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

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv \text{ perm}} + S_{qv \text{ acc}} \quad 398.51 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f \quad 127.13 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \varphi_1' \quad 0.47 \quad (-)$$

$$F_s \text{ scorr.} \quad (N \cdot f + S_p) / T \quad 1.46 \quad > \quad 1.1$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 890.69 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} \quad 250.18 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_s \text{ ribaltamento} \quad M_s / M_r \quad 3.56 \quad > \quad 1.15$$

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{ Sovr acc}) \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 398.51 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 494.21 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p \quad 127.13 \quad 127.13 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 640.50 \quad 884.54 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 196.37 \quad 153.30 \quad (\text{kNm/m})$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 100 di 156

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.	15.00		(kPa)
ϕ_1'	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma \cdot d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	15.20		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.49	0.31	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.21	3.58	(m)

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

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

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot(\phi')))^m$	(1 in cond. nd)	0.56	0.63	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.51	0.51	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot(\phi')))^{m+1}$		0.42	0.43	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	387.72	402.09	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	N_{min}	3.13	>	1.4
		N_{max}	2.91	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA’					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 101 di 156

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

Condizione sismica +

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)			
N	$=$	$P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$	408.19 (kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)			
T	$=$	$S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$	100.59 (kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)			
f	$=$	$\tan \varphi 1'$	0.47 (-)
F_s	$=$	$(N \cdot f + S_p) / T$	1.89 > 1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)			
M_s	$=$	$M_m + M_t + M_{fext3}$	890.69 (kNm/m)
Momento ribaltante (Mr)			
M_r	$=$	$M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$	189.11 (kNm/m)
Fr	$=$	M_s / M_r	4.71 > 1

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)			
N	$=$	$P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (Sovr\ acc)$	N_{min} 408.19 N_{max} 421.39 (kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)			
T	$=$	$S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$	100.59 (kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)			
MM	$=$	ΣM	722.21 755.87 (kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)			
M	$=$	$X_c \cdot N - MM$	134.99 129.05 (kNm/m)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 102 di 156

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.	15.00		(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H2'$	sovraccarico stabilizzante	15.20		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.33	0.31	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.54	3.59	(m)

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

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

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cotg \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.65	0.66	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.62	0.63	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cotg \phi'))^{m+1}$		0.53	0.53	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	489.37	496.78	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	N_{min}	4.24	>	1.2
		N_{max}	4.23	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 103 di 156

Condizione sismica -

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 388.83 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 97.35 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \varphi_1' \quad 0.47 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad 1.86 > 1$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 890.69 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 246.64 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad 3.61 > 1$$

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 388.83 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 402.03 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 97.35 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 683.93 \quad 717.59 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 132.61 \quad 126.67 \quad (\text{kNm/m})$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 104 di 156

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.	15.00		(kN/mq)
$\phi'1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	15.20		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.34	0.32	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.52	3.57	(m)

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

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

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot(\phi')))^m$	(1 in cond. nd)	0.65	0.66	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.61	0.62	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot(\phi')))^{m+1}$		0.52	0.53	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	486.36	494.20	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	N_{min}	4.40	>	1.2
		N_{max}	4.39	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 105 di 156

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

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv \text{ perm}} + S_{qv \text{ acc}} \quad 398.51 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f \quad 127.13 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' \quad 0.47 \quad (-)$$

$$F_s \text{ scorr.} \quad (N \cdot f + S_p) / T \quad 1.46 \quad > \quad 1.1$$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 890.69 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} \quad 250.18 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_s \text{ ribaltamento} \quad M_s / M_r \quad 3.56 \quad > \quad 1.15$$

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{ Sovr acc}) \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 398.51 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 494.21 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p \quad 127.13 \quad 127.13 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 640.50 \quad 884.54 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 196.37 \quad 153.30 \quad (\text{kNm/m})$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 106 di 156

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75.00		(kPa)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma \cdot d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	15.20		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.49	0.31	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.21	3.58	(m)

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

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\varphi') \cdot \tan(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	1.00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi')$	(2+ π in cond. nd)	5.14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\varphi')$	(0 in cond. nd)	0.00		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot(\varphi')))^m$	(1 in cond. nd)	1.00	1.00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B \cdot cu \cdot N_c))$		0.79	0.82	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot(\varphi')))^{m+1}$		- -		(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	321.72	329.79	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	F = $q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	2.60	>	1.4
		Nmax	2.39	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA’					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 107 di 156

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

Condizione sismica +

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)		
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$	408.19	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)		
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$	100.59	(kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)		
$f = \tan \varphi 1'$	0.47	(-)
$F_s = (N \cdot f + S_p) / T$	1.89	> 1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)		
$M_s = M_m + M_t + M_{fext3}$	890.69	(kNm/m)
Momento ribaltante (Mr)		
$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$	189.11	(kNm/m)
$Fr = M_s / M_r$	4.71	> 1

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)		
$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (Sovr\ acc)$	Nmin 408.19	Nmax 421.39 (kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)		
$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$	100.59	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)		
$MM = \sum M$	722.21	755.87 (kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)		
$M = X_c \cdot N - MM$	134.99	129.05 (kNm/m)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 108 di 156

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75.00		(kN/mq)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	15.20		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.33	0.31	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.54	3.59	(m)

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

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\varphi') \cdot \tan(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	1.00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi')$	(2+ π in cond. nd)	5.14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\varphi')$	(0 in cond. nd)	0.00		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m$	(1 in cond. nd)	1.00	1.00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B^* \cdot cu \cdot N_c))$		0.85	0.85	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^{m+1}$		- -		(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	343.97	344.74	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	F = $q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	2.98	>	1.2
		Nmax	2.93	>	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 109 di 156

Condizione sismica -

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)			
N	$= P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$	388.83	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)			
T	$= S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh}$	97.35	(kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)			
f	$= \tan \phi_1'$	0.47	(-)
F_s	$= (N \cdot f + S_p) / T$	1.86	> 1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)			
M_s	$= M_m + M_t + M_{fext3}$	890.69	(kNm/m)
Momento ribaltante (Mr)			
M_r	$= M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts}$	246.64	(kNm/m)
Fr	$= M_s / M_r$	3.61	> 1

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
N	$= P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$	388.83	402.03	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	$= S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$	97.35		(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM	$= \sum M$	683.93	717.59	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M	$= X_c \cdot N - MM$	132.61	126.67	(kNm/m)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 110 di 156

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

Fondazione Nastriforme

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

cu	res. al taglio nd terreno di fondaz.	75.00		(kN/mq)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	15.20		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.34	0.32	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.52	3.57	(m)

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

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\varphi') \cdot \tan(\varphi'))}$	(1 in cond. nd)	1.00		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi')$	(2+ π in cond. nd)	5.14		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\varphi')$	(0 in cond. nd)	0.00		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m$	(1 in cond. nd)	1.00	1.00	(-)
$i_c = (1 - m \cdot T / (B^* \cdot cu \cdot N_c))$		0.86	0.86	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^{m+1}$		- -		(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

q_{lim}	(carico limite unitario)	345.47	346.28	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite		$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	3.13	>	
			Nmax	3.07	>	1.2

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 111 di 156

11.2.5 VERIFICA A RIBALTAMENTO, SCORRIMENTO E CARICO LIMITE VERTICALE – COND. ECCEZIONALI (URTO)

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)				
N	$=$	$P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv \text{ perm}} + S_{qv \text{ acc}}$	398.51	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T	$=$	$S_{th} + S_{qh} + f$	101.55	(kN/m)
Coefficiente di attrito alla base (f)				
f	$=$	$\tan \phi_1'$	0.47	(-)
Fs scorr.		$(N \cdot f + S_p) / T$	1.83	> 1.1

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)				
M_s	$=$	$M_m + M_t + M_{fext3}$	890.69	(kNm/m)
Momento ribaltante (Mr)				
M_r	$=$	$M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp}$	236.43	(kNm/m)
Fs ribaltamento		M_s / M_r	3.77	> 1.15

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)			Nmin	Nmax	
N	$=$	$P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{ Sovr acc})$	398.51	398.51	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)					
T	$=$	$S_{th} + S_{qh} + f - S_p$	101.55	101.55	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)					
MM	$=$	ΣM	654.26	654.26	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)					
M	$=$	$X_c \cdot N - MM$	182.61	182.61	(kNm/m)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 112 di 156

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.	15.00		(kPa)
φ_1'	angolo di attrito terreno di fondaz.	25.00		(°)
γ_1	peso unità di volume terreno fondaz.	19.00		(kN/m ³)
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	15.20		(kN/m ²)
$e = M / N$	eccentricità	0.46	0.46	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.28	3.28	(m)

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

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

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

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.64	0.64	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.60	0.60	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^{m+1}$		0.51	0.51	(-)

(fondazione nastriforme $m = 2$)

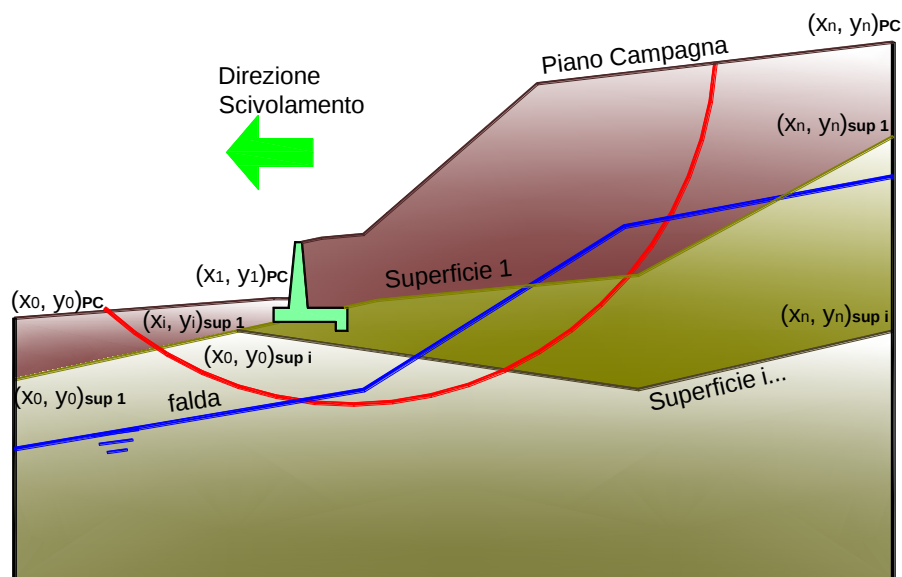
q_{lim}	(carico limite unitario)	462.68	462.68	(kN/m ²)
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

FS carico limite	$F = q_{lim} \cdot B^* / N$	Nmin	3.81	>	1.4
		Nmax	3.81	>	

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 113 di 156

11.2.6 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. DRENATE

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



	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kPa]	Descrizione
materiale 1	20.00	38	0	Rilevato - riporto
materiale 2	19.00	25	15	Unità geotecnica 1 - a2
materiale 3	19.00	21	20	Unità geotecnica 1 - FYN4
materiale 4				

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

RS3U

LOTTO

40 D 29

CODIFICA

CL

DOCUMENTO

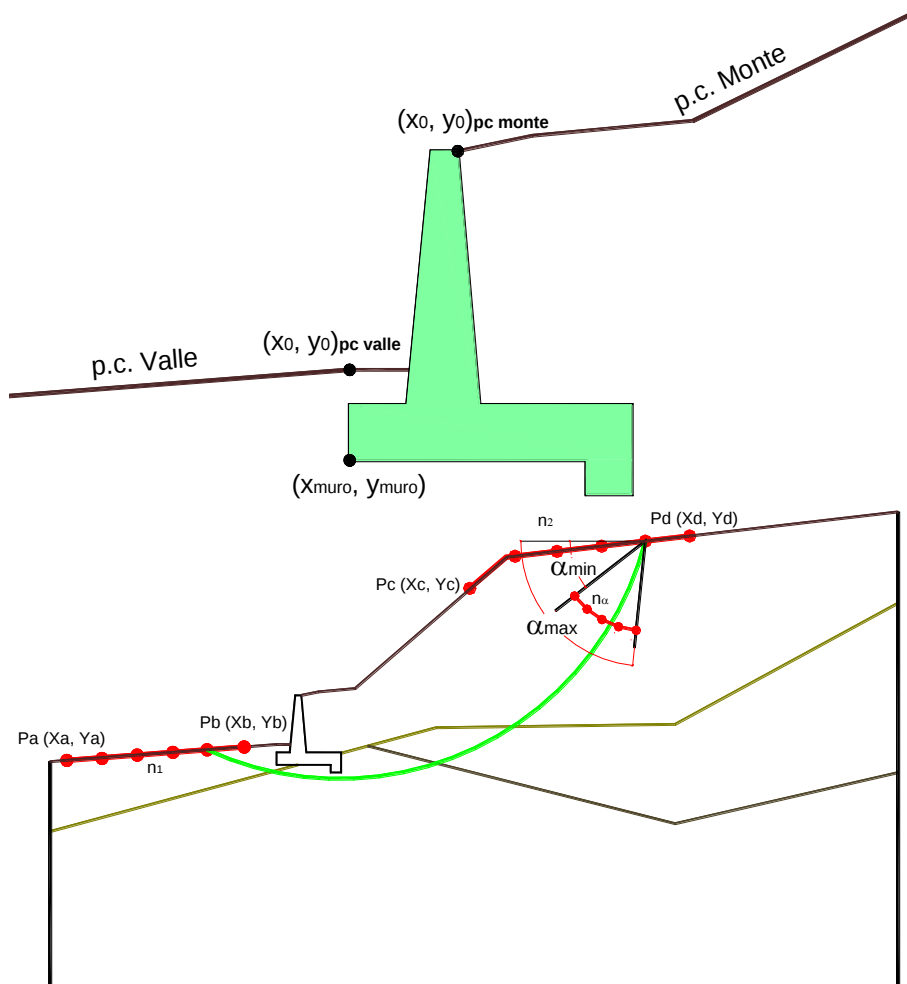
MU3000 001

REV.

A

FOGLIO

114 di 156



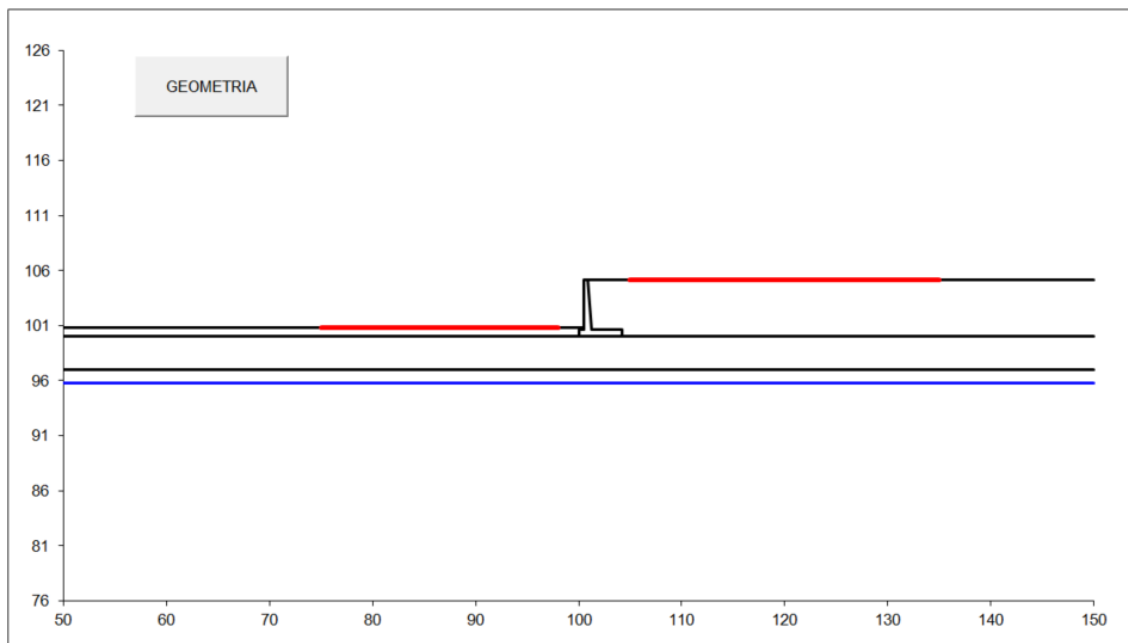
p.c. valle			p.c. monte			superficie 1		superficie 2		superficie 3		fida		
materiale 1						materiale 2		materiale 3		materiale 4				
	x	y		x	y		x	y		x	y		x	y
0	100.000	100.800	0	100.900	105.100	0	50.000	100.000	0	50.000	97.000	0		
1	50.000	100.800	1	150.000	105.100	1	150.000	100.000	1	150.000	97.000	1		
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	☒	103.900	20	106.500	20	20%
sovraccarico 2	☐					

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30
Relazione di calcolo

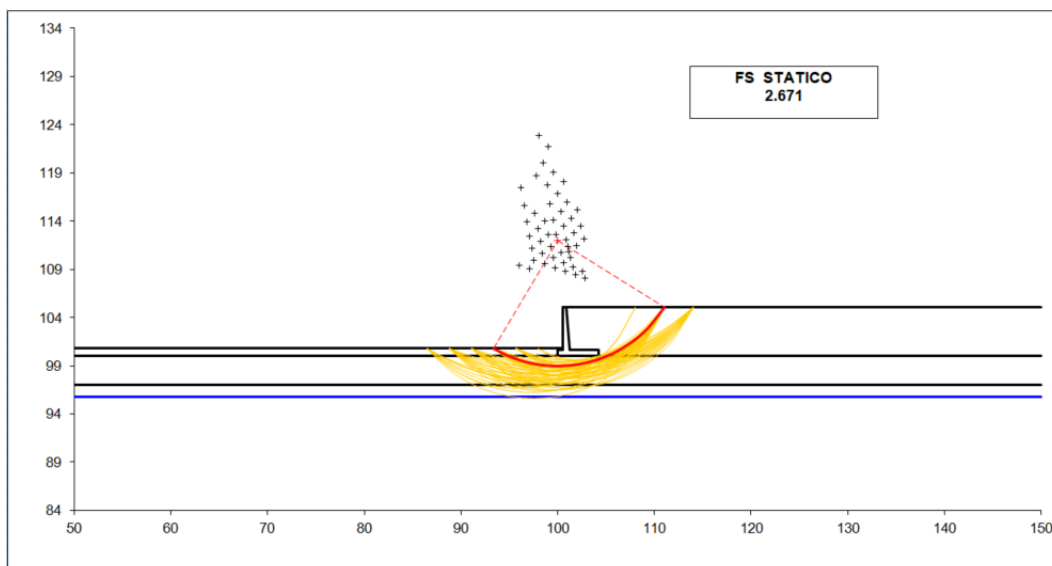
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	115 di 156



#strisce
30

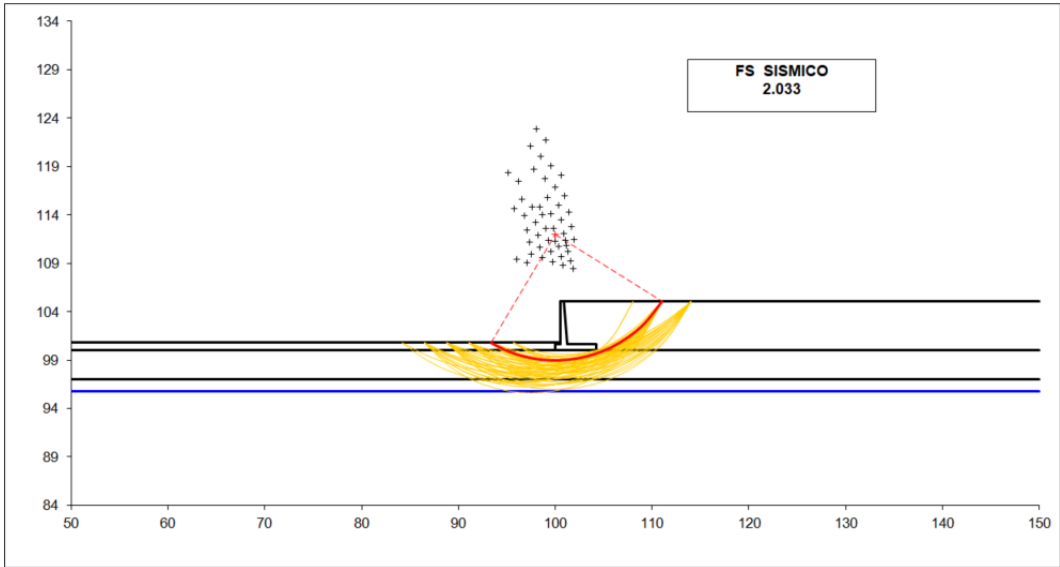
# Superfici Calcolate	FS Bishop	
866	STATICO	2.671
	SISMICO	2.033

Condizioni statiche



 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA’					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 116 di 156

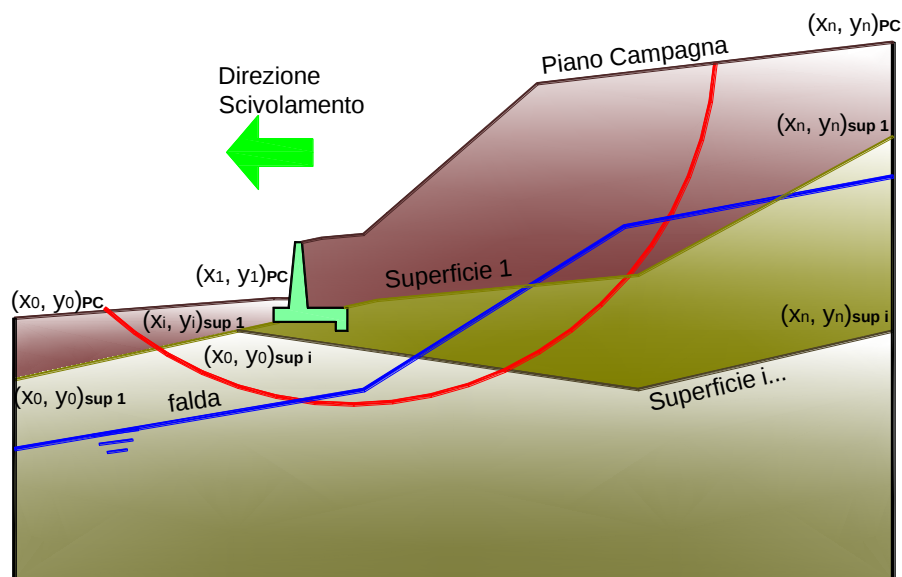
Condizioni sismiche



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 117 di 156

11.2.7 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE – COND. NON DRENATE

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



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

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

RS3U

LOTTO

40 D 29

CODIFICA

CL

DOCUMENTO

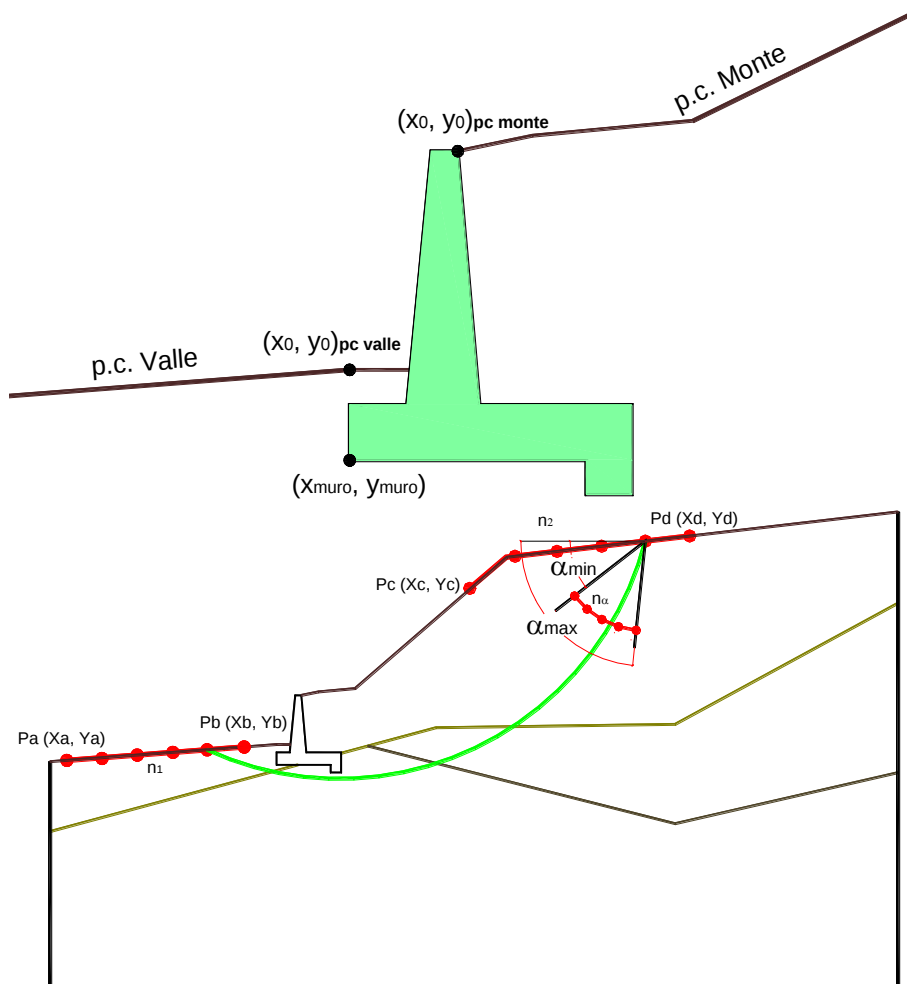
MU3000 001

REV.

A

FOGLIO

118 di 156



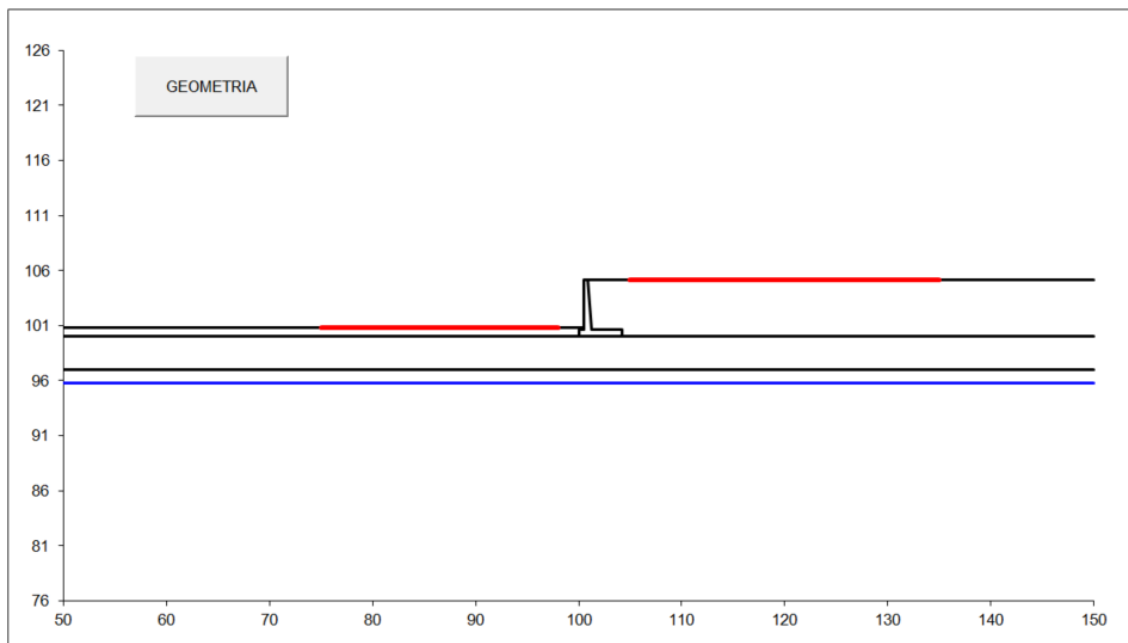
p.c. valle			p.c. monte			superficie 1		superficie 2		superficie 3		falsa		
materiale 1						materiale 2		materiale 3		materiale 4				
	x	y		x	y		x	y		x	y		x	y
0	100.000	100.800	0	100.900	105.100	0	50.000	100.000	0	50.000	97.000	0	50.000	95.800
1	50.000	100.800	1	150.000	105.100	1	150.000	100.000	1	150.000	97.000	1	150.000	95.800
2			2			2			2			2		
3			3			3			3			3		
4			4			4			4			4		
5			5			5			5			5		
6			6			6			6			6		
7			7			7			7			7		
8			8			8			8			8		
9			9			9			9			9		
10			10			10			10			10		

Sovraccarichi

		x_{in}	q_{in}	x_{fin}	q_{fin}	% sisma
sovraccarico 1	☒	103.900	20	106.500	20	20%
sovraccarico 2	☐					

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30
Relazione di calcolo

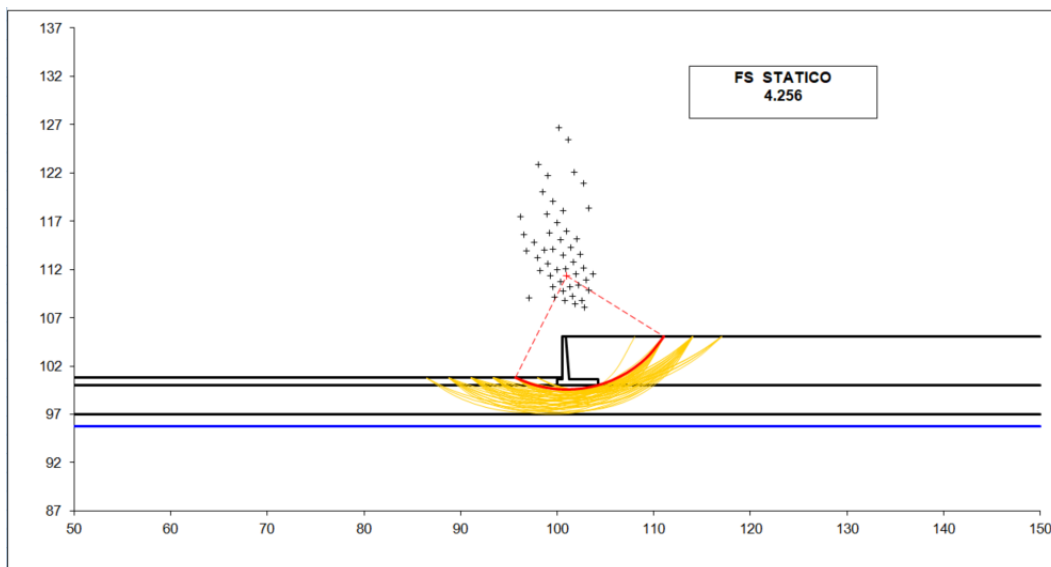
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	119 di 156



#strisce
30

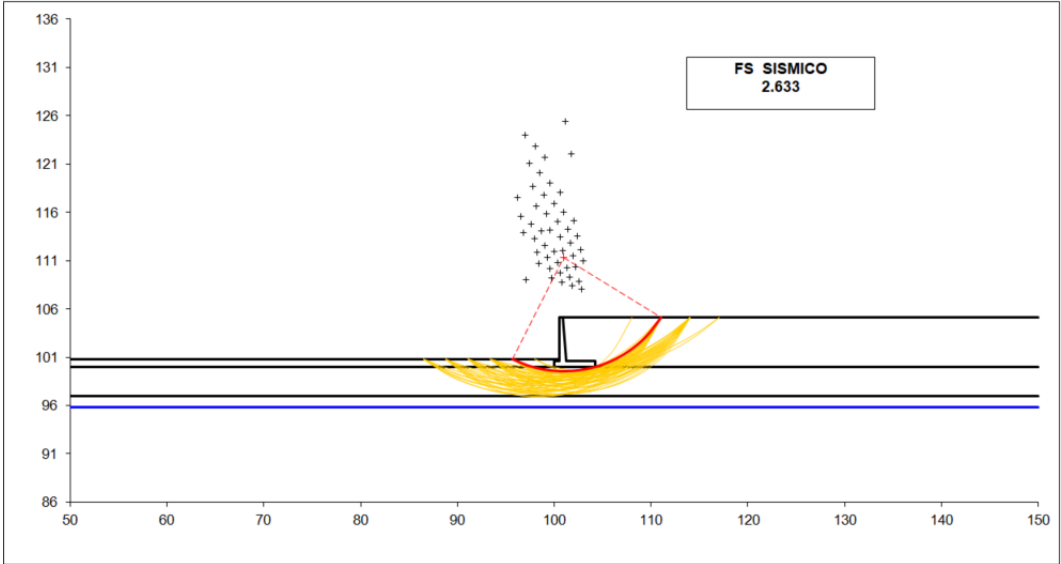
# Superfici Calcolate	FS Bishop	
866	STATICO	4.256
	SISMICO	2.633

Condizioni statiche



 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA’					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 120 di 156

Condizioni sismiche



PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	121 di 156

11.3 VERIFICHE STRUTTURALI

11.3.1 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Reazione del terreno

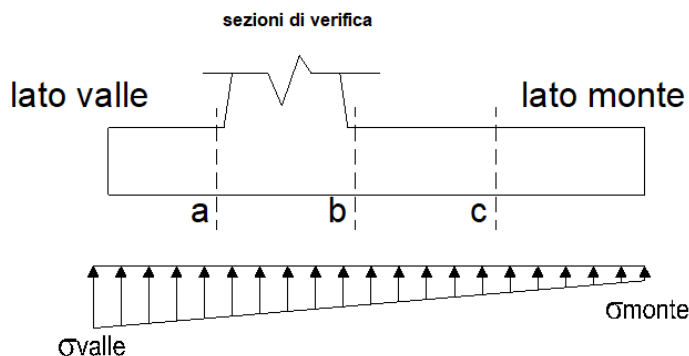
$$\sigma_{\text{valle}} = N / A + M / W_{\text{gg}}$$

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

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

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

caso	N	M	σ_{valle}	σ_{monte}
	[kN]	[kNm]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
statico	398.51	196.37	161.67	28.09
	494.21	153.30	169.81	65.53
sisma+	408.19	134.99	143.10	51.27
	421.39	129.05	144.23	56.44
sisma-	388.83	132.61	137.68	47.47
	402.03	126.67	138.81	52.64



Mensola Lato Valle

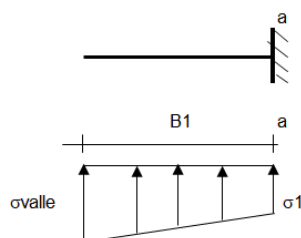
$$\text{Peso Proprio.} \quad PP = 15.00 \quad (\text{kN/m})$$

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

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

caso	σ_{valle}	σ_1	M_a	V_a
	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kNm]	[kN]
statico	161.67	145.77	17.67	69.36
	169.81	157.40	18.83	74.30
sisma+	143.10	132.17	15.51	63.87
	144.23	133.78	15.72	64.43
sisma-	137.68	126.94	14.93	61.16
	138.81	128.55	15.05	61.72

Peso Proprio



$St_v + St_q$

Mensola Lato Monte

$$PP = 15.00 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$PD = 0.00 \quad (\text{kN/m})$$

peso proprio soletta fondazione

peso proprio dente

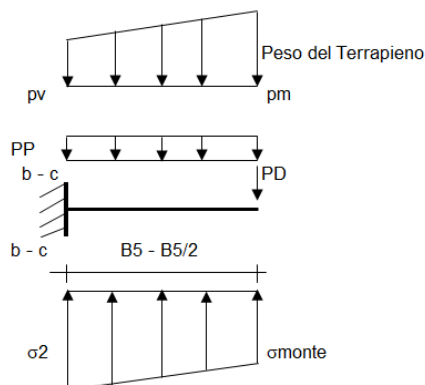
	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	85.50	114.50	89.50	(kN/m ²)
pvb	85.50	114.50	89.50	(kN/m ²)
pvc	85.50	114.50	89.50	(kN/m ²)

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

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

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

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



PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

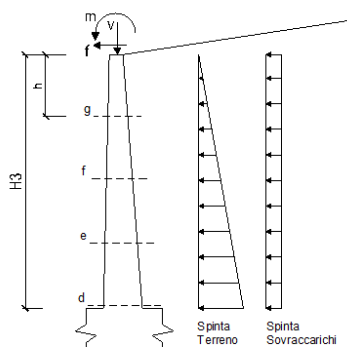
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	122 di 156

caso	σ_{monte} [kN/m ²]	σ_{2b} [kN/m ²]	M_b [kNm]	V_b [kN]	σ_{2c} [kN/m ²]	M_c [kNm]	V_c [kN]
statico	28.09	121.60	-178.23	-75.42	74.85	-61.39	-72.08
	65.53	138.53	-171.32	-80.77	102.03	-55.98	-67.21
sisma+	51.27	115.55	-130.79	-57.48	83.41	-44.27	-52.36
	56.44	117.89	-130.26	-58.50	87.16	-43.63	-51.84
sisma-	47.47	110.62	-127.56	-55.83	79.05	-43.26	-51.12
	52.64	112.96	-126.18	-56.28	82.80	-42.41	-50.31

CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo

$$\begin{aligned}
 M_{t \text{ stat}} &= \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm k_v) \cdot h^2 \cdot h/3 \\
 M_{t \text{ sism}} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz}} \cdot (1 \pm k_v) - K_{a \text{ orizz}}) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad o \cdot h/3 \\
 M_q &= \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz}} \cdot q \cdot h^2 \\
 M_{\text{ext}} &= m \cdot f \cdot h \\
 M_{\text{inerzia}} &= \Sigma P_m \cdot b_i \cdot k_h \\
 N_{\text{ext}} &= v \\
 N_{\text{pp+inerzia}} &= \Sigma P_m \cdot (1 \pm k_v) \\
 V_{t \text{ stat}} &= \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm k_v) \cdot h^2 \\
 V_{t \text{ sism}} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz}} \cdot (1 \pm k_v) - K_{a \text{ orizz}}) \cdot h^2 \\
 V_q &= K_{a \text{ orizz}} \cdot q \cdot h \\
 V_{\text{ext}} &= f \\
 V_{\text{inerzia}} &= \Sigma P_m \cdot k_h
 \end{aligned}$$



condizione statica

sezione	h [m]	Mt [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M _{ext} [kNm/m]	M _{tot} [kNm/m]	N _{ext} [kN/m]	N _{pp} [kN/m]	N _{tot} [kN/m]
d-d	4.50	101.66	79.57	0.00	181.23	3.50	65.25	68.75
e-e	3.38	42.89	44.76	0.00	87.64	3.50	45.14	48.64
f-f	2.25	12.71	19.89	0.00	32.60	3.50	27.56	31.06
g-g	1.13	1.59	4.97	0.00	6.56	3.50	12.52	16.02

sezione	h [m]	Vt [kN/m]	Vq [kN/m]	V _{ext} [kN/m]	V _{tot} [kN/m]
d-d	4.50	67.77	35.36	0.00	103.14
e-e	3.38	38.12	26.52	0.00	64.64
f-f	2.25	16.94	17.68	0.00	34.62
g-g	1.13	4.24	8.84	0.00	13.08

condizione sismica +

sezione	h [m]	Mt _{stat} [kNm/m]	Mt _{sism} [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M _{ext} [kNm/m]	M _{inerzia} [kNm/m]	M _{tot} [kNm/m]	N _{ext} [kN/m]	N _{pp+inerzia} [kN/m]	N _{tot} [kN/m]
d-d	4.50	78.20	9.59	12.03	0.00	6.45	106.26	3.50	66.85	70.35
e-e	3.38	32.99	4.04	6.76	0.00	3.42	47.22	3.50	46.25	49.75
f-f	2.25	9.77	1.20	3.01	0.00	1.43	15.41	3.50	28.24	31.74
g-g	1.13	1.22	0.15	0.75	0.00	0.33	2.46	3.50	12.82	16.32

sezione	h [m]	Vt _{stat} [kN/m]	Vt _{sism} [kN/m]	Vq [kN/m]	V _{ext} [kN/m]	V _{inerzia} [kN/m]	V _{tot} [kN/m]
d-d	4.50	52.13	6.39	5.34	0.00	3.20	67.07
e-e	3.38	29.32	3.59	4.01	0.00	2.21	39.14
f-f	2.25	13.03	1.60	2.67	0.00	1.35	18.65
g-g	1.13	3.26	0.40	1.34	0.00	0.61	5.61

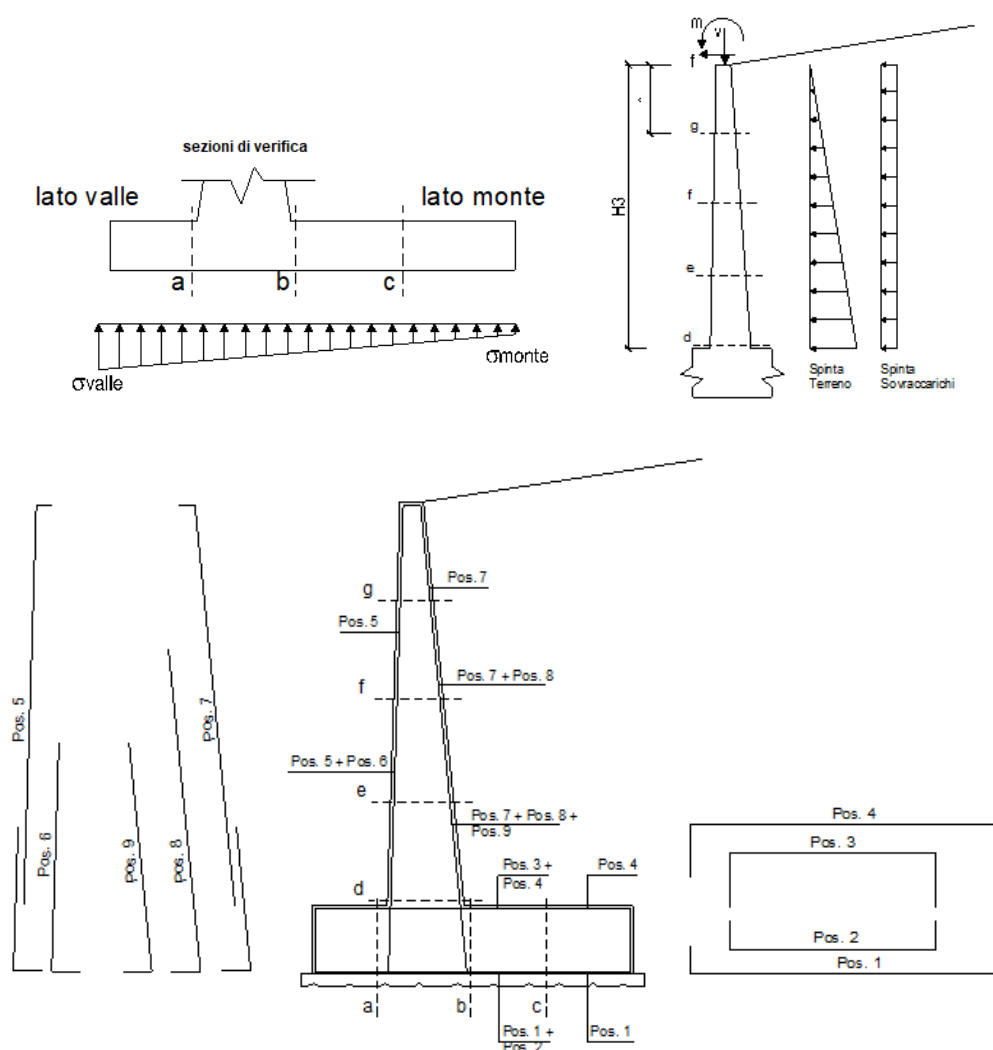
condizione sismica -

sezione	h [m]	Mt _{stat} [kNm/m]	Mt _{sism} [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M _{ext} [kNm/m]	M _{inerzia} [kNm/m]	M _{tot} [kNm/m]	N _{ext} [kN/m]	N _{pp+inerzia} [kN/m]	N _{tot} [kN/m]
d-d	4.50	78.20	5.77	12.08	0.00	6.45	102.50	3.50	63.65	67.15
e-e	3.38	32.99	2.43	6.80	0.00	3.42	45.64	3.50	44.03	47.53
f-f	2.25	9.77	0.72	3.02	0.00	1.43	14.94	3.50	26.89	30.39
g-g	1.13	1.22	0.09	0.76	0.00	0.33	2.40	3.50	12.21	15.71

sezione	h [m]	Vt _{stat} [kN/m]	Vt _{sism} [kN/m]	Vq [kN/m]	V _{ext} [kN/m]	V _{inerzia} [kN/m]	V _{tot} [kN/m]
d-d	4.50	52.13	3.85	5.37	0.00	3.20	64.55
e-e	3.38	29.32	2.16	4.03	0.00	2.21	37.73
f-f	2.25	13.03	0.96	2.68	0.00	1.35	18.03
g-g	1.13	3.26	0.24	1.34	0.00	0.61	5.45

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 123 di 156

11.3.2 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.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA’					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	124 di 156

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

ARMATURE

pos	n°/ml	ϕ	II strato	pos	n°/ml	ϕ	II strato
1	10.0	16		5	10.0	16	
2	0.0	0	☐	6	0.0	0	☐
3	0.0	0	☐	7	10.0	20	
4	10.0	20		8	0.0	0	☐
				9	0.0	0	☐

Pertanto l'armatura secondaria sarà pari a:

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

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

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

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

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

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

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

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(kNm)
a - a	18.83	0.00	0.60	20.11	31.42	395.95
b - b	-178.23	0.00	0.60	31.42	20.11	601.42
c - c	-61.39	0.00	0.60	31.42	20.11	601.42
d - d	181.23	68.75	0.76	31.42	20.11	819.44
e - e	87.64	48.64	0.67	31.42	20.11	700.38
f - f	32.60	31.06	0.58	31.42	20.11	583.68
g - g	6.56	16.02	0.49	31.42	20.11	469.01

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

Sez.	V _{Ed}	h	V _{rd}	ø staffe	i orizz.	i vert.	θ	V _{Rsd}	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	74.30	0.60	231.15	10	20	20	21.8	917.96	Armatura a taglio non necessaria
b - b	80.77	0.60	268.22	10	20	20	21.8	917.96	Armatura a taglio non necessaria
c - c	72.08	0.60	268.22	10	20	20	21.8	917.96	Armatura a taglio non necessaria
d - d	103.14	0.76	314.08	10	20	20	21.8	1194.55	Armatura a taglio non necessaria
e - e	64.64	0.67	291.20	10	20	20	21.8	1038.97	Armatura a taglio non necessaria
f - f	34.62	0.58	267.48	10	20	20	21.8	883.38	Armatura a taglio non necessaria
g - g	13.08	0.49	242.58	10	20	20	21.8	727.80	Armatura a taglio non necessaria

11.3.3 VERIFICHE SLE TENSIONE

Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ_c	σ_f
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
a - a	15.90	0.00	0.60	20.11	31.42	0.37	16.46
b - b	-126.58	0.00	0.60	31.42	20.11	2.63	85.24
c - c	-42.84	0.00	0.60	31.42	20.11	0.89	28.84
d - d	133.07	68.75	0.76	31.42	20.11	1.87	57.84
e - e	63.86	48.64	0.67	31.42	20.11	1.13	30.65
f - f	23.49	31.06	0.58	31.42	20.11	0.55	12.00
g - g	4.65	16.02	0.49	31.42	20.11	0.16	1.82

Condizione Sismica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ_c	σ_f
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
a - a	15.67	0.00	0.60	20.11	31.42	0.36	16.23
b - b	-130.79	0.00	0.60	31.42	20.11	2.72	88.07
c - c	-44.27	0.00	0.60	31.42	20.11	0.92	29.81
d - d	106.26	67.15	0.76	31.42	20.11	1.50	44.45
e - e	47.22	47.53	0.67	31.42	20.11	0.85	21.06
f - f	15.41	30.39	0.58	31.42	20.11	0.37	6.54
g - g	2.46	15.71	0.49	31.42	20.11	0.09	0.31

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 126 di 156

11.3.4 VERIFICHE SLE FESSURAZIONE

condizione Frequente									
Sez.	M	N	h	A _f	A' _f	σ _c	σ _f	w _k	w _{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)	(mm)
a - a	15.90	0.00	0.60	20.11	31.42	0.37	16.46	0.020	0.200
b - b	-126.58	0.00	0.60	31.42	20.11	2.63	85.24	0.087	0.200
c - c	-42.84	0.00	0.60	31.42	20.11	0.89	28.84	0.029	0.200
d - d	133.07	68.75	0.76	31.42	20.11	1.87	57.84	0.064	0.200
e - e	63.86	48.64	0.67	31.42	20.11	1.13	30.65	0.032	0.200
f - f	23.49	31.06	0.58	31.42	20.11	0.55	12.00	0.011	0.200
g - g	4.65	16.02	0.49	31.42	20.11	0.16	1.82	0.002	0.200

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

condizione Quasi Permanente									
Sez.	M	N	h	A _f	A' _f	σ _c	σ _f	w _k	w _{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)	(mm)
a - a	12.33	0.00	0.60	20.11	31.42	0.29	12.77	0.015	0.200
b - b	-71.32	0.00	0.60	31.42	20.11	1.48	48.03	0.049	0.200
c - c	-22.98	0.00	0.60	31.42	20.11	0.48	15.47	0.016	0.200
d - d	78.20	68.75	0.76	31.42	20.11	1.12	30.04	0.033	0.200
e - e	32.99	48.64	0.67	31.42	20.11	0.60	12.65	0.013	0.200
f - f	9.77	31.06	0.58	31.42	20.11	0.24	2.76	0.002	0.200
g - g	1.22	16.02	0.49	31.42	20.11	0.06	-0.15	0.000	0.200

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 127 di 156

11.3.5 VERIFICHE STRUTTURALI IN PRESENZA DI URTO

Per le verifiche strutturali dei muri “tipo 1” si considera la verifica a pressoflessione della sezione di spiccato del paramento per la quale:

$M = [100 \cdot (H_p + 1)] / L_c = 57.89 \text{ kNm/m}$ momento allo spiccato

$T = 100 / L_c = 10.53 \text{ kN/m}$ taglio allo spiccato

in cui

$L_c = 0.5 \text{ m} + 2 H_p = 9.50 \text{ m}$ larghezza di ripartizione come descritto al par. 9.4

$H_p = 4.50 \text{ m}$ altezza max del paramento

<u>Carichi Agenti</u>					<u>valori caratteristici</u> SLE - sisma		<u>valori di progetto</u>	
							STR/GEO	EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente		(kN/m ²)	qp	0.00		0.00	0.00
	Sovraccarico su zattera di monte	● si ○ no						
	Forza Orizzontale in Testa permanente		(kN/m)	fp	0.00		0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa permanente		(kN/m)	vp	3.50		3.50	3.50
	Momento in Testa permanente		(kNm/m)	mp	0.00		0.00	0.00
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche		(kN/m ²)	q	0.00		0.00	0.00
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche		(kN/m)	f	10.53		15.27	15.27
	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	57.89		83.94	83.94
	Coefficienti di combinazione	condizione frequente Ψ1		1.00	condizione quasi permanente Ψ2		0.00	0.00
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche		(kN/m ²)	qs	0.00			
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kN/m)	fs	0.00			
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kN/m)	vs	0.00			
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kNm/m)	ms	0.00			

Verifiche SLU

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm ²)	(cm ²)	(kNm)
a - a	20.00	0.00	0.60	20.11	31.42	395.29
b - b	-224.96	0.00	0.60	31.42	20.11	599.94
c - c	-78.19	0.00	0.60	31.42	20.11	599.94
d - d	254.31	68.75	0.76	31.42	20.11	817.91
e - e	178.36	48.64	0.67	31.42	20.11	698.86
f - f	131.00	31.06	0.58	31.42	20.11	582.18
g - g	102.71	16.02	0.49	31.42	20.11	467.51

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

Sez.	V _{Ed}	h	V _{rd}	ø staffe	i orizz.	i vert.	θ	V _{Rsd}	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	78.29	0.60	230.94	10	20	20	21.8	916.23	Armatura a taglio non necessaria
b - b	93.31	0.60	267.98	10	20	20	21.8	916.23	Armatura a taglio non necessaria
c - c	91.45	0.60	267.98	10	20	20	21.8	916.23	Armatura a taglio non necessaria
d - d	83.04	0.76	313.85	10	20	20	21.8	1192.82	Armatura a taglio non necessaria
e - e	53.39	0.67	290.96	10	20	20	21.8	1037.24	Armatura a taglio non necessaria
f - f	32.21	0.58	267.22	10	20	20	21.8	881.65	Armatura a taglio non necessaria
g - g	19.50	0.49	242.32	10	20	20	21.8	726.07	Armatura a taglio non necessaria

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	128 di 156

11.3.6 CALCOLO INCIDENZA ARMATURA

TIPO 1	
MURO a mensola MU15A-TIPO1	
PARTE D'OPERA	INCIDENZA (Kg/mc)
Elevazione	100
Fondazione	90

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 129 di 156

12. ANALISI DEI CARICHI PARATIA

12.1 Carichi permanenti: spinta del terreno

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo Paratie, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra il terreno e la struttura deformabile, a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p .

12.1 Carichi variabili: carichi mobili da traffico

Per quanto attiene il sovraccarico variabile dovuto al carico stradale si applica il carico verticale statico di 20 kPa che, in condizioni sismiche, è stato ridotto al 20% (4 kPa).

12.2 Valutazione dell'azione sismica

12.2.1 Vita nominale

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

2) Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari;

La cui vita nominale è pari a: 50 anni.

12.2.2 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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 130 di 156

Il coefficiente d'uso è pari a 1.50.

12.2.3 Periodo di riferimento

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

Pertanto $V_R = 50 \times 1.5 = 75$ anni.

12.2.4 Parametri sismici

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

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

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

Tabella 12-1 – Probabilità di superamento al variare dello stato limite considerato.



Figura 12-1 –Localizzazione del sito.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA’					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 131 di 156

Da cui si ottiene la seguente tabella:

Stati limite



Classe Edificio

III. Affollamento significativo...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	45	0.034	2.511	0.254
Danno (SLD)	75	0.041	2.521	0.293
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.086	2.620	0.444
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.106	2.689	0.491
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

Tabella 12-2 – Parametri relativi all'azione sismica.

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	132 di 156

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 12-3 – 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 12-4 – Espressioni di S_s e C_c .

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

Tabella 12-5 – Valori massimi dei coefficienti di amplificazione topografica S_T .

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA’					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	133 di 156

Nel caso in esame quindi si ha:

Coefficienti sismici



Tipo

Paratie NTC 2018

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



H (m)

10



us (m)

0.045



Cat. Sottosuolo

C

▼



Cat. Topografica

T1

▼

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,65	1,57	1,37	1,33
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]



0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.031	0.037	0.078	0.095
kv	--	--	--	--
Amax [m/s²]	0.499	0.600	1.269	1.553
Beta	0.627	0.627	0.627	0.627

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 134 di 156

13. PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA “TIPO 1”

13.1 DATI DI INPUT

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

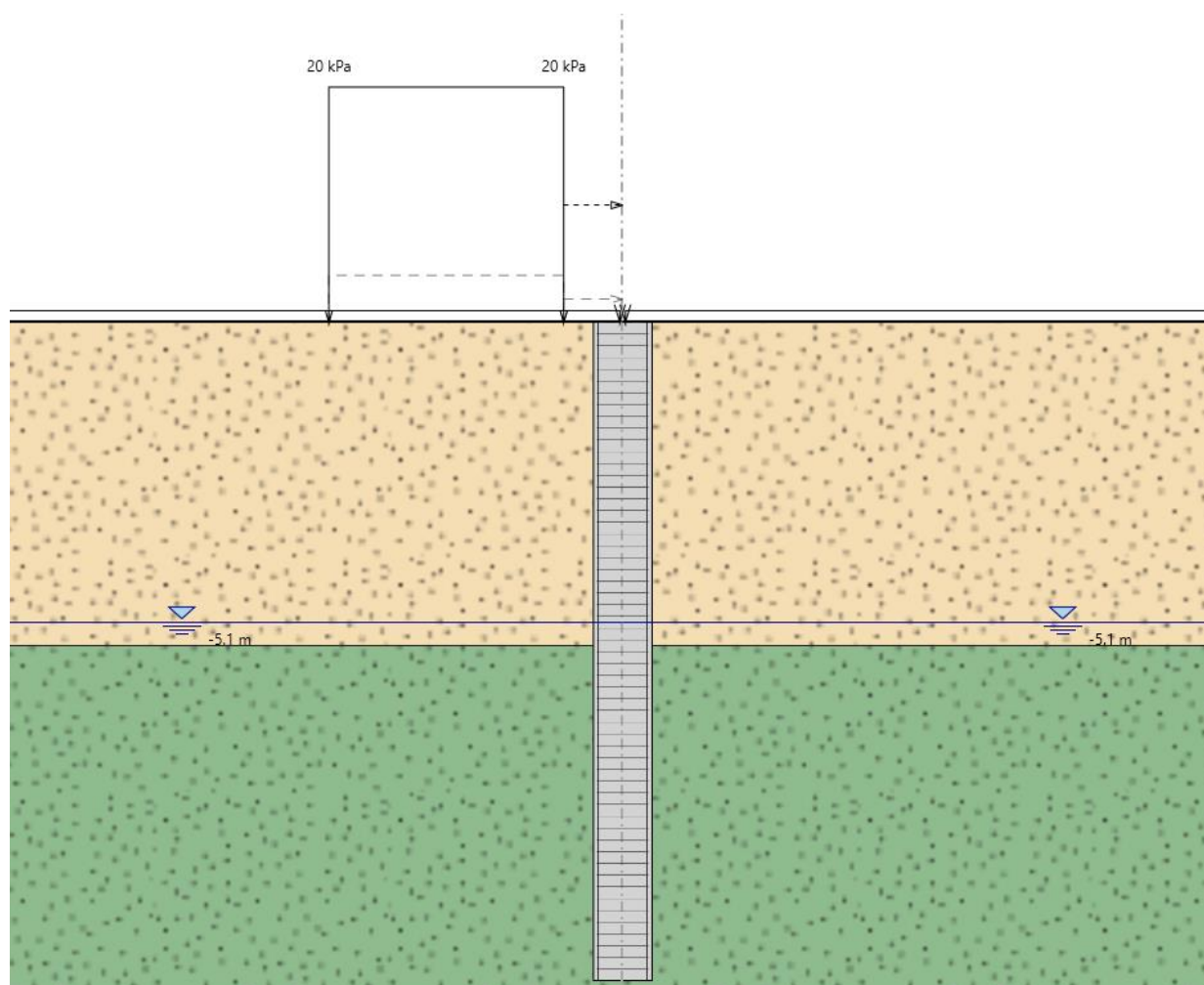


Figura 13-1 – Schema di calcolo paratia

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	135 di 156

Tabella 6. Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 1

Tipologia struttura di sostegno	pali $\phi 1000$ ad interasse 1.20m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 11.20$
Altezza di scavo (da estradosso cordolo)	$H = 4.6m$ (5.10 altezza di calcolo)
Inclinazione del piano campagna a monte	0°
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti a monte	$g = 0 \text{ kPa}$
Sovraccarichi permanenti a valle	$g = 0 \text{ kPa}$
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 20 \text{ kPa}$
Sovraccarichi variabili a valle	$q = 0 \text{ kPa}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 136 di 156

Unità litologiche da p.c.	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	c_u [kPa]	E_0 [MPa]
a2	1.00	5.50	19	15.0	25	75	100
FYN4	5.50	-	19	20.0	21	175	220

Tabella 7. Parametri geotecnici di calcolo

Unità geotecnica	Condizione	Cat. sottosuolo [-]	Cat. topografica [-]	ag/g [-]	Ss [-]	$amax/g$ [-]	us [m]
a2	SLV	C	T1	0.1	1.5	0.12	0.045
FYN4	SLV	C	T1	0.1	1.5	0.12	0.045

Tabella 8. Parametri per l'analisi sismica

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	137 di 156

13.2 Fasi di calcolo

1) Inserimento della paratia

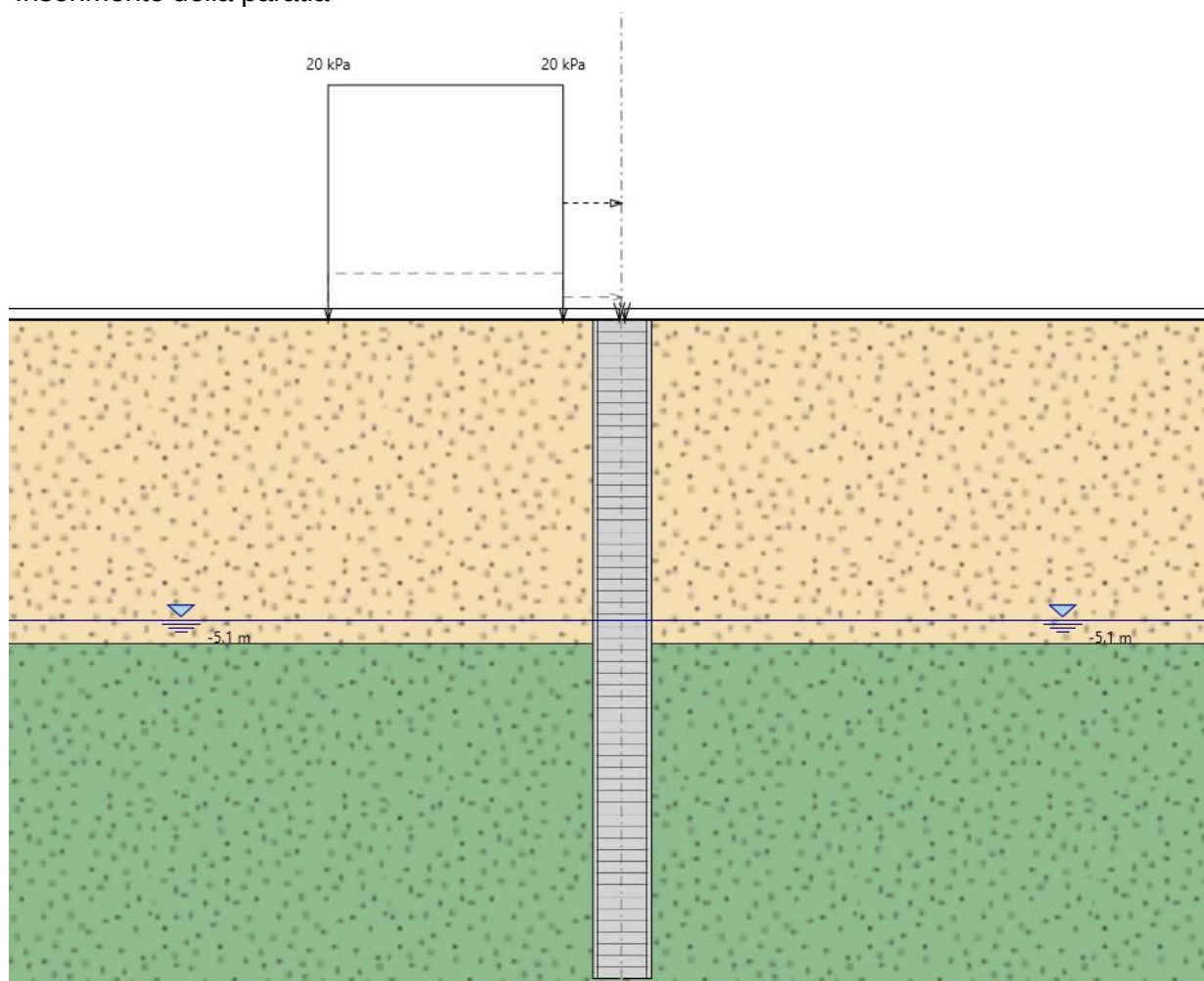


Figura 13-2 – Fase 1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 138 di 156

- 2) Scavo fino a raggiungere la “Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)”, posizione della falda e a valle sotto quota piano di scavo.

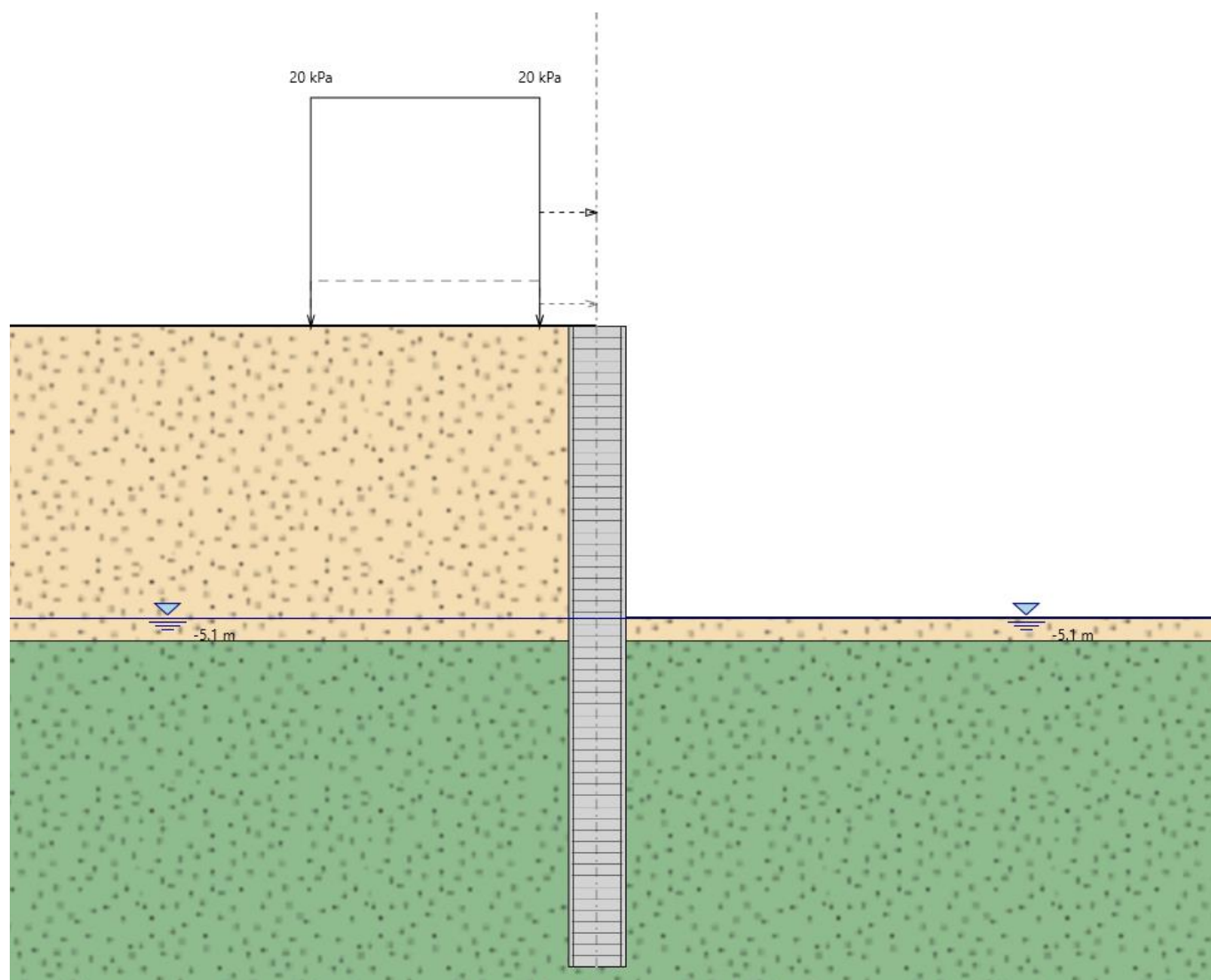


Figura 13-3 – Fase 2

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 139 di 156

3) Applicazione dell'azione sismica

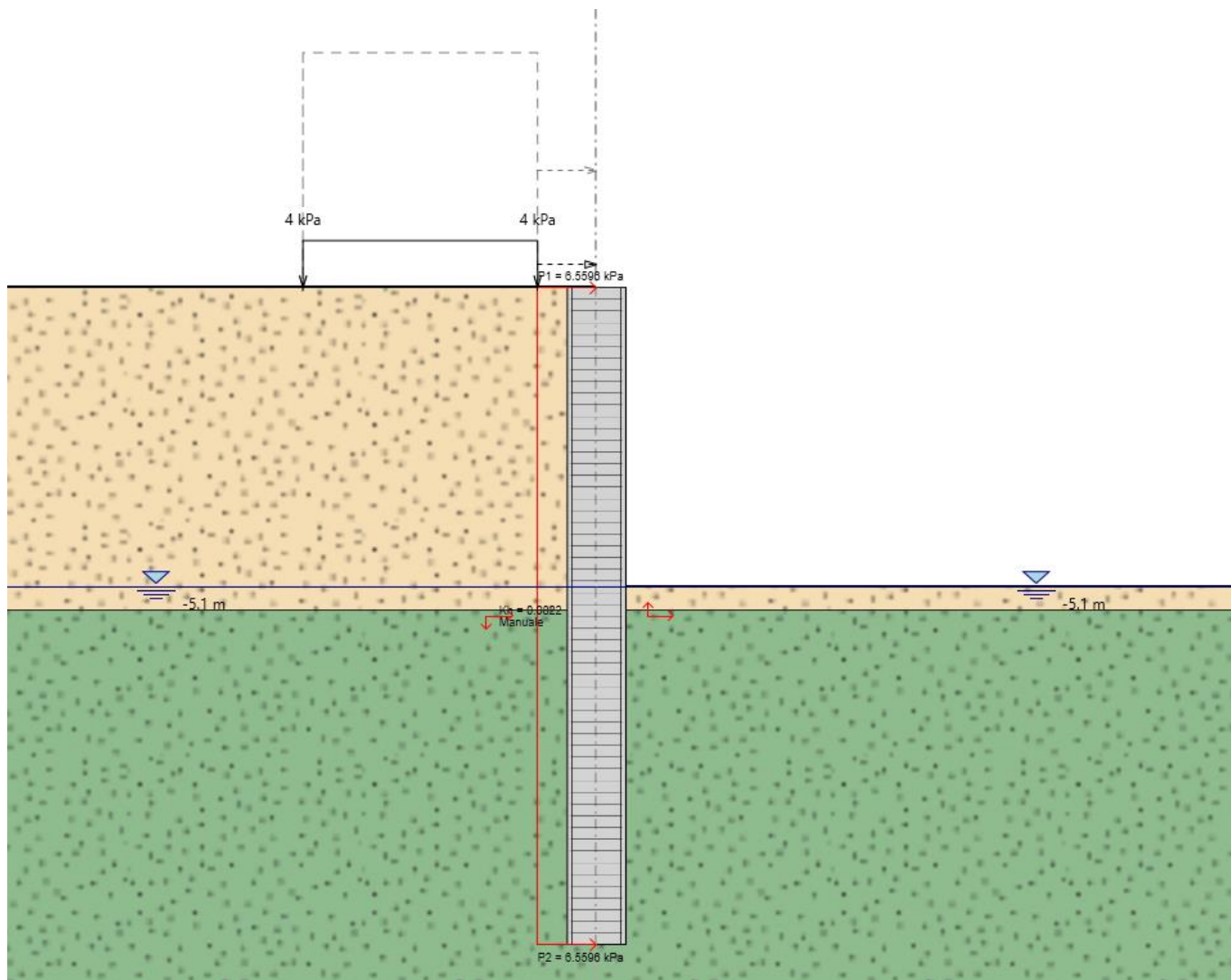


Figura 13-4 – Fase 3

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 140 di 156

13.3 Risultati delle analisi e verifiche

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

	Sollecitazioni a metro lineare			Sollecitazioni sul singolo palo		
	M_{max} (kNm/m)	$z (M_{max})$ (m)	T_{max} (kN/m)	M_{max} (kNm)	N (kN)	T_{max} (kN)
SLE	64.55	6.40	-	77.50	102.10	-
SLU	83.92	6.40	47.55	100.70	102.10	57.10
SLV	193.36	6.80	68.74	232.00	110.00	82.50

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 141 di 156

Base Design Section
 NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)
 Stage 2

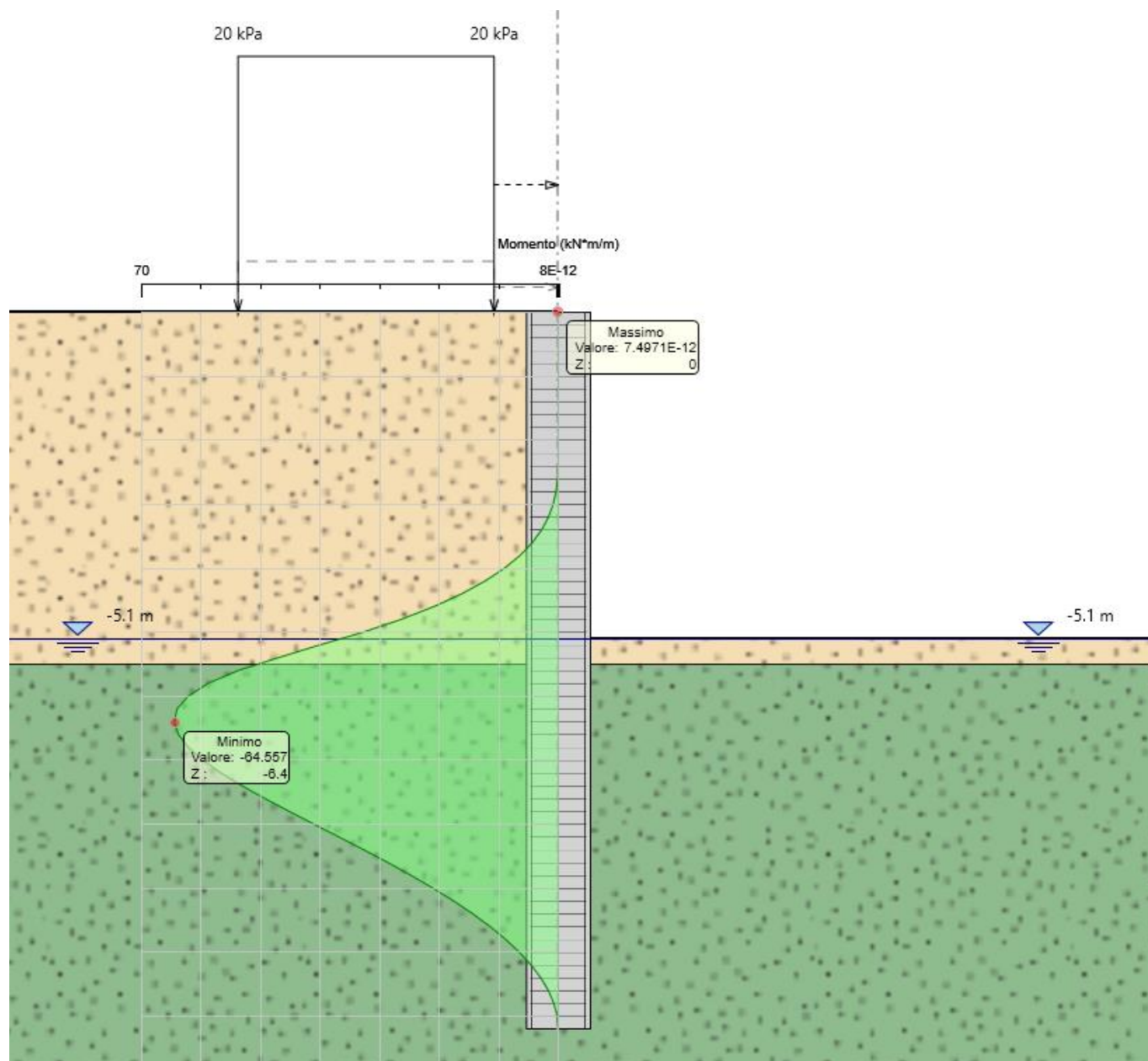


Figura 13-5 – Momento SLE.

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

RS3U

LOTTO

40 D 29

CODIFICA

CL

DOCUMENTO

MU3000 001

REV.

A

FOGLIO

142 di 156

Base Design Section

NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

Stage 2

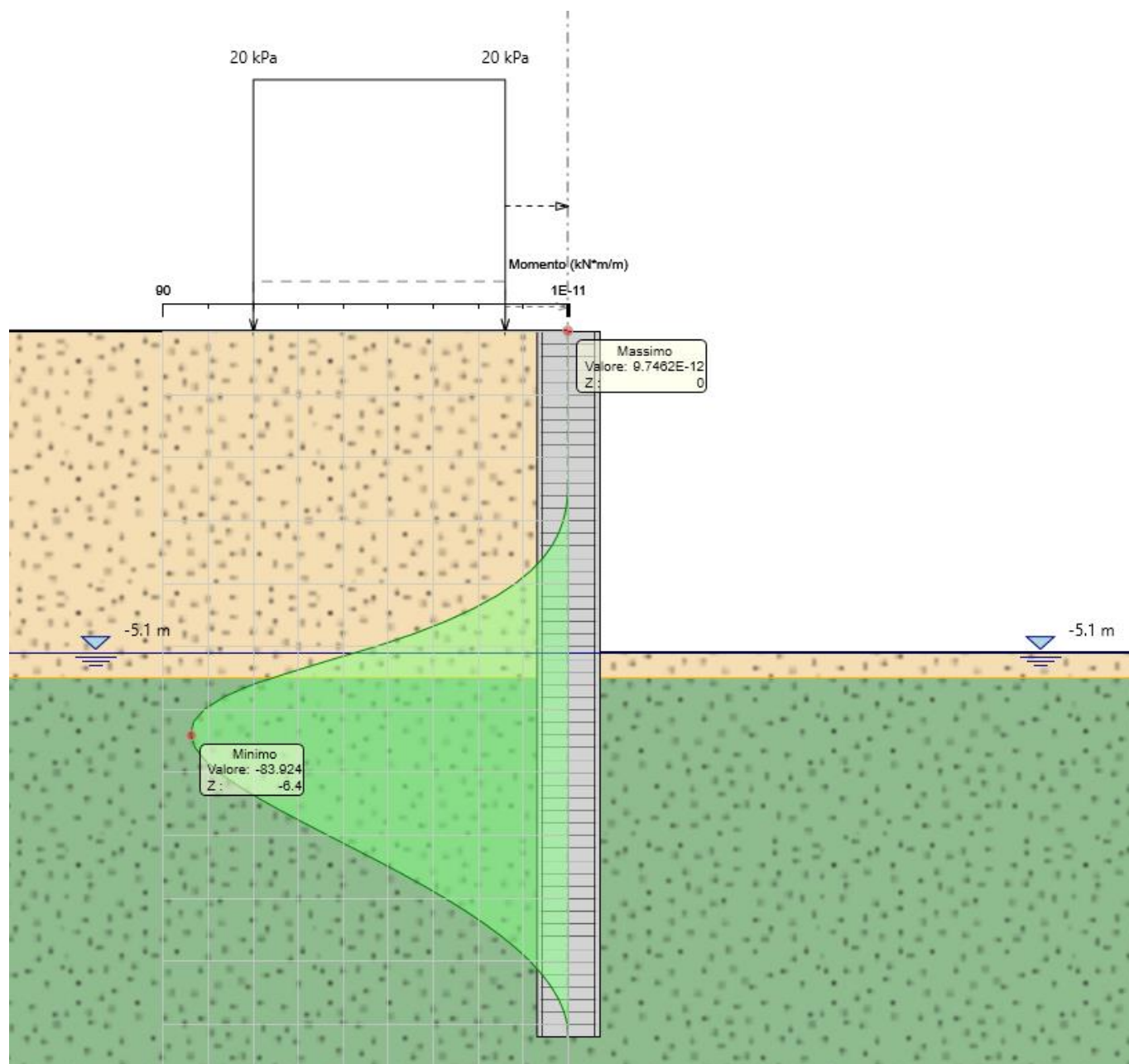


Figura 13-6 – Momento SLU.

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

RS3U

LOTTO

40 D 29

CODIFICA

CL

DOCUMENTO

MU3000 001

REV.

A

FOGLIO

143 di 156

Base Design Section

NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

Stage 2

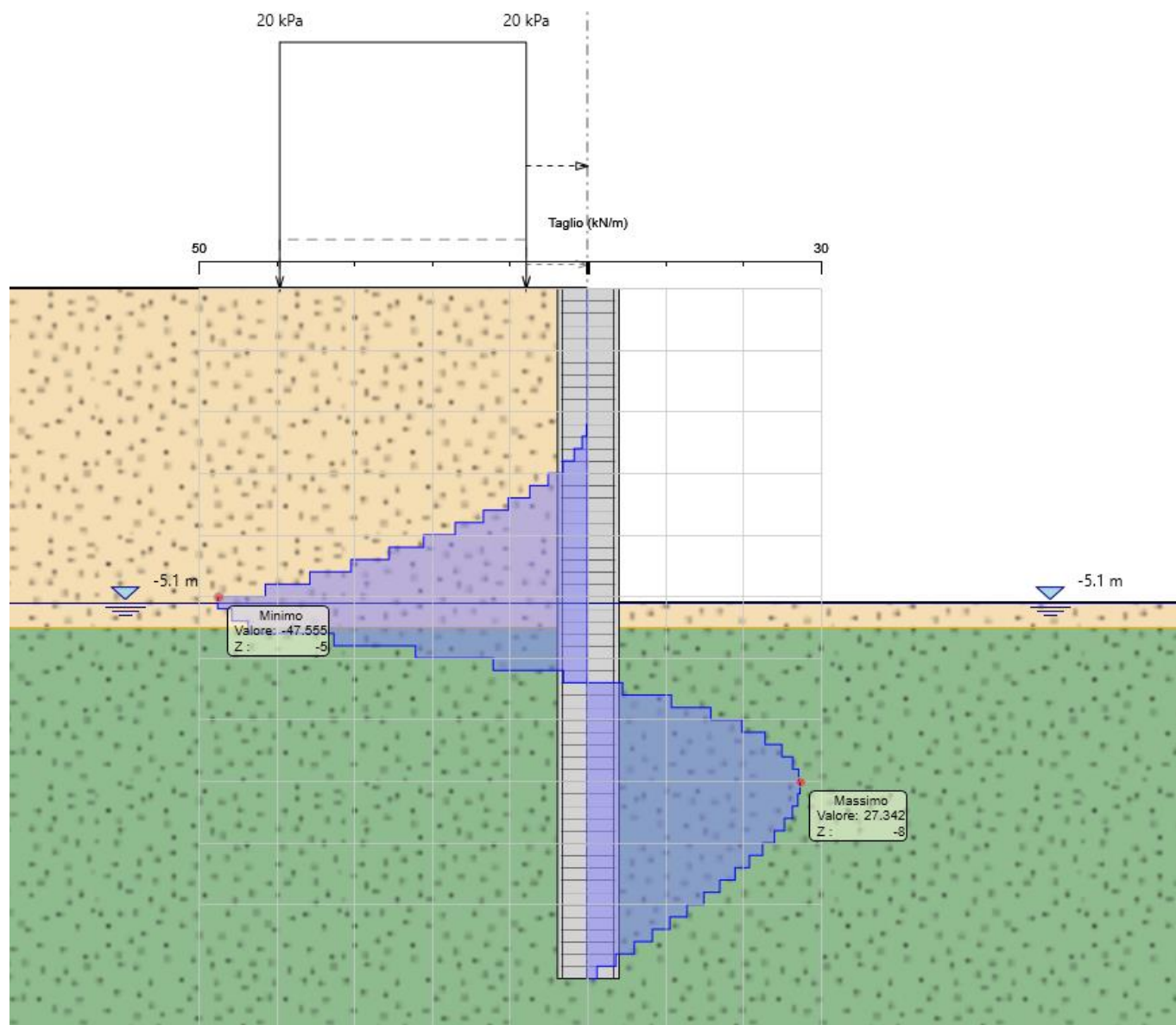


Figura 13-7 – Taglio SLU.

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA

RS3U

LOTTO

40 D 29

CODIFICA

CL

DOCUMENTO

MU3000 001

REV.

A

FOGLIO

144 di 156

Base Design Section
NTC2018: SISMICA STR
Stage 3

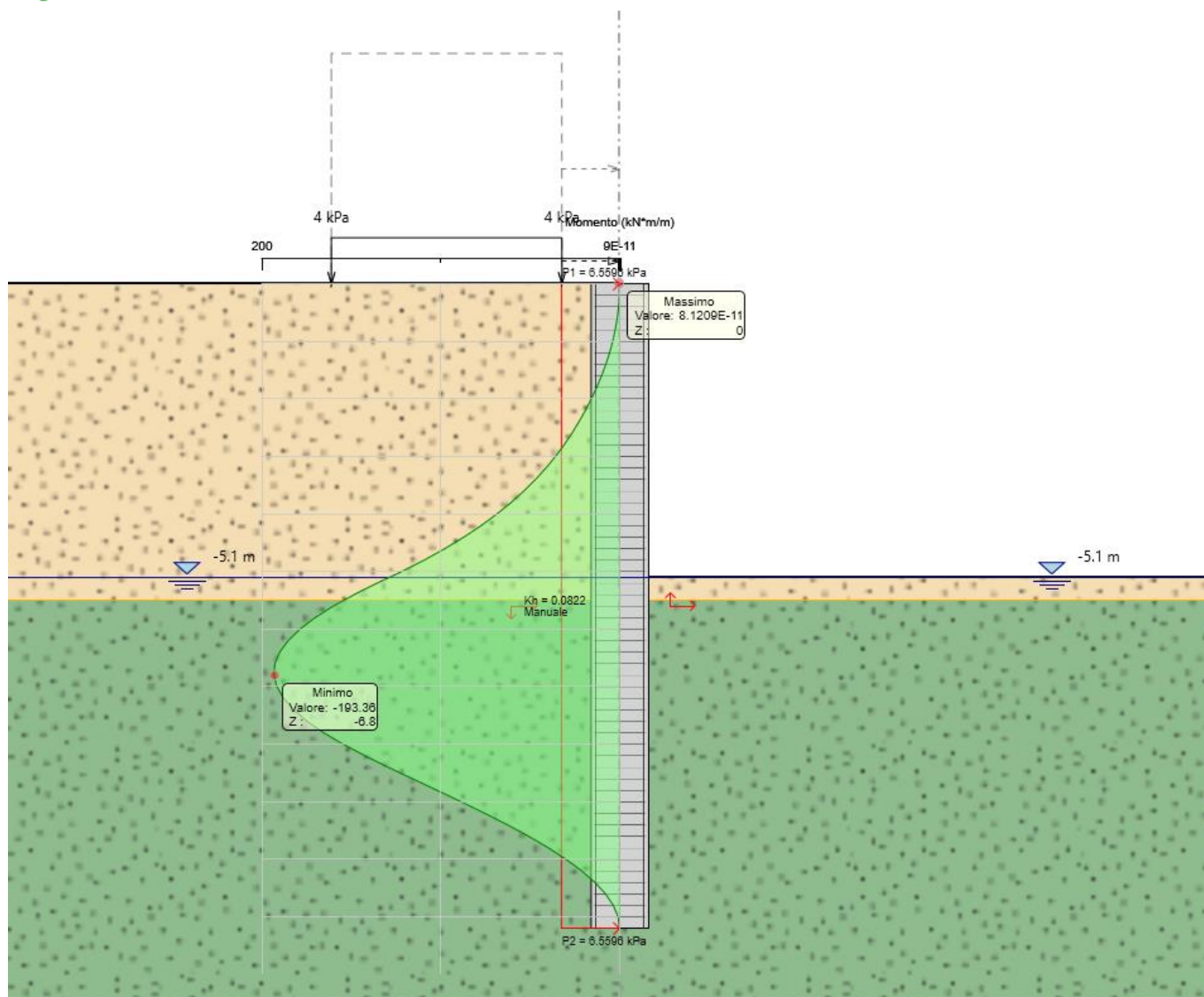


Figura 13-8 – Memento SLV.

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	145 di 156

Base Design Section
NTC2018: SISMICA STR
Stage 3

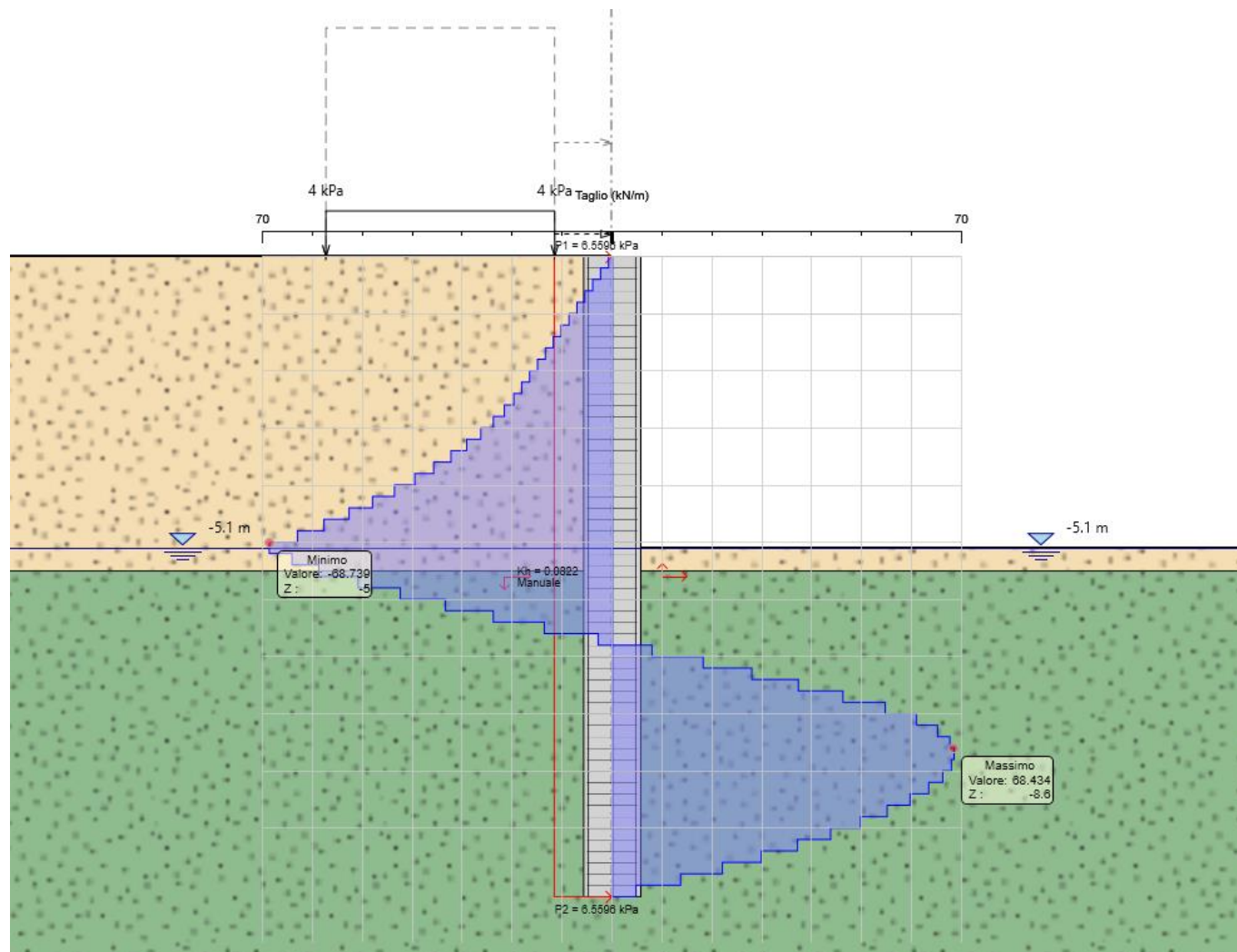


Figura 13-9 – Taglio SLV.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 146 di 156

13.4 Verifiche geotecniche

1.1.1 Verifiche SLE

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

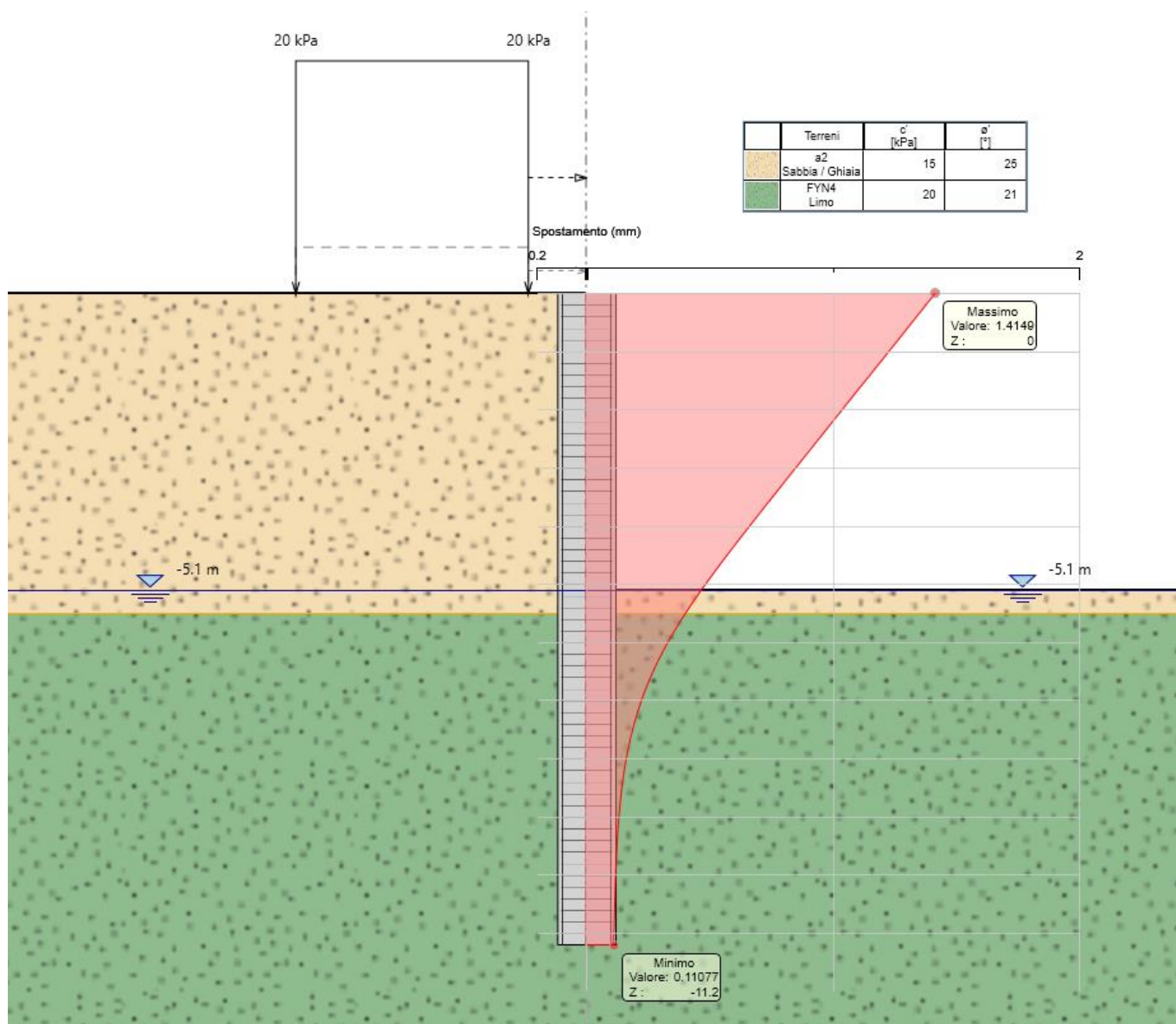


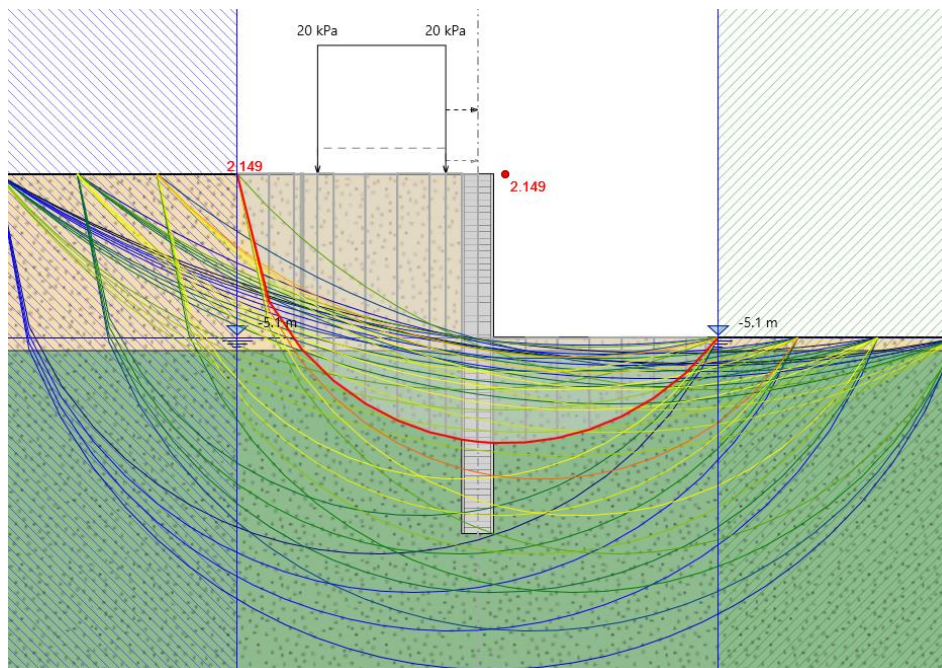
Figura 13-10. Deformata dell'opera di sostegno nella configurazione di fondo scavo

La deformata dell'opera rientra nei limiti progettuali stabiliti.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 147 di 156

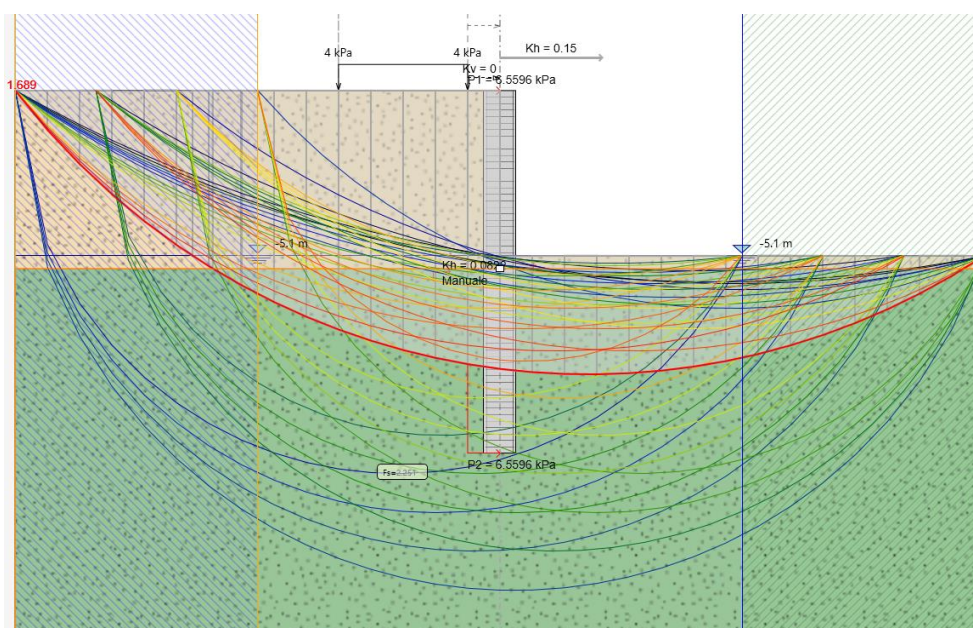
1.1.2 Stabilità globale

CONDIZIONI STATICHE



Verifica soddisfatta

CONDIZIONI SISMICHE



Verifica soddisfatta

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	148 di 156

1.1 Verifiche strutturali – condizioni statiche

VERIFICA A TAGLIO - SLU						
r	500	mm				
c	82	mm				
rs	418	mm				
α	0.56	rad				
Atot	785398	mm ²				
A	645647	mm ²				
h	931.9	mm	Rck	30		
d	766.1	mm	fck	24.9		
bw	842.8	mm	γ_c	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.511			N.ro		area_ferro
k	1.511		As	20	ϕ	20.0
Asl	6283	mm ²				
Asl/(bw · d)	0.010					
ρ_1	0.010		Vrd	338.8	kN	
vmin	0.324		Ved	57	KN	
vmin · bw · d	209428	N	Vrd/Ved	5.94	-	
Vrd	338754	N				
Non necessita di armatura a taglio						

La sezione non necessita armatura a taglio, tuttavia si prevede una spirale $\phi 12$ passo 20 cm fuori calcolo.

Per l'armatura sono state impiegato 20 barre con diametro ϕ 20 mm.

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Pilastro
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicit�:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	141.60 daN/cm ²
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80 daN/cm ²
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 149 di 156

Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec:	314750 daN/cm ²
Resis. media a trazione fctm:	25.60 daN/cm ²
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	137.50 daN/cm ²
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	137.50 daN/cm ²
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	100.00 daN/cm ²
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm ²
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0 daN/cm ²
	Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0 daN/cm ²
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0 daN/cm ²
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3375.0 daN/cm ²

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30

Raggio circ.:	50.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø	Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	41.8	20	20

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	12 mm
Passo staffe:	20.0 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
---------	---	----	----	----	----

PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	150 di 156

1	10210	10070	0	540	0
2	7461	5106	0	5706	0

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

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	10210	7746	0

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

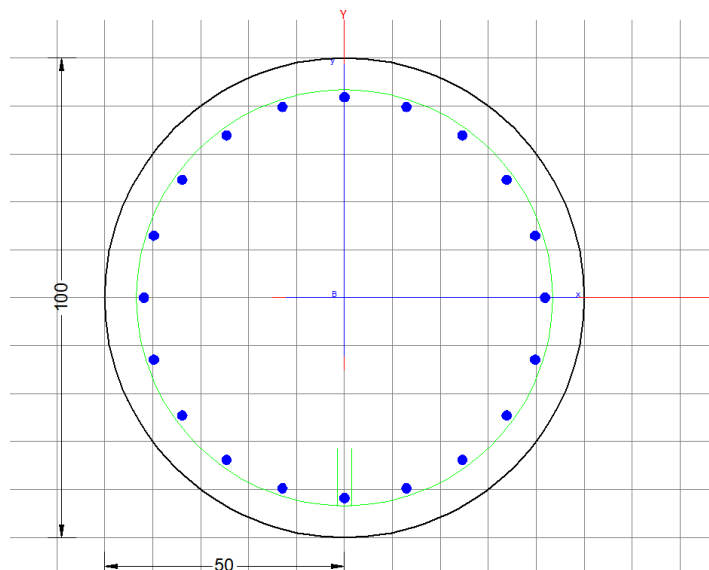
N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	10210	7746 (35436)	0 (0)

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

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	10210	7746 (35436)	0 (0)



 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	151 di 156

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	11.1	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx Sn	Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	10210	10070	0	10180	96975	0	9.63	62.8(23.6)
2	S	7461	5106	0	7489	96129	0	18.83	62.8(23.6)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.0	50.0	0.00217	0.0	41.8	-0.01139	0.0	-41.8
2	0.00350	0.0	50.0	0.00216	0.0	41.8	-0.01153	0.0	-41.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000162232	-0.004611575	----	----
2	0.000000000	0.000163719	-0.004685940	----	----

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm²]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm²]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 152 di 156

Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre								
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure								
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	12.8	0.0	0.0	-280	0.0	-41.8	1192	15.7

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}										
e1	Esito della verifica										
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata										
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata										
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]										
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]										
k3	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]										
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali										
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali										
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]										
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa										
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]										
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]										
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]										
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi										
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]										
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]										
Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00016	0	0.500	20.0	72	0.00008 (0.00008)	503	0.042 (0.20)	35436	0

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	12.8	0.0	0.0	-280	0.0	-41.8	1192	15.7

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00016	0	0.500	20.0	72	0.00008 (0.00008)	503	0.042 (0.20)	35436	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	12.8	0.0	0.0	-280	0.0	-41.8	1192	15.7

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00016	0	0.500	20.0	72	0.00008 (0.00008)	503	0.042 (0.20)	35436	0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	153 di 156

1.2 Verifiche strutturali – condizioni sismiche

VERIFICA A TAGLIO - SLV						
r	500	mm				
c	82	mm				
rs	418	mm				
α	0.56	rad				
Atot	785398	mm ²				
A	645647	mm ²				
h	931.9	mm	Rck	30		
d	766.1	mm	fck	24.9		
bw	842.8	mm	γ_c	1.5		
$1+(200/d)^{0.5}$	1.511			N.ro		area_ferro
k	1.511		As	20	ϕ	20.0
Asl	6283	mm ²				
Asl/(bw·d)	0.010					
ρ_1	0.010		Vrd	338.8	kN	
vmin	0.324		Ved	82	KN	
vmin·bw·d	209428	N	Vrd/Ved	4.11	-	
Vrd	338754	N				
Non necessita di armatura a taglio						

La sezione non necessita armatura a taglio, tuttavia si prevede una spirale $\phi 12$ passo 20 cm fuori calcolo.

Per l'armatura sono state impiegato 20 barre con diametro ϕ 20 mm.

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Tipologia sezione:	Sezione generica di Pilastro
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicit�:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	141.60 daN/cm ²
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80 daN/cm ²

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	154 di 156

Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	314750	daN/cm ²
Resis. media a trazione fctm:	25.60	daN/cm ²

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm ²
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0	daN/cm ²
	Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm ²
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm ²
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30

Raggio circ.:	50.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø	Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	41.8	20	20

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	12 mm
Passo staffe:	20.0 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	10996	23203	0	948	0
2	7461	14586	0	8249	0

RISULTATI DEL CALCOLO

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU3000 001	REV. A	FOGLIO 155 di 156

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	11.1	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx Sn	Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My res	Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	10996	23203	0	10984	68573	0	2.96	62.8(23.6)
2	S	7461	14586	0	7473	67537	0	4.63	62.8(23.6)

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00093	0.0	50.0	0.00067	0.0	41.8	-0.00196	0.0	-41.8
2	0.00092	0.0	50.0	0.00066	0.0	41.8	-0.00196	0.0	-41.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000031462	-0.000641408	----	----
2	0.000000000	0.000031298	-0.000648226	----	----

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'					
PT90 – Area di stoccaggio: Opera di sostegno MU30 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3U	40 D 29	CL	MU3000 001	A	156 di 156

13.5 CALCOLO INDICENZA ARMATURA

PARATIA MU30-TIPO1			
TIPO	PARTE D'OPERA	INCIDENZA LINEARE (Kg/m)	INCIDENZA (Kg/mc)
PARATIA	Palo L=10.00m	64	90