

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI PROGETTI PALERMO

SOGGETTO TECNICO:



DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO  
S. O. INGEGNERIA DI PALERMO

PROGETTAZIONE:

SINTAGMA S.r.l. - ITALIANA SISTEMI S.r.l.

TIMBRO E FIRMA DEL PROGETTISTA



PROGETTO DEFINITIVO

**CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016**

**Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento  
per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo**

OPERE CIVILI

NUOVO SOTTOVIA DI SEGESTA

RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA

SCALA

Foglio

di

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
3 0 4 8 1 7	S 0 1	P D	T G - -	0 8	0 0 0	E 0 0 0 2

Rev.	Descrizione	Progettista			RFI			
		Redatto	Verificato	Approvato	Verificato Team Ver.	Verificato	C.P. Approvato	Autorizzato
A	Emissione	Ottobre '18	Ottobre '18	Ottobre '18	Ottobre '18	Ottobre '18	Ottobre '18	Ottobre '18
		Geom. Picariello	Ing. Ciaravola	Ing. La Tessa	D.T.	D.T.	Ing. Martinelli	Ing. Palazzo
B	Rev. su Ist. RFI Roma	Giugno '19	Giugno '19	Giugno '19	Giugno '19	Giugno '19	Giugno '19	Giugno '19
		Geom. Picariello	Ing. Ciaravola	Ing. La Tessa	D.T.	D.T.	Ing. Martinelli	Ing. Palazzo

LINEA	SEDE TECN.	NOME DOC.	NUMERAZ.
Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data
Archiviato	Data		

## SOMMARIO

<b>1.-.. GENERALITÀ.....</b>	<b>5</b>
1.1.-.. Premessa.....	5
1.2.-.. Normativa di riferimento .....	5
1.3.-.. Caratteristiche dei materiali.....	6
<b>1.3.1.-.. Calcestruzzo .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3.1.-.. Acciaio .....</b>	<b>7</b>
1.4.-.. Descrizione dell'opera .....	7
<b>2.-.. MODELLO DI CALCOLO.....</b>	<b>10</b>
2.1.-.. Solettone di copertura .....	10
2.2.-.. Paratia di pali .....	10
2.3.-.. Muri di sostegno.....	10
2.4.-.. Modello geotecnico del terreno .....	11
<b>3.-.. ANALISI DEI CARICHI ELEMENTARI.....</b>	<b>12</b>
3.1.-.. Carichi permanenti .....	12
<b>3.1.1.-.. Peso Proprio del solettone di copertura (<math>G_{1.1}</math>) .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1.2.-.. Spinta del terreno (<math>G_{1.2}</math>) .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1.3.-.. Peso proprio di Ballast ed Armamento (<math>G_{2.1}</math>).....</b>	<b>14</b>
3.2.-.. Carichi variabili.....	14
<b>3.2.1.-.. Azione da traffico ferroviario .....</b>	<b>14</b>
3.2.1.1.-.. Effetti dinamici.....	15
3.2.1.2.-.. Distribuzione dei carichi ferroviari.....	17
3.2.1.1.-.. Treno di carico LM71.....	18
3.2.1.2.-.. Treno di carico SW.....	18
3.2.1.3.-.. Frenatura e avviamento.....	20
3.2.1.4.-.. Posizione dei treni di carico.....	21
<b>3.2.2.-.. Azioni termiche .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.3.-.. Carico neve.....</b>	<b>22</b>
3.3.-.. Azioni sismiche .....	22
<b>3.3.1.-.. Pericolosità sismica .....</b>	<b>23</b>
3.3.1.1.-.. Spinta sismica del terreno .....	24

3.4.-.. Azioni indirette: Ritiro .....	25
3.5.-.. Combinazioni di carico .....	25
<b>4.-.. ANALISI DEL SOLETTONE DI COPERTURA .....</b>	<b>31</b>
4.1.-.. Inviluppo delle caratteristiche di sollecitazione .....	31
<b>4.1.1.-.. Inviluppo SLU .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.2.-.. Inviluppo SLE.....</b>	<b>33</b>
4.2.-.. Verifiche strutturali .....	34
<b>4.2.1.-.. Verifiche allo Stato Limite Ultimo.....</b>	<b>34</b>
4.2.1.1.-.. Verifica a flessione .....	35
4.2.1.2.-.. Verifica a taglio.....	36
<b>4.2.2.-.. Verifiche allo Stato Limite di Esercizio.....</b>	<b>37</b>
4.2.2.1.-.. Verifica delle tensioni in esercizio .....	37
4.2.2.2.-.. Verifica allo stato limite di fessurazione .....	38
4.2.2.3.-.. Verifica dello stato limite di deformazione.....	40
<b>5.-.. ANALISI DELLA PARATIA .....</b>	<b>41</b>
5.1.-.. Paratia in corrispondenza del sottovia.....	41
<b>5.1.1.-.. Risultati delle analisi .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1.2.-.. Verifiche.....</b>	<b>46</b>
5.1.2.1.-.. Verifica al collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera.....	46
5.1.2.2.-.. Verifica di instabilità del fondo scavo per sollevamento .....	47
5.1.2.3.-.. Verifica di instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.....	49
5.1.2.4.-.. Verifica al raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.....	52
5.2.-.. Paratia puntonata in testa .....	54
<b>5.2.1.-.. Risultati delle analisi .....</b>	<b>54</b>
<b>5.2.2.-.. Verifiche.....</b>	<b>56</b>
5.2.2.1.-.. Verifica al collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera.....	57
5.2.2.2.-.. Verifica di instabilità del fondo scavo per sollevamento .....	57
5.2.2.3.-.. Verifica di instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.....	58
5.2.2.4.-.. Verifica al raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.....	61

5.3.-.. Paratia libera .....	62
<b>5.3.1.-.. Risultati delle analisi .....</b>	<b>63</b>
<b>5.3.2.-.. Verifiche.....</b>	<b>64</b>
5.3.2.1.-.. Verifica al collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera.....	65
5.3.2.2.-.. Verifica di instabilità del fondo scavo per sollevamento .....	65
5.3.2.3.-.. Verifica di instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.....	66
5.3.2.4.-.. Verifica al raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.....	69
<b>6.-.. ANALISI DEI MURI DI SOSTEGNO .....</b>	<b>71</b>
6.1.-.. Muro tipo_1 .....	76
<b>6.1.1.-.. Risultati delle analisi .....</b>	<b>76</b>
<b>6.1.2.-.. Verifiche.....</b>	<b>80</b>
6.1.2.1.-.. Verifica allo scorrimento sul piano di posa.....	81
6.1.2.2.-.. Verifica al carico limite.....	83
6.1.2.3.-.. Verifica al ribaltamento .....	87
6.1.2.4.-.. Verifiche strutturali allo SLU ed allo SLE .....	88
6.2.-.. Muro tipo_2 .....	92
<b>6.2.1.-.. Risultati delle analisi .....</b>	<b>92</b>
<b>6.2.2.-.. Verifiche.....</b>	<b>97</b>
6.2.2.1.-.. Verifica allo scorrimento sul piano di posa.....	97
6.2.2.2.-.. Verifica al carico limite.....	100
6.2.2.3.-.. Verifica al ribaltamento .....	102
6.2.2.4.-.. Verifiche strutturali allo SLU ed allo SLE .....	104
6.3.-.. Muro tipo_3 .....	109
<b>6.3.1.-.. Risultati delle analisi .....</b>	<b>109</b>
<b>6.3.2.-.. Verifiche.....</b>	<b>113</b>
6.3.2.1.-.. Verifica allo scorrimento sul piano di posa.....	113
6.3.2.2.-.. Verifica al carico limite.....	116
6.3.2.3.-.. Verifica al ribaltamento .....	120

6.3.2.4.-... Verifiche strutturali allo SLU ed allo SLE ..... 122

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>	
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>		<p>PAGINA <b>5 / 126</b></p>

## 1.-..GENERALITÀ

### 1.1.-..PREMESSA

La presente relazione di calcolo si inserisce nell'ambito della Progettazione Definitiva per il ripristino della linea ferroviaria Alcamo Diramazione - Trapani (via Milo) chiusa nel 2013 per condizioni di degrado diffuso non più risolvibili con interventi di manutenzione ordinaria né straordinaria. Nello specifico, nei capitoli a seguire si espongono tutte le scelte tecniche e le relative verifiche di sicurezza condotte nei confronti del nuovo sottovia previsto alla pk87+723, nelle immediate vicinanze della fermata di Segesta (pk87+450), a seguito della soppressione del passaggio a livello attualmente presente, così come si evince dalla figura sottostante. In rosso si evidenzia la nuova viabilità.

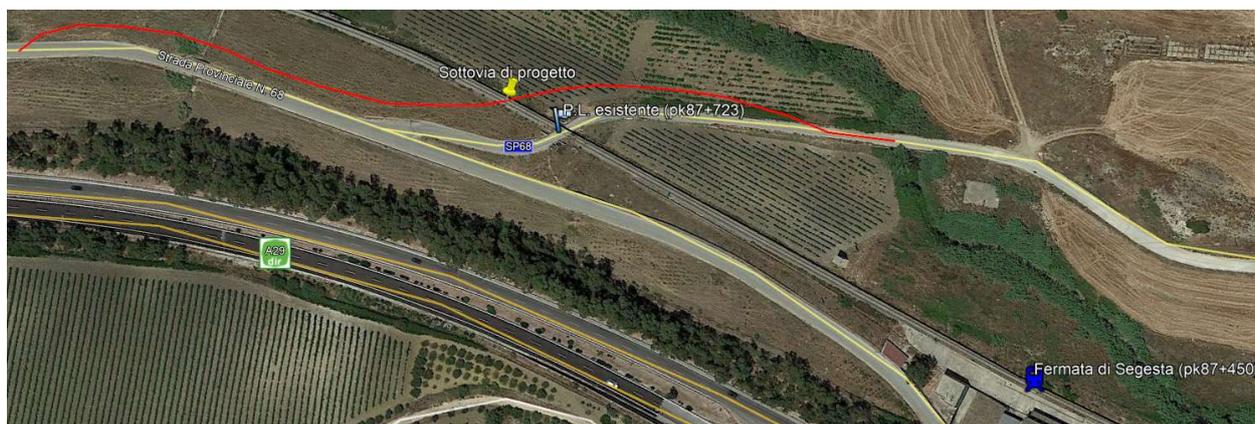


Figura 1 –Aerofoto stato dei luoghi

### 1.2.-..NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sono svolti in conformità alle normative vigenti con particolare riferimento a:

- **Norme Tecniche per le Costruzioni del 17/01/2018 (NTC18)** “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Norma Europea UNI ENV 1990 – **Eurocodice 0** - Basi di calcolo;
- Norma Europea UNI ENV 1991 – **Eurocodice 1** - Azioni sulle strutture;
- Norma Europea UNI ENV 1992 – **Eurocodice 2** – Progettazione delle strutture in calcestruzzo;
- Norma Europea UNI ENV 1997 – **Eurocodice 7** – Progettazione Geotecnica;
- Norma Europea UNI EN 1198 – **Eurocodice 8** – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture.

Inoltre si sono sempre tenute presenti le indicazioni e le restrizioni di cui alle norme ferroviarie tra cui:

- **RFI DTC SI PS MA IFS 001 B** - Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e strutture;

### 1.3.-..CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 1.3.1.-..Calcestruzzo

Rif: UNI EN 206-1 (Specificazione, prestazione, produzione e conformità)  
UNI 11104 (Istruzioni complementari per l'applicazione della UNI EN 206)

- Magrone di fondazione C12/15

Classe di esposizione	X0	
Peso Specifico	$\gamma =$	25kN/m <sup>3</sup>
Resistenza Cubica Caratteristica a compressione	$R_{ck} =$	15MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a compressione	$f_{ck} =$	12MPa
Resistenza Cilindrica Media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	20MPa
Modulo Elastico	$E = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} =$	27085MPa

- Struttura sottovia e muri C30/37

Classe di esposizione	XC3	
Classe di consistenza	S4, S5	
Contenuto minimo di cemento	300kg/m <sup>3</sup>	
Copriferro	$\geq 4,0$ cm	
Tipo di cemento	CEM I, II, III; IV, V	
Peso Specifico	$\gamma =$	25kN/m <sup>3</sup>
Resistenza Cubica Caratteristica a compressione	$R_{ck} =$	37MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a compressione	$f_{ck} =$	30MPa
Resistenza Cilindrica Media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	38MPa
Modulo Elastico	$E = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} =$	32837MPa
Coefficiente parziale di sicurezza allo SLU	$\gamma_C =$	1,5
Resistenza Cilindrica media a trazione	$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3} =$	2,90MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} =$	2,03MPa
Resistenza di Calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1,35MPa
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1,2 \cdot f_{ctm} =$	3,48MPa
Resistenza Cilindrica caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{cfm} =$	2,44MPa

- Pali per paratia e cordoli C25/30

Classe di esposizione	XC2	
Classe di consistenza	S4,S5	
Contenuto minimo di cemento	300kg/m <sup>3</sup>	
Rapporto acqua/cemento	0,60	
Copriferro	≥4,0cm	
Tipo di cemento	CEM III, IV, V	
Peso Specifico	$\gamma =$	25kN/m <sup>3</sup>
Resistenza Cubica Caratteristica a compressione	$R_{ck} =$	30MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a compressione	$f_{ck} =$	25MPa
Resistenza Cilindrica Media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	33MPa
Modulo Elastico	$E = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} =$	31476MPa
Coefficiente parziale di sicurezza allo SLU	$\gamma_C =$	1,5
Resistenza Cilindrica media a trazione	$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3} =$	2,56MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} =$	1,80MPa
Resistenza di Calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1,20MPa
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1,2 \cdot f_{ctm} =$	3,07MPa
Resistenza Cilindrica caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{cfm} =$	2,15MPa

### 1.3.1.-..Acciaio

- Acciaio per c.a. e paratia di pali tipo B450 C

Peso Specifico	$\gamma =$	78.5kN/m <sup>3</sup>
Modulo Elastico	$E =$	206000MPa
Resistenza caratteristica allo snervamento	$f_{yk} =$	450MPa
Resistenza caratteristica a rottura	$f_{tk} =$	540MPa
Coefficiente di sicurezza allo SLU	$\gamma_S =$	1,15
Resistenza di calcolo allo SLU	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391,3MPa

### 1.4.-..DESCRIZIONE DELL'OPERA

A seguito della soppressione del passaggio a livello attualmente presente nelle immediate vicinanze della fermata di Segesta, si è reso necessario creare un sottovia che by-passi l'interferenza tra la SP68 e la linea ferroviaria oggetto di ripristino.

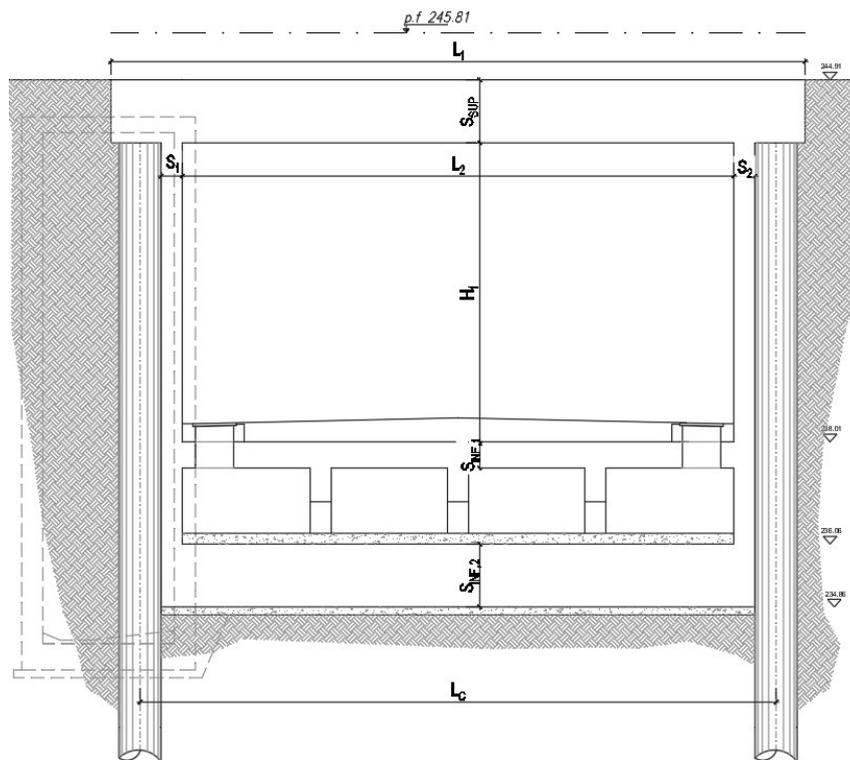
Nel presente paragrafo verrà presentata in maniera dettagliata la geometria del nuovo sottovia oggetto di studio.

Esso è costituito da due paratie di pali in c.a. contrapposte sulle quali poggia un solettone di copertura (in continuità con i cordoli di testata delle paratie), anch'esso in c.a., sul quale insiste la linea ferroviaria.

Sulla parte inferiore è prevista una vasca di raccolta delle acque costituita da un solettone di fondo, a diretto contatto con il terreno, ed una soletta superiore a realizzare il piano carrabile, resi solidali tra loro da setti intermedi in c.a..

Le paratie di pali si estendono anche oltre l'ingombro longitudinale del sottovia (circa 40,00m) a sostegno dello scavo da realizzare per la nuova viabilità, fino ad una altezza di scavo di circa 4,00m. Da questa in poi sono previsti muri di contenimento in c.a..

In corrispondenza del sottovia la paratia di pali risulta essere puntonata in maniera continua su tre livelli: in testa (dal solettone di copertura), al livello del piano carrabile ed al livello del solettone di fondo; al di fuori del sottovia è stato necessario inserire dei puntoni puntuali in c.a. di sezione 80x80cm ad interasse 3,00m fino ad una altezza libera della paratia di circa 6,00m, oltre la quale i puntoni né garantiscono la minima altezza libera di 5,00m dal livello stradale e né risultano essere necessari alla stabilità della paratia stessa. Di seguito si riporta una sezione esplicitiva sulla quale si individuano le principali grandezze del sottovia.



**Figura 2 –Sezione trasversale in corrispondenza del sottovia**

in cui:

- $S_{SUP} = 1,20\text{m}$  (altezza del solettone di copertura);
- $S_1 \equiv S_2 = 0,40\text{m}$  (spessore delle contropareti);



CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**9 / 126**

- $L_1 = 13,15\text{m}$  (larghezza totale solettone di copertura);
- $L_2 = 10,45\text{m}$  (larghezza interna sottovia);
- $L_c = 12,05\text{m}$  (luce di calcolo del solettone superiore);
- $H_1 = 5,70\text{m}$  (altezza interna sottovia);
- $S_{INF,1} = 0,50\text{m}$  (spessore della soletta superiore della vasca di raccolta acque);
- $S_{INF,2} = 1,20\text{m}$  (spessore del solettone di fondo).

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici dedicati.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>	<p>PAGINA <b>10 / 126</b></p>

## 2.-..MODELLO DI CALCOLO

Con riferimento a quanto sopra descritto, per le verifiche strutturali dell'intero complesso verranno esaminati diversi modelli di calcolo di seguito descritti.

### 2.1.-..SOLETTONE DI COPERTURA

Il solettone di copertura viene esaminato per una estensione di 1,00m e pertanto modellato come un elemento beam monodimensionale in c.a. di sezione pari a 100x120cm (bxh), soggetto ai carichi verticali da peso proprio strutturale e non, e dai carichi variabili dovuti al traffico ferroviario.

Questo viene analizzato secondo due condizioni di vincolo:

- 1) Trave semplicemente appoggiata per massimizzare gli effetti sull'elemento beam;
- 2) Trave doppiamente incastrata per massimizzare gli effetti in appoggio.

Dalla condizione di vincolo 2) si ricavano anche gli scarichi da applicare in testa alla paratia di pali (trattata con un modello a parte).

Il solettone di copertura così descritto viene analizzato mediante il software di calcolo agli elementi finiti SAP2000 v20.2 dalla C.S.I. America.

### 2.2.-..PARATIA DI PALI

La paratia di pali in c.a. viene analizzata in tre condizioni:

- 1) **Paratia puntonata su tre livelli**: si tratta della paratia in corrispondenza del sottovia in cui i tre livelli di puntonatura sono rappresentati dal solettone di copertura, dal solettone di fondazione e dalla soletta a quota strada. Questa è caricata dal terreno a tergo e dagli scarichi provenienti dal modello precedente del solettone di copertura;
- 2) **Paratia puntonata in testa**: si tratta della parte di paratia al di fuori del sottovia fino ad una altezza libera di circa 6,00m. Questa è caricata dal terreno a tergo della stessa;
- 3) **Paratia libera**: si tratta delle restanti parti di paratia con altezza libera inferiore ai 6,00m. Questa è caricata dal terreno a tergo della stessa;

Le tre diverse paratie di pali così descritte vengono modellate con il software di calcolo agli elementi finiti Pac v12.0 della Aztec Informatica.

### 2.3.-..MURI DI SOSTEGNO

Come descritto in precedenza, oltre le paratie sono previsti dei muri di sostegno per il terreno al lato della carreggiata. I muri di sostegno raggiungono una altezza massima del paramento di

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>	
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>		<p>PAGINA <b>11 / 126</b></p>

circa 5,00m e sono soggetti alla sola spinta dei terreni a tergo degli stessi. Questi sono variabili lungo la loro estensione e si distinguono tre tipologie che di seguito verranno esaminate.

#### **2.4.-..MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO**

Di seguito si riportano i parametri fisico-meccanici dei terreni interessati dalle nuove strutture oggetto della presente relazione di calcolo. Tali parametri derivano da una campagna di indagini effettuata da Italferr nel 2018.

A valle di ciò si riconoscono i seguenti parametri geotecnici.

- **da q.ta 0.00m a q.ta -7.00m da p.c. (spessore 7.00m): Limi sabbiosi di colore marrone chiaro**
  - $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$       peso per unità di volume
  - $\varphi = 27^\circ$               angolo di attrito interno
  - $c' = 5 \text{ kPa}$               coesione drenata
- **da q.ta -7.00m a q.ta -30.00m da p.c. (spessore 27.00m): Argille dure di colore grigiastro**
  - $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$       peso per unità di volume
  - $\varphi = 27^\circ$               angolo di attrito interno
  - $c' = 5 \text{ kPa}$               coesione drenata

La falda è presente ad una q.ta di circa -3.00m dal locale p.c..

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>	
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>		<p>PAGINA <b>12 / 126</b></p>

### 3.-..ANALISI DEI CARICHI ELEMENTARI

Il dimensionamento della struttura viene effettuato sulla base delle azioni elementari riportate nei successivi paragrafi.

#### 3.1.-..CARICHI PERMANENTI

##### 3.1.1.-..Peso Proprio del solettone di copertura (G<sub>1.1</sub>)

Il Peso Proprio del solettone di copertura (P.P.<sub>COP</sub>) viene tenuto in conto direttamente dal software di calcolo di riferimento.

- P.P. Solettone di copertura:

$$P.P.SOLETTONE = \gamma_{CLS} \times S_{SUP} \times 1,00m = 25 \times 1,20 \times 1,00 = 30,0kN/m.$$

##### 3.1.2.-..Spinta del terreno (G<sub>1.2</sub>)

La spinta del terreno agente sia sulla paratia di pali in c.a. che sui muri di sostegno in c.a. viene calcolata automaticamente dal programma di calcolo utilizzato adoperando il metodo di Culmann.

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (in caso di terreno stratificato). La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- 1) si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione  $\alpha$  rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- 2) si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>	
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>		<p>PAGINA <b>13 / 126</b></p>

3) dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva. Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z. Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

### Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume efficace:

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione esercitata dall'acqua.

Inoltre, il regime di filtrazione della falda può essere idrostatico o idrodinamico; nell'ipotesi di regime idrostatico sia la falda di monte che di valle viene considerata statica, la pressione in un punto a quota h al di sotto della linea freatica sarà dunque pari a:

$$\gamma_w \times h$$

Nell'ipotesi di regime idrodinamico la falda viene considerata idrodinamica, la pressione in un punto a profondità hm dalla linea freatica se calcolata da monte risulterà pari a:

$$\gamma_w \times h_m \times (1-i)$$

oppure, se calcolata da valle, la pressione in un punto a profondità h<sub>v</sub> dalla linea freatica da valle risulterà pari a:

$$\gamma_w \times h_v \times (1+i)$$

In cui:

- "i" rappresenta il gradiente idraulico nell'ipotesi di filtrazione monodimensionale.

Il valore della pressione al piede della paratia in regime idrodinamico coincide sia se calcolata da monte che da valle.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>	<p>PAGINA <b>14 / 126</b></p>

### Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con "W" il peso del cuneo e con "C" il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia è valutata come:

$$F_i = W * C$$

Indicando con "S" la spinta calcolata in condizioni statiche e con S<sub>s</sub> la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come:

$$D_s = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/3 dell'altezza della parete stessa (diagramma triangolare con vertice in alto).

### **3.1.3.-..Peso proprio di Ballast ed Armamento (G<sub>2.1</sub>)**

La determinazione del carico permanente portato dovuto al peso della massicciata, dell'armamento e della impermeabilizzazione (inclusa la protezione) potrà effettuarsi assumendo, convenzionalmente, per linea in rettilineo, un peso di volume pari a 18,0kN/m<sup>3</sup> applicato su tutta la larghezza media compresa fra i muretti paraballast, per una altezza media fra piano del ferro ed estradosso della soletta pari a 0,80m.

Pertanto, si ha:

$$P.P._{BALL+ARM} = \gamma_{BALL+ARM} \times 0,80 \times 1,00m = 18 \times 0,80 \times 1,00 = 14,4kN/m.$$

### **3.2.-..CARICHI VARIABILI**

#### **3.2.1.-..Azione da traffico ferroviario**

Nell'ambito del sottopasso ferroviario, si è fatto riferimento al D.M. 17/01/2018 (§5.2), considerando i carichi variabili da azioni da traffico ferroviario:

*"I carichi verticali associati al transito dei convogli ferroviari sono definiti per mezzo di diversi modelli di carico rappresentativi delle diverse tipologie di traffico ferroviario: normale (LM71) e pesante (SW).*

*I valori dei suddetti carichi dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento "α", variabile in ragione della tipologia dell'infrastruttura (ferrovie ordinarie, ferrovie leggere,*

metropolitane, ecc.)”, come definito in Tab. 2.5.1.4.1-1 Coefficiente "α" del MdP RFI 2018 e di seguito riportata.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE "α"
LM71	1,10
SW/0	1,10
SW/2	1,00

### 3.2.1.1.-.Effetti dinamici

Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture del ponte dall'applicazione statica dei modelli di carico debbono essere incrementati per tenere conto della natura dinamica del transito dei convogli. Gli effetti di amplificazione dinamica dovranno valutarsi nel modo seguente:

- per le usuali tipologie di ponti e per velocità di percorrenza non superiore a 200 km/h, quando la frequenza propria della struttura ricade all'interno del fuso indicato in Fig. 5.2.7 delle NTC18, è sufficiente utilizzare i coefficienti dinamici  $\phi$  definiti di seguito;
- per le usuali tipologie di ponti, ove la velocità di percorrenza sia superiore a 200 km/h e quando la frequenza propria della struttura non ricade all'interno del fuso indicato in Fig. 5.2.7 delle NTC18 e comunque per le tipologie non convenzionali (ponti strallati, ponti sospesi, ponti di grande luce, ponti metallici difforni dalle tipologie in uso in ambito ferroviario, ecc.) dovrà effettuarsi una analisi dinamica adottando convogli "reali" e parametri di controllo specifici dell'infrastruttura e del tipo di traffico ivi previsto.

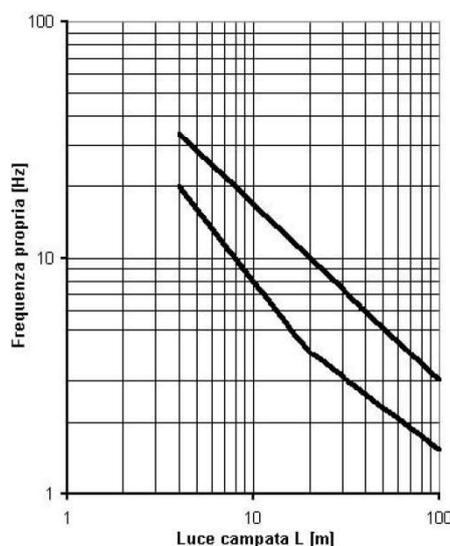


Fig. 5.2.7 - Limiti delle frequenze proprie  $n_0$  in Hz in funzione della luce della campata

Nel caso specifico ci troviamo nel primo caso ed in presenza di uno schema statico (a vantaggio di statica) di trave semplicemente appoggiata per cui la prima frequenza flessionale può valutarsi come segue:

$$n_0 = \frac{17,75}{\sqrt{\delta_0}} = \frac{17,75}{\sqrt{2,51}} = 11,2 \text{ Hz};$$

In cui:

- $\delta_0$ : rappresenta la freccia, espressa in mm, valutata in mezzeria dovuta alle azioni permanenti

$$\delta_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L_C^4}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{44,4 \cdot 12050^4}{33722 \cdot 1,44 \cdot 10^{11}} = 2,51 \text{ mm};$$

$$q = P \cdot P_{\text{SOLETTONE}} + P \cdot P_{\text{BALL+ARM}} = 30,0 + 14,4 = 44,4 \text{ kN/m};$$

$$I = \frac{b \cdot H^3}{12} = \frac{1000 \cdot 1200^3}{12} = 1,44 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4;$$

che rientra nei limiti del fuso:

$$n_{0,SUP} = 94,76 \cdot L_C^{-0,748} = 94,76 \cdot 12,05^{-0,748} = 14,72 \text{ Hz};$$

$$n_{0,INF} = 80/L_C = 80/12,05 = 6,64 \text{ Hz};$$

per cui si ha:

$$n_{0,INF} \leq n_0 \leq n_{0,SUP}$$

Trattandosi di una linea con ridotto standard manutentivo, il coefficiente di incremento dinamico  $\phi$  si calcola come:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi - 0,2}} + 0,73 = \frac{2,16}{\sqrt{12,05 - 0,2}} + 0,73 = 1,39;$$

In cui:

- $L_\phi$  è la lunghezza caratteristica in metri definita come definito in Tab. 5.2.II delle NTC18

In tale tabella sono definiti le lunghezze “caratteristiche” per varie tipologie costruttive di ponti, in particolare di seguito si riporta la parte afferente a strutture a “travi principali”.

In particolar modo, per l'impalcato in oggetto ci si riferisce al punto 5.1.

TRAVI PRINCIPALI		
5	5.1 Travi e solette semplicemente appoggiate (compresi i solettoni a travi incorporate)	luce nella direzione delle travi principali
	5.2 Travi e solette continue su n luci, indicando con: $L_m = 1/n \cdot (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$	$L_\Phi = kL_m$ dove: $n = 2 - 3 - 4 - \geq 5$ $k = 1,2 - 1,3 - 1,4 - 1,5$
	5.3 Portali: - a luce singola  - a luci multiple	da considerare come trave continua a tre luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti e la lunghezza del traverso)  da considerare come trave continua a più luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti terminali e la lunghezza di tutti i traversi)
	5.4 Solette ed altri elementi di scatolari per uno o più binari (sottovia di altezza libera $\leq 5,0$ m e luce libera $\leq 8,0$ m).  Per gli scatolari che non rispettano i precedenti limiti vale il punto 5.3, trascurando la presenza della soletta inferiore e considerando un coefficiente riduttivo del $\Phi$ pari a 0,9, da applicare al coefficiente $\Phi$	$\Phi_2 = 1,20; \Phi_3 = 1,35$
	5.5 Travi ad asse curvilineo, archi a spinta eliminata, archi senza riempimento.	metà della luce libera
	5.6 Archi e serie di archi con riempimento	due volte la luce libera

In definitiva si ha:

Calcolo coeff di amplificazione dinamica			
$L_\Phi = L_C$	=	12,05 [m]	Lunghezza caratteristica
$\Phi_3$	=	1,39 [-]	Coefficiente dinamico

**3.2.1.2.-..Distribuzione dei carichi ferroviari**

I sovraccarichi ferroviari si distribuiscono con una pendenza 4 a 1 all'interno del ballast, con la pendenza a 45° nel sub-ballast, super compattato, rinterro e all'interno del CLS – per cui la diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:

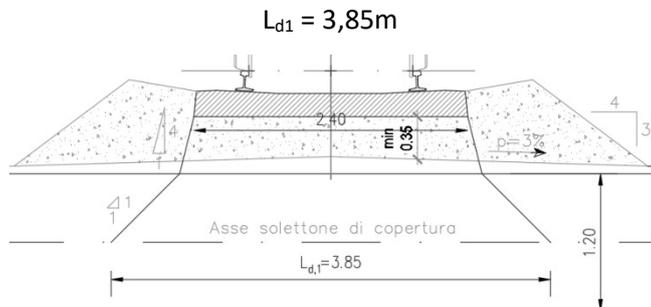


Figura 3 – Ripartizione trasversale dei treni di carico.

### 3.2.1.1.-.-Treno di carico LM71

Il treno di carico LM 71 è costituito da 4 assi verticali da 250 kN con interasse di 1,60m e carico distribuito (segmentabile) di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,80m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata. La distribuzione dei carichi del treno LM 71 è rappresentata di seguito.

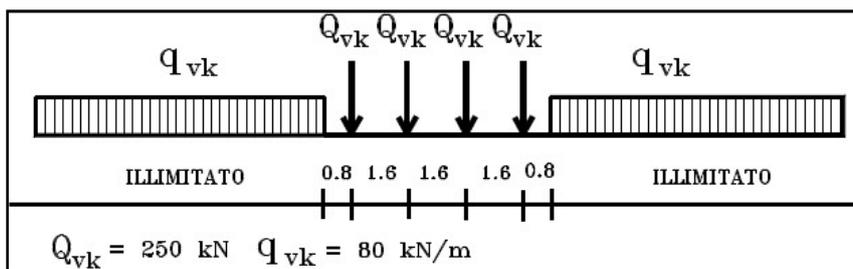


Figura 4 – Treno di carico LM 71.

Carico LM 71 ripartito a metro di profondità			
$\alpha$	= 1,10	[-]	coefficiente di adattamento
$\Phi_3$	= 1,39	[-]	coefficiente di amplificazione dinamica
$L_{d,1}$	= 3,85	[m]	lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale al binario
<b>LM 71</b>			
$Q_{1vk}$	= 250	[kN]	carico asse caratteristico
$Q_{1v}$	= $250 \times 1,10 \times 1,39 = 382,3$	[kN]	carico asse caratteristico dinamizzato + adattamento
$L_1$	= 6,40	[m]	impronta quattro assi
$q_{1vk}$	= $(382,3 \times 4) / 6,4 = 238,9$	[kN/m]	Carico di 4 assi ripartito su 6,40m
$q_{1vk}$	= $238,9 / 3,85 = 62,1$	[kN/m]	Carico di 4 assi ripartito in direzione trasversale al binario
$q_{2vk}$	= $80 \times 1,10 \times 1,39 = 12,3$	[kN/m]	Carico distribuito caratteristico LM71
$q_{2vk}$	= $122,3 / 3,85 = 31,8$	[kN/m]	Carico distribuito in direzione trasversale al binario

Tabella 1 –Treno di carico LM71.

### 3.2.1.2.-.-Treno di carico SW

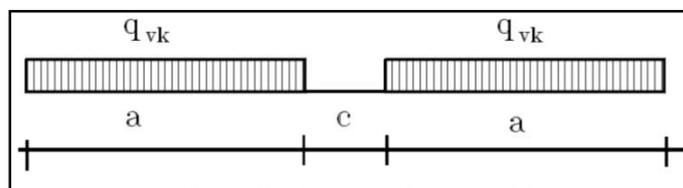
Tale carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

L'articolazione del carico è mostrata nella figura sottostante; per tale modello di carico sono considerate due distinte configurazioni denominate SW/0 ed SW/2. Le caratterizzazioni di entrambe queste configurazioni sono indicate nella Tab. 5.2.I delle NTC18 e di seguito riportata.

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**19 /**  
**126**



**Figura 5 – Treno di carico SW**

**Tab. 5.2.I - Caratteristiche Modelli di Carico SW**

Tipo di Carico	$q_{vk}$ [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

In riferimento, alla larghezza di diffusione del carico, vale quanto detto in precedenza (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

**Carico SW/0 ripartito a metro di profondità**

$\alpha$	= 1,10	[-]	coefficiente di adattamento
$\Phi_3$	= 1,39	[-]	coefficiente di amplificazione dinamica
$L_{d,1}$	= 3,85	[m]	lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale al binario
<b>SW/0</b>			
a	= 15,00	[m]	linea di carico
c	= 5,3	[m]	
$q_{3vk}$	= $133 \times 1,10 \times 1,39 = 203,4$	[kN/m]	
$q_{3vk}$	= $203,4 / 3,85 = 52,8$	[kN/m]	Carico SW/0 ripartito trasversalmente al binario

**Carico SW/2 ripartito a metro di profondità**

$\alpha$	= 1,00	[-]	coefficiente di adattamento
$\Phi_3$	= 1,39	[-]	coefficiente di amplificazione dinamica
$L_{d,1}$	= 3,85	[m]	lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale al binario
<b>SW/2</b>			
a	= 25,0	[m]	linea di carico
c	= 7,0	[m]	
$q_{3vk}$	= $150 \times 1,00 \times 1,39 = 208,5$	[kN/m]	
$q_{3vk}$	= $208,5 / 3,85 = 54,2$	[kN/m]	Carico SW/2 ripartito trasversalmente al binario

**Tabelle 2 – Treno di carico SW/0 e SW/2.**

In accordo con quanto previsto al §5.2.2.2.1.2 delle NTC18: "*I*SW/0 andrà utilizzato solo per le travi continue qualora più sfavorevole dell'LM71", il treno di carico SW/0 non è stato messo in conto nelle analisi in quanto non si tratta di trave continua.

### **3.2.1.3.-.Frenatura e avviamento**

Le sollecitazioni di frenatura ed avviamento agenti sulla sommità dei binari ed in direzione longitudinale degli stessi valgono secondo quanto indicato nella seguente tabella:

SOLLECITAZIONE	TRENO DI CARICO	CARICO [kN/m]
Avviamento	LM 71 – SW0 – SW2	33
Frenatura	LM 71 – SW0	20
Frenatura	SW2	35

**Tabella 3 – avviamento e frenatura.**

Le azioni di avviamento e frenatura saranno combinate con i relativi carichi verticali (per modelli di carico SW/0 ed SW/2 saranno tenute in conto solo le parti di struttura che sono caricate in accordo con la figura precedente degli schemi di carico).

Così come indicato sul MdP RFI 2018 §2.5.1.4.3.3, "*i valori caratteristici dell'azione di frenatura e di quella di avviamento devono essere moltiplicati per  $\alpha$  e non devono essere moltiplicati per  $\Phi$* ". Pertanto, tenendo conto di ciò e distribuendo tali carichi su una larghezza di diffusione pari allo scartamento  $s$  delle rotaie, si ha:

#### Avviamento e frenatura LM71 ed SW/0

$$\alpha = 1,10 \quad [-] \quad \text{Coefficiente di adattamento}$$

$$s = 1,435 \quad [\text{m}] \quad \text{Scartamento delle rotaie}$$

$$q_{5\text{avv}} = 25,30 \quad [\text{kN/m}] \quad \text{Avviamento LM71-SW/0}$$

$$q_{6\text{fre}} = 15,33 \quad [\text{kN/m}] \quad \text{Frenatura LM71-SW/0}$$

#### Avviamento e frenatura SW/2

$$\alpha = 1,00 \quad [-] \quad \text{Coefficiente di adattamento}$$

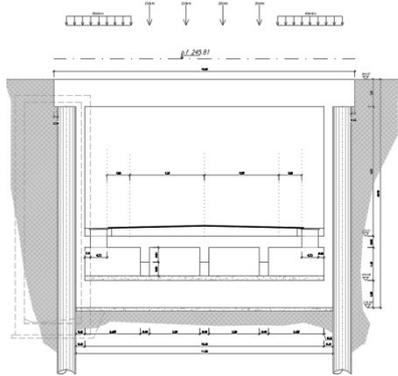
$$s = 1,435 \quad [\text{m}] \quad \text{Scartamento delle rotaie}$$

$$q_{5\text{avv}} = 23,00 \quad [\text{kN/m}] \quad \text{Avviamento SW/2}$$

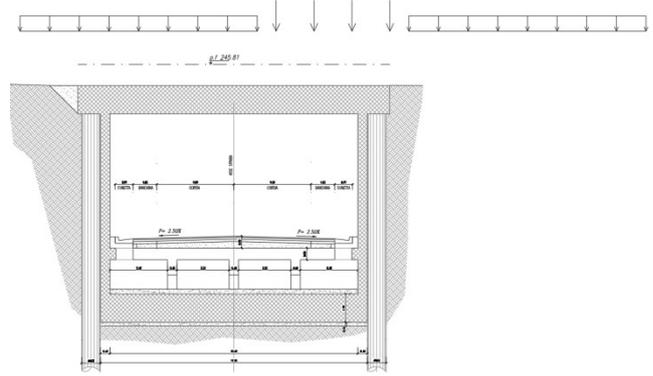
$$q_{6\text{fre}} = 24,40 \quad [\text{kN/m}] \quad \text{Frenatura SW/2}$$

### 3.2.1.4.-.Posizione dei treni di carico

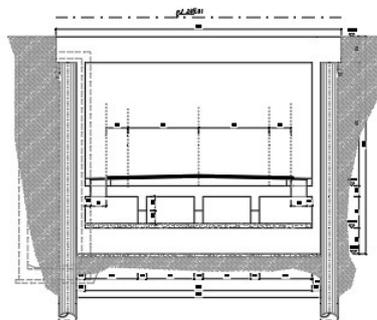
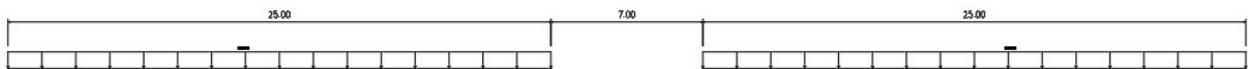
Per i treni di carico sopra definiti vengono considerate due diverse posizioni, di seguito esposte. Tali configurazioni di carico valgono per le analisi svolte sul solettone di copertura e sulla paratia a sostegno di questo. Per quanto riguarda invece le opere di sostegno previste oltre l'estensione del sottovia (paratia e muri) si considera la sola spinta del terreno a monte.



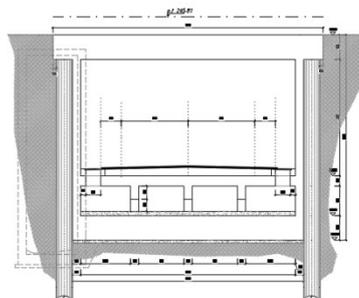
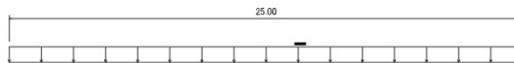
**Figura 6 – Treno di carico LM71-Posizione 1**



**Figura 7 – Treno di carico LM71-Posizione 2**



**Figura 8 – Treno di carico SW/2-Posizione 1**



**Figura 9 – Treno di carico SW/2-Posizione 2**

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>	<p>PAGINA <b>22 / 126</b></p>

### 3.2.2.-..Azioni termiche

In accordo con quanto previsto dal MdP RFI 2018, alla soletta superiore si applica una variazione termica uniforme pari a  $\Delta t = \pm 15^\circ\text{C}$  ed una variazione nello spessore tra estradosso ed intradosso pari a  $\Delta t = \pm 5^\circ\text{C}$ .

### 3.2.3.-..Carico neve

Il carico dovuto alla neve viene valutato in accordo al D. M. 17-01-2018:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t$$

in cui, considerando una Zona III, si ha:

$$q_{sk} = 0,51 \cdot [1 + (a_s/481)^2] = 0,51 \cdot [1 + (247/481)^2] = 0,64 \text{ kN/m}^2;$$

$C_e$  (coeff. di esposizione al vento) = 1,00

Valore caratteristico del carico al suolo ( $q_{sk} C_e$ ) = 0,64 kN/m<sup>2</sup>

Con riferimento al caso di "copertura ad una falda":

$$\alpha = 0 \Rightarrow \mu = 0,80 \Rightarrow q_s = 51,2 \text{ daN/m}^2$$

In accordo con la tabella 5.1.VI del D. M. 17-01-2018, il carico da neve va tenuto in conto solo in fase di esecuzione.

### 3.3.-..AZIONI SISMICHE

Determinazione del tipo di analisi sismica in accordo con il MdP RFI 2018:

- Velocità massima della linea  $\leq 200$  km/h: SI;
- Ponte continuo: NO;
- $n_0$  entro i limiti di fig.1.4.2.4.2: SI; (si veda in merito il §3.3.1)

Quindi, in accordo con la figura 2.5.1.4.2.4-1, non è richiesta l'analisi dinamica.

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  $k$ .

Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

$$F_h = k_h \cdot W; \quad \text{forza sismica orizzontale}$$

$$F_v = k_v \cdot W; \quad \text{forza sismica verticale}$$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g}; \quad \text{coeff. sismico orizzontale}$$

$$k_v = \pm 0,5k_h; \quad \text{coeff. sismico verticale}$$

Dove:

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

$S_S$  = coeff. amplificazione stratigrafica

$S_T$  = coeff. di amplificazione topografica

Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

### 3.3.1.-.Pericolosità sismica

Per la caratterizzazione sismica del sito si è utilizzata la microzonazione di cui al DM 17/01/2018, introducendo le coordinate geografiche di latitudine e longitudine proprie del sito di costruzione e valutando il relativo spettro di risposta allo SLV.

Coordinate geografiche		
Longitudine	12,825152	°
Latitudine	37,960555	°

Tabella 4 - coordinate geografiche

Vita nominale	Vn	50	anni
Classe d'uso		III	
Coefficiente d'uso	Cu	1,5	
Periodo di riferimento	Vr	75	anni

Tabella 5 - Periodo di riferimento per l'azione sismica

Stato Limite	$P_{VR}$	$T_R$
SLV	10	712

Tabella 6 - Periodo di ritorno

Valori dei parametri spettrali adottati per lo SLV			
$a_g$	=	0,099	g accelerazione orizzontale massima
$F_0$	=	2,537	fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
$T_c^*$	=	0,321	s periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Tabella 7 - Parametri spettrali

Nelle tabelle che seguono si riporta la categoria del sottosuolo e la categoria topografica, dei terreni interessati dall'opera e adottati nel seguito per il calcolo dell' azione sismica.

Tali parametri derivano dal lavoro di caratterizzazione riportato nella relazione geotecnica a corredo del presente progetto esecutivo.

<b>Categoria sottosuolo</b>	<b>B</b>		
<b>S<sub>s</sub></b>	=	1,20	coeff. di amplificazione stratigrafica
<b>Categoria topografica</b>	<b>T1</b>		
<b>S<sub>T</sub></b>	=	1,00	coeff. di amplificazione topografica

**Tabella 8 - Parametri S<sub>s</sub> e S<sub>T</sub>**

I coefficienti di sismici orizzontale e verticale risultano:

<b>Coefficienti sismici agli SLV</b>			
<b>S=S<sub>s</sub>xS<sub>T</sub></b>	=	1,20	
<b>a<sub>max</sub></b>	=	0,119	g
<b>β<sub>m</sub></b>	=	1,00	
<b>K<sub>h</sub></b>	=	0,119	coeff. sismico orizzontale
<b>K<sub>v</sub></b>	=	0,060	coeff. sismico verticale

**Tabella 9 - Coeff. sismici**

Per muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β<sub>m</sub> assume valore unitario.

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

$$G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$$

Dove si assumerà per i carichi dovuti al transito dei convogli ferroviari ψ<sub>2j</sub> =0,2 così come definito in Tabella 5.2.V del MdP RFI 2018.

G<sub>1</sub>=massa associata al peso proprio;

G<sub>2</sub>=massa associata al carico permanente;

Q<sub>k</sub>=carico ferroviario.

### **3.3.1.1.-.Spinta sismica del terreno**

Le spinte delle terre sono determinate secondo la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza H viene determinato con la seguente espressione:

$$\Delta S_E = \frac{a_{max}}{g} \gamma_{terreno} \cdot H^2$$

applicata ad un'altezza pari ad H/2.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>	<p>PAGINA <b>25 / 126</b></p>

### 3.4.-..AZIONI INDIRETTE: RITIRO

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale  $\epsilon_{cs}(t, t_0)$  e di viscosità  $\phi(t, t_0)$ , come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D.M.14-01-2008. I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:  $\Delta T_{\text{ritiro}} = -8,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tale variazione di temperatura ( $\Delta T_{\text{ritiro}}$ ) è stata calcolata nelle seguenti ipotesi:

Umidità media: 80%

Tempo in giorni dal getto: 1 anno (365 gg.)

In accordo con paragrafo 11.2.10.6 del D.M.14-01-2008 si ha:

$$\epsilon_{c0} = -0.24\text{‰};$$

$$h_0 = 500\text{mm};$$

$$\epsilon_{cd,\infty} = -0.24 \cdot k_h = -0.24 \times 0.70 = -0.168\text{‰}.$$

Attraverso la formula 11.2.8 del D.M.14-01-2008, si ottiene la deformazione da essiccamento a 365 gg.

$$\epsilon_{cd}(365\text{gg}) = 0.0000452;$$

il valore medio del ritiro autogeno è invece calcolato con la formula 11.2.10 del D. M. 14-01-2008:

$$\epsilon_{ca} = 0.000055;$$

Per cui la deformazione totale per ritiro vale:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 0.0000452 + 0.000055 = 0.00010.$$

Il coefficiente di dilatazione termica  $\alpha = 0.000012$ , per cui:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = \epsilon_{cs} / \alpha = 8.3^\circ \text{C}.$$

### 3.5.-..COMBINAZIONI DI CARICO

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza è stata effettuata con il “metodo dei coefficienti parziali” di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

$R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right];$$

Il coefficiente  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema. I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{M,i}$  e  $\gamma_{F,j}$ , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e all'affidabilità del modello di calcolo.

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato direttamente come  $E_d = E_k \cdot \gamma_E$  con  $\gamma_E = \gamma_F$ :

$$E_d = \gamma_E E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right];$$

La verifica della relazione  $R_d \geq E_d$  è stata effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali (cfr tabelle sotto), rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 10 – Coeff. parziali per i parametri geotecnici dei terreni**

**Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.**

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.8$	$\gamma_R = 2.3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.1$	$\gamma_R = 1.1$

**Tabella 11 – Coeff. parziali per i parametri geotecnici dei terreni**

Nel caso specifico le verifiche tipo geotecniche (GEO), di equilibrio di corpo rigido (EQU) e strutturali (STR) sono state condotte sulla base dell' **Approccio 1**, che prevede la combinazione dei seguenti coefficienti:

- A1+M1+R1
- A2+M2+R2

Per le verifiche agli stati limite si considerano le combinazioni di carico previste nel DM del 17/01/2018 al punto 2.5.3 (“Combinazioni delle azioni”) che descrivono le combinazioni in generale.

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>	
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>		<p>PAGINA <b>27 / 126</b></p>

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_2 \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica (rara) impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + Q_{K1} + \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione quasi permanente (SLE) impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

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

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre

azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla *Tabella 5.2.IV del DM 17/01/2018* di seguito riportata.

In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

Tab. 5.2.IV -Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6;0,4)	-	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	Fessurazione

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc..)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

Nella tabella sopra riportata è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente, minore del precedente, per gli effetti a favore di sicurezza.

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si sono considerati i soli Gruppi 1 e 3, mentre per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il Gruppo 4.

I Gruppi definiscono le azioni che nelle diverse combinazioni sono generalmente definite come  $Q_{ki}$ .

I coefficienti di amplificazione dei carichi  $\gamma$  e i coefficienti di combinazione  $\psi$  sono riportati nelle tabelle seguenti.

**Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU**

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

**Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni**

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	$gr_1$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$gr_2$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	$gr_3$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$gr_4$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione SLU e SLE	0,80 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

Da quanto sopra esposto si ricavano le seguenti combinazioni di carico.

**COMBINAZIONI DI CARICO ALLO SLU**

SLU\_01)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{LM71\_gr1\_Pos1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;

SLU\_02)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{LM71\_gr1\_Pos2} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;

SLU\_03)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{LM71\_gr3\_Pos1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**30 /**  
**126**

- SLU\_04)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{LM71\_gr3\_Pos2} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;
- SLU\_05)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{SW/2\_gr1\_Pos1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;
- SLU\_06)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{SW/2\_gr1\_Pos2} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;
- SLU\_07)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{SW/2\_gr3\_Pos1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;
- SLU\_08)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{SW/2\_gr3\_Pos2} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;
- SLU\_09)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{Temp} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{LM71\_gr1\_Pos1}$ ;
- SLU\_10)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{Temp} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{LM71\_gr1\_Pos2}$ ;
- SLU\_11)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{Temp} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{LM71\_gr3\_Pos1}$ ;
- SLU\_12)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{Temp} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{LM71\_gr3\_Pos2}$ ;
- SLU\_13)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{Temp} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{SW/2\_gr1\_Pos1}$ ;
- SLU\_14)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{Temp} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{SW/2\_gr1\_Pos2}$ ;
- SLU\_15)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{Temp} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{SW/2\_gr3\_Pos1}$ ;
- SLU\_16)  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot \text{Ritiro} + \gamma_{Q1} \cdot \text{Temp} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot \text{SW/2\_gr3\_Pos2}$ ;

**COMBINAZIONI DI CARICO ALLO SLV**

- SLV\_01)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + E + \psi_{21} \cdot \text{LM71\_gr1\_Pos1}$ ;
- SLV\_02)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + E + \psi_{21} \cdot \text{LM71\_gr1\_Pos2}$ ;
- SLV\_03)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + E + \psi_{21} \cdot \text{LM71\_gr3\_Pos1}$ ;
- SLV\_04)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + E + \psi_{21} \cdot \text{LM71\_gr3\_Pos2}$ ;
- SLV\_05)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + E + \psi_{21} \cdot \text{SW/2\_gr1\_Pos1}$ ;
- SLV\_06)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + E + \psi_{21} \cdot \text{SW/2\_gr1\_Pos2}$ ;
- SLV\_07)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + E + \psi_{21} \cdot \text{SW/2\_gr3\_Pos1}$ ;
- SLV\_08)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + E + \psi_{21} \cdot \text{SW/2\_gr3\_Pos2}$ ;

**COMBINAZIONI DI CARICO ALLO SLE**

- RARA\_01)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + \text{LM71\_gr4\_Pos1} + \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;
- RARA\_02)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + \text{LM71\_gr4\_Pos2} + \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;
- RARA\_03)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + \text{SW/2\_gr4\_Pos1} + \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;
- RARA\_04)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + \text{SW/2\_gr4\_Pos2} + \psi_{02} \cdot \text{Temp}$ ;
- RARA\_05)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + \text{Temp} + \psi_{02} \cdot \text{LM71\_gr4\_Pos1}$ ;
- RARA\_06)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + \text{Temp} + \psi_{02} \cdot \text{LM71\_gr4\_Pos2}$ ;
- RARA\_07)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + \text{Temp} + \psi_{02} \cdot \text{SW/2\_gr4\_Pos1}$ ;
- RARA\_08)  $G_1 + G_2 + \text{Ritiro} + \text{Temp} + \psi_{02} \cdot \text{SW/2\_gr4\_Pos2}$ ;

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”	<b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b>	
CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b>	TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b>		PAGINA <b>31 / 126</b>

## 4.-..ANALISI DEL SOLETTONE DI COPERTURA

Come già esposto in precedenza, il solettone di copertura (di dimensioni in pianta 13,15x39,00m) viene modellato mediante il software di calcolo SAP2000 di comprovata validità. In particolare questo viene analizzato per metro lineare di solettone in direzione longitudinale al sottovia come un elemento modimensionale in c.a. di sezione (b x h) 100x120cm che si sviluppa nella direzione trasversale del sottovia in oggetto e soggetto ai carichi descritti nei paragrafi precedenti.

Inoltre, si considerano due condizioni di vincolo:

- 1) Trave semplicemente appoggiata: massimizza gli effetti in campata (sul solettone di copertura);
- 2) Trave doppiamente incastrata: massimizza gli effetti agli appoggi, quindi, gli scarichi sulla paratia di pali.

Di seguito si riporta dapprima una vista schematica dei modelli analizzati e, successivamente, l'inviluppo delle caratteristiche di sollecitazione e le verifiche effettuate.

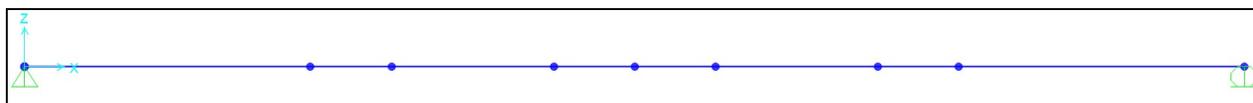


Figura 10 – Schema di calcolo trave semplicemente appoggiata



Figura 11 – Schema di calcolo trave doppiamente incastrata

### 4.1.-..INVILUPPO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

Di seguito si riportano i risultati dell'analisi effettuata mediante l'ausilio del programma di calcolo SAP2000 in termini di inviluppo delle sollecitazioni.

Gli inviluppi delle sollecitazioni sono presentati in forma di diagrammi ed indicandone il valore numericamente per le sezioni significative, dividendo i casi di carico allo SLU ed allo SLE.

### 4.1.1.-..Involuppo SLU

- Trave semplicemente appoggiata

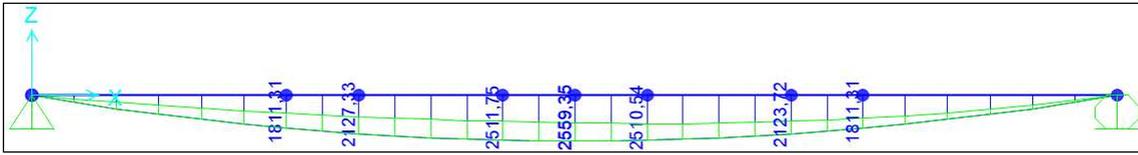


Figura 12 – Momento flettente M3-3

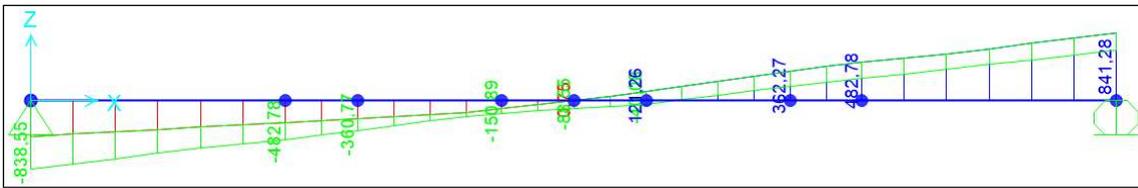


Figura 13 – Taglio V2-2

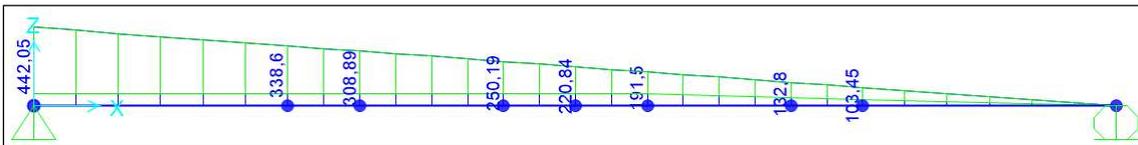


Figura 14 – Sforzo normale

- Trave doppiamente incastrata

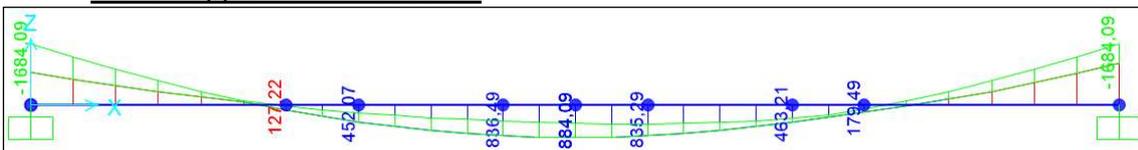


Figura 15 – Momento flettente M3-3

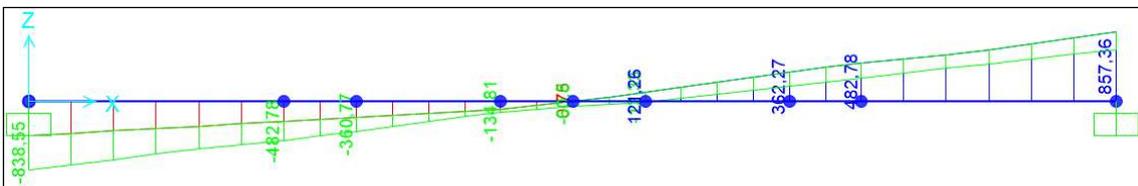


Figura 16 – Taglio V2-2

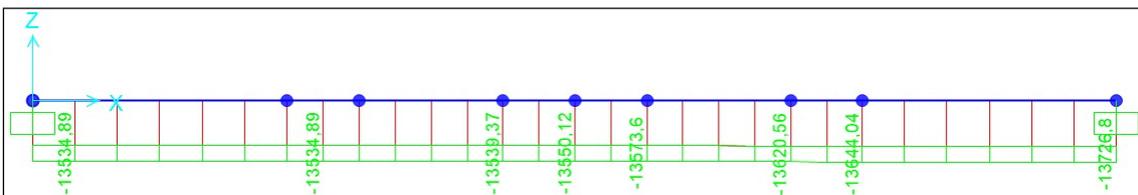


Figura 17 – Sforzo normale

### 4.1.2.-.-Involuppo SLE

- Trave semplicemente appoggiata

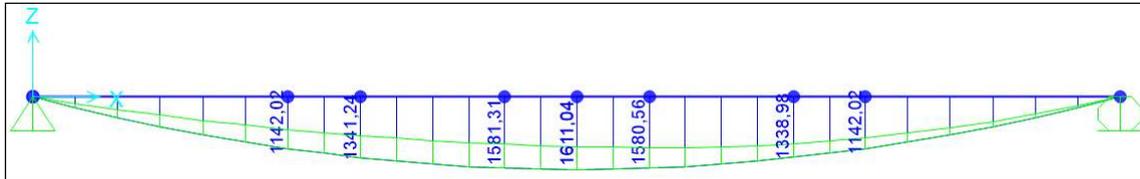


Figura 18 – Momento flettente M3-3

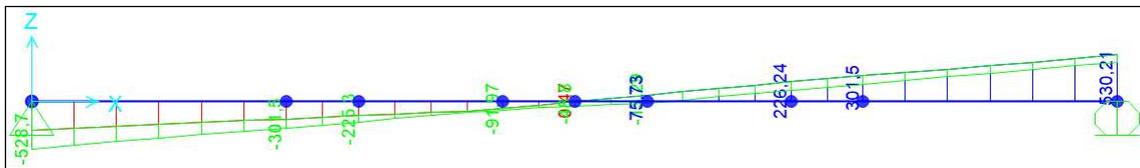


Figura 19 – Taglio V2-2

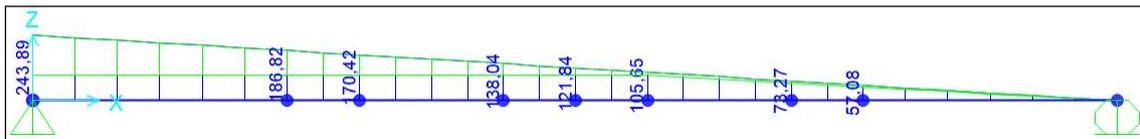


Figura 20 – Sforzo normale

- Trave doppiamente incastrata

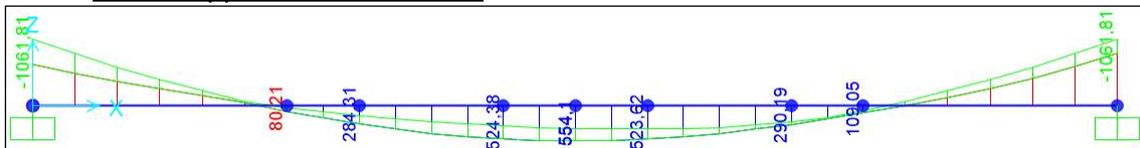


Figura 21 – Momento flettente M3-3

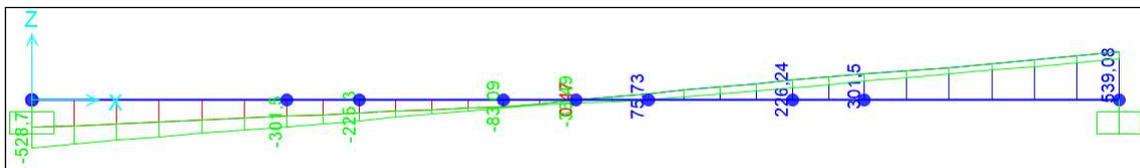


Figura 22 – Taglio V2-2

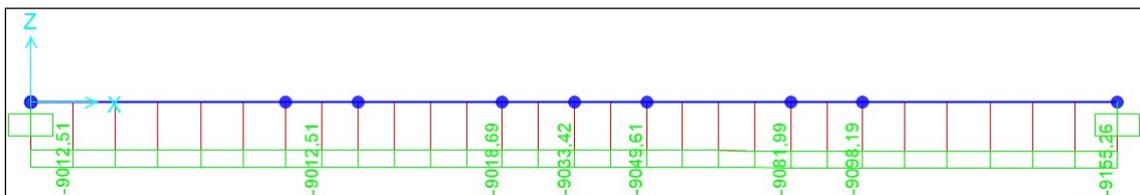


Figura 23 – Sforzo normale

## 4.2.-..VERIFICHE STRUTTURALI

In accordo con la normativa di riferimento (NTC18) di seguito si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimo e di Esercizio effettuate per il solettone di copertura e per le sezioni maggiormente significative.

### 4.2.1.-..Verifiche allo Stato Limite Ultimo

In accordo con quanto previsto dalla normativa di riferimento (NTC08) le verifiche di sicurezza allo SLU che si effettuano per ogni elemento dello scatolare sono:

- Verifica a flessione;
- Verifica a taglio

Nello specifico, la "**Verifica a flessione**" risulta essere soddisfatta se:

$$M_{E,d} \leq M_{R,d}(N_{E,d})$$

Mentre, per la "**Verifica a taglio**" si fa riferimento alla resistenza a taglio di elementi senza armatura trasversale, per cui la resistenza a taglio è data da:

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

con

$f_{ck}$  espresso in MPa

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

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

e dove

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ( $\leq 0,02$ ) che si estende per non meno di  $(l_{ba} + d)$  oltre la sezione considerata, dove  $l_{ba}$  è la lunghezza di ancoraggio;

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  [MPa] è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

Qualora il taglio sollecitante fosse maggiore della resistenza a taglio appena descritta, si fa riferimento a quanto previsto dalle NTC18 al §4.1.2.3.5.2 per elementi con armatura trasversale resistente a taglio, in cui la resistenza di progetto a taglio  $V_{Rd}$  è data come:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd});$$

in cui  $V_{Rsd}$  è la resistenza di progetto a "taglio trazione" calcolata come:

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

mentre,  $V_{Rcd}$  è la resistenza a "taglio compressione" calcolata come:

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

e la verifica risulta essere soddisfatta se:

$$V_{E,d} \leq V_{R,d}$$

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**35 /**  
**126**

Di seguito si espongono le verifiche effettuate.

#### 4.2.1.1.-.Verifica a flessione

Con riferimento ad una sezione (b x h) 100x120cm, copriferro 5cm, armata in maniera simmetrica con  $A's=As=6158mm^2$  e soggetta ad un sollecitazione flettente (si veda in merito i diagrammi di involucro riportati nei paragrafi precedenti) pari a:

$$M_{Ed} = 2559,35kNm$$

si ha:

**Titolo :**

N° strati barre

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	61,58	5
2	61,58	115

**Sollecitazioni**  
S.L.U.   Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN  
M<sub>xEd</sub>   kNm  
M<sub>yEd</sub>

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**Materiali**  
B450C C30/37  
ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
τ<sub>c1</sub>  ‰

M<sub>xRd</sub>  kN m  
σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

N° rett.   
   
L<sub>0</sub>  cm   
 Precompresso

Per cui, essendo:

$$M_{Ed} = 2559,35kNm \leq M_{Rd} = 2670kNm$$

la verifica a flessione risulta essere soddisfatta.

#### 4.2.1.2.-. Verifica a taglio

Con riferimento ad una sezione (b x h) 100x120cm, copriferro 5cm, armata in maniera simmetrica con  $A's=As=6158\text{mm}^2$ , con una armatura a taglio  $A_w=200\text{mm}^2$  e soggetta ad un sollecitazione tagliante (si veda in merito i diagrammi di involuppo riportati nei paragrafi precedenti) pari a:

$$V_{Ed} = 857,36\text{kN}$$

si ha:

Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008					
Materiali					
Calcestruzzo			Acciaio		
$R_{ck}$	[Mpa]	<b>37</b>	$f_{yk}$	[Mpa]	<b>450</b>
$f_{ck}$	[Mpa]	30,7	$f_{yd}$	[Mpa]	391,3
$f_{cd}$	[Mpa]	17,4			
Geometria sezione					
b	[mm]	<b>1000</b>	c	[mm]	<b>50</b>
h	[mm]	<b>1200</b>	d	[mm]	1150
Armatura longitudinale			Armatura trasversale		
n° barre	-		Staffe $\Phi$	[mm]	
diametro	[mm]		n° bracci	-	
Area	[mm <sup>2</sup> ]	6158,0	$A_{sw}$	[mm <sup>2</sup> ]	200
			s	[mm]	<b>200</b>
Sollecitazioni di calcolo					
$N_{Ed}$		[kN]			<b>0</b>
$V_{Ed}$		[kN]			<b>857,36</b>
Parametri di verifica					
k	-	1,42	$\rho_l$	-	0,005
$v_{min}$	-	0,33	$\sigma_{cp}$	-	0,000
v	-	0,50	$(\sigma_{cp})^*$	-	0,000
$\alpha_c$	-	1,00	$\omega_{sw}$	-	0,022
$\cotg\theta$	-	4,61	$\cotg\theta^*$	-	2,500
VERIFICA					
Sezione non armata a taglio					
$V_{Rd}$	[kN]	497,3	<b>Armare!!!</b>		
Sezione armata a taglio					
$V_{Rsd}$	[kN]	1012,5	$V_{Red}$	[kN]	3105,4
$V_{Rd}$	[kN]	1012,5	<b>Verificato</b>		

la verifica a taglio risulta essere soddisfatta in quanto:

$$V_{Ed} = 857,36\text{kN} \leq V_{Rd} = 1012,5\text{kN}$$

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”	<b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b>
	CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b>	

## 4.2.2.-..Verifiche allo Stato Limite di Esercizio

### 4.2.2.1.-..Verifica delle tensioni in esercizio

In accordo con quanto previsto dal MdP RFI 2018, devono essere rispettati i seguenti limiti tensionali di compressione nel calcestruzzo:

$$\sigma_c \leq 0,55f_{ck} = 0,55 \cdot 28 = 15,4 \text{ MPa} \quad \text{per combinazione di carico rara}$$

Mentre, per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico rara non deve superare:

$$\sigma_s \leq 0,75f_{yk} = 0,75 \cdot 450 = 337,5 \text{ MPa}$$

Con riferimento ad una sezione (b x h) 100x120cm, copriferro 5cm, armata in maniera simmetrica con A's=As=5309mm<sup>2</sup>; considerando le sollecitazioni di involuppo allo SLE da combinazione RARA, si ha:

	N	M	$\sigma_c$	$\sigma_s$
	kN	[kNm]	[MPa]	[MPa]
RARA	0	1061,81	4,2	162,4

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	120	1	61,58	5
			2	61,58	115

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  1061,81 kNm  
 M<sub>yEd</sub>  0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

B450C	C30/37
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391,3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0,8 ?
$\epsilon_{syd}$ 1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 11,5
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,6933
	$\tau_{c1}$ 2,029

$\sigma_c$  -4,193 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  162,4 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$  0,8121 ‰  
 d 115 cm  
 x 32,1 x/d 0,2792  
 $\delta$  0,789

**Verifica**  
 N° iterazioni:   
 Precompresso

A valle dei risultati ottenuti la verifica delle tensioni in esercizio risulta essere soddisfatta.

#### 4.2.2.2.-. Verifica allo stato limite di fessurazione

In accordo con il MdP RFI 2018, l'apertura delle fessure deve essere calcolata con la combinazione di carico RARA ed i carichi variabili ferroviari devono essere considerati combinati secondo il Gruppo 4; la verifica risulta essere soddisfatta se:

$$w \leq w_1 = 0,2\text{mm}$$

essendo la struttura a permanente contatto con il terreno.

In accordo con quanto previsto al §4.1.2.2.4.5 delle NTC18:

$$w = 1,7 \cdot \epsilon_{sm} \cdot \Delta_{smax}$$

dove:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

In cui:

$\sigma_s$  è la tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

$\alpha_e$  è il rapporto  $E_s/E_c$

$\rho_{eff}$  è pari ad  $A_s/A_{c,eff}$

$A_{c,eff}$  è l'area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura, di altezza  $h_{c,eff}$ , dove  $h_{c,eff}$  è il valore minore tra  $2,5(h-d)$ ,  $(h-x)/3$  o  $h/2$

$k_t$  è un fattore dipendente dalla durata del carico e vale:

$k_t = 0,6$  per carichi di breve durata

$k_t = 0,4$  per carichi di lunga durata

Nel caso in cui l'armatura è disposta con una spaziatura non superiore a  $5(c+\Phi/2)$ , la distanza massima tra le fessure,  $\Delta_{smax}$ , può essere valutata come:

$$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\Phi}{\rho_{eff}}$$

In cui:

$\Phi$  è il diametro delle barre. Se nella sezione sono presenti barre di diametro differente, detto  $n_1$  il numero delle barre di diametro  $\Phi_1$  ed  $n_2$  il numero delle barre  $\Phi_2$ , si raccomanda di utilizzare un diametro equivalente  $\Phi_{eq}$

$$\Phi_{eq} = \frac{n_1 \Phi_1^2 + n_2 \Phi_2^2}{n_1 \Phi_1 + n_2 \Phi_2}$$

$c$  è il copriferro dell'armatura

$k_1 = 0,8$  per armature ad aderenza migliorata

$= 1,6$  per barre lisce

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**39 /**  
**126**

$k_2 = 0.6$  nel caso di flessione  
 $= 1.0$  nel caso di trazione semplice  
 $k_3 = 3.4$   
 $k_4 = 0.425$

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per le combinazioni di carico RARA che vedono impegnato il Gruppo di carico 4.

Con riferimento ad una sezione (b x h) 100x120cm, copriferro 5cm, armata in maniera simmetrica con  $A's=As=5309\text{mm}^2$ ; considerando le sollecitazioni di involuppo allo SLE da combinazione RARA, si ha:

$$M_{Ed,RARA} = 1061,81\text{kNm}$$

SEZIONE AL I STADIO		SEZIONE FESSURATA
$I_x$	$M_{R,d,I}$	
[ $\text{cm}^4$ ]	[ $\text{kNm}$ ]	
14400000	389,3	

SEZIONE AL II STADIO - VERIFICHE SLE					
$x_{n,II}$	$I_{x,II}$	$\sigma_c$	$\sigma_c \leq 0,45f_{ck}$	$\sigma_{s,I}$	$\sigma_s \leq 0,8f_{yk}$
[cm]	[ $\text{cm}^4$ ]	[MPa]	[-]	[MPa]	[-]
32,10	8,1E+06	4,2	OK	162,4	OK

$\epsilon_{sm}$	$\epsilon_{sm} \geq 0,6 \sigma_s/E_s$	$\Delta_{smax}$	$w_d$	$w_{lim}$	$w_d \leq w_{lim}$
[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	
0,00063	OK	255,3	0,160	0,2	OK

A valle dei risultati ottenuti, la verifica risulta essere soddisfatta in quanto:

$$w_d = 0,16\text{mm} < w_1 = 0,20\text{mm}$$

#### 4.2.2.3.-.Verifica dello stato limite di deformazione

In accordo con il §2.6.2.2.3 del MdP RFI, "le deformazioni massime devono risultare compatibili con la geometria della struttura in relazione alle esigenze del traffico. In tutte le strutture, limitatamente agli elementi principali, si dovrà rispettare il seguente limite di deformazione sotto l'azione dei carichi accidentali di progetto incrementati dinamicamente nella combinazione RARA:"

$$f \leq \frac{L}{700} = \frac{1205}{700} = 1,72\text{cm}$$

in cui:

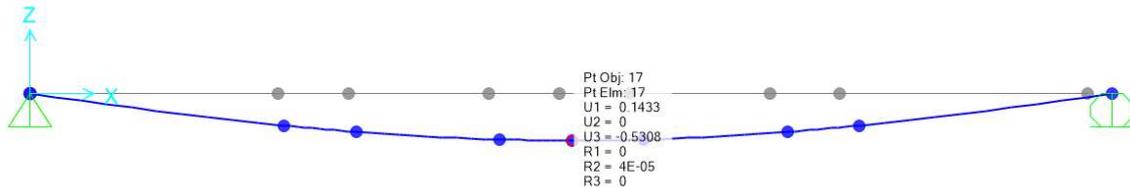
L= luce di calcolo;

f= massima freccia verticale.

In relazione alle analisi effettuate, si ottiene una freccia del trasverso pari a:

$$f=0,53\text{cm}$$

come mostrato dalla figura seguente. Pertanto, la verifica risulta essere soddisfatta.



 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>	
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>		<p>PAGINA <b>41 / 126</b></p>

## 5.-..ANALISI DELLA PARATIA

Con riferimento a quanto esposto nei precedenti capitoli, di seguito si riportano le analisi svolte nei riguardi della paratia di pali predisposta nell'intervento di nuova viabilità in oggetto.

Essa si estende nel suo complesso per circa 195m per la quale sono riconoscibili sostanzialmente tre diverse configurazioni di calcolo:

- 1) **Paratia in corrispondenza del sottovia**: estesa per 39,00m (esattamente la lunghezza del sottovia in progetto) ed in fase di esercizio schematizzabile come una paratia vincolate su tre livelli (I. in corrispondenza del solettone di copertura; II. in corrispondenza del solettone di fondo; III. all'altezza della soletta del piano carrabile);
- 2) **Paratia puntonata in testa**: estesa per circa 65,00m al di fuori del sottovia lato Trapani. Essendo le altezze di scavo importanti, si è optato per una puntonatura discreta in testa alla paratia, costituita da travi in c.a. di sezione 80x80cm poste ad interasse 3,00m;
- 3) **Paratia libera**: estesa per un totale di circa 90,00m (di cui circa 30,00m oltre la paratia puntonata in testa lato Trapani ed i restanti 60,00m posti oltre il sottovia lato Palermo) e per una altezza massima di scavo di circa 7,00m.

Di seguito si espongono i risultati ottenuti per le tre configurazioni sopra descritte.

### 5.1.-..PARATIA IN CORRISPONDENZA DEL SOTTOVIA

Come già descritto in precedenza, in corrispondenza del sottovia, preventivamente allo scavo, verranno realizzate due paratie di pali in c.a., contrapposte tra loro a formare appunto le "pareti" portanti del sottovia, sulle quali verrà installato il solettone di copertura a chiusura.

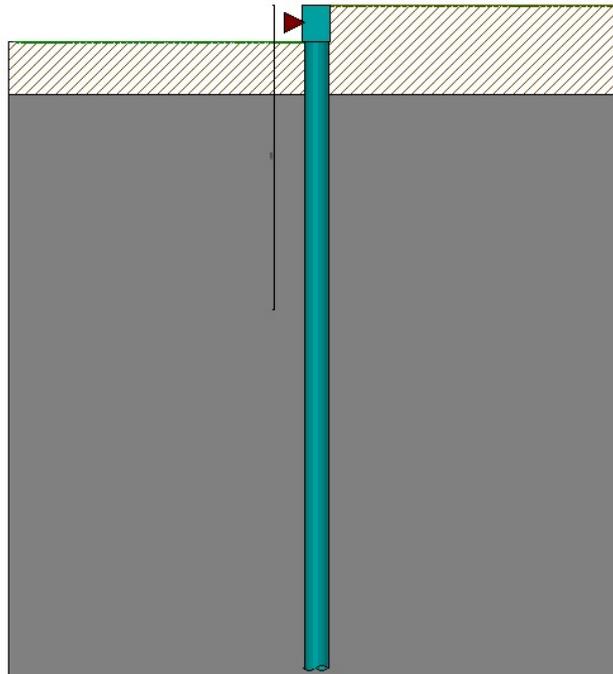
Successivamente alla maturazione di questi si esegue lo scavo al di sotto del solettone di copertura, quindi, le contropareti e la vasca di fondo in c.a.. Di seguito si espongono le fasi costruttive.

- **Fase 1**: Realizzazione della paratia, scavo fino a quota intradosso solettone di copertura e getto del solettone di copertura (che a maturazione forma un vincolo in testa alla paratia)

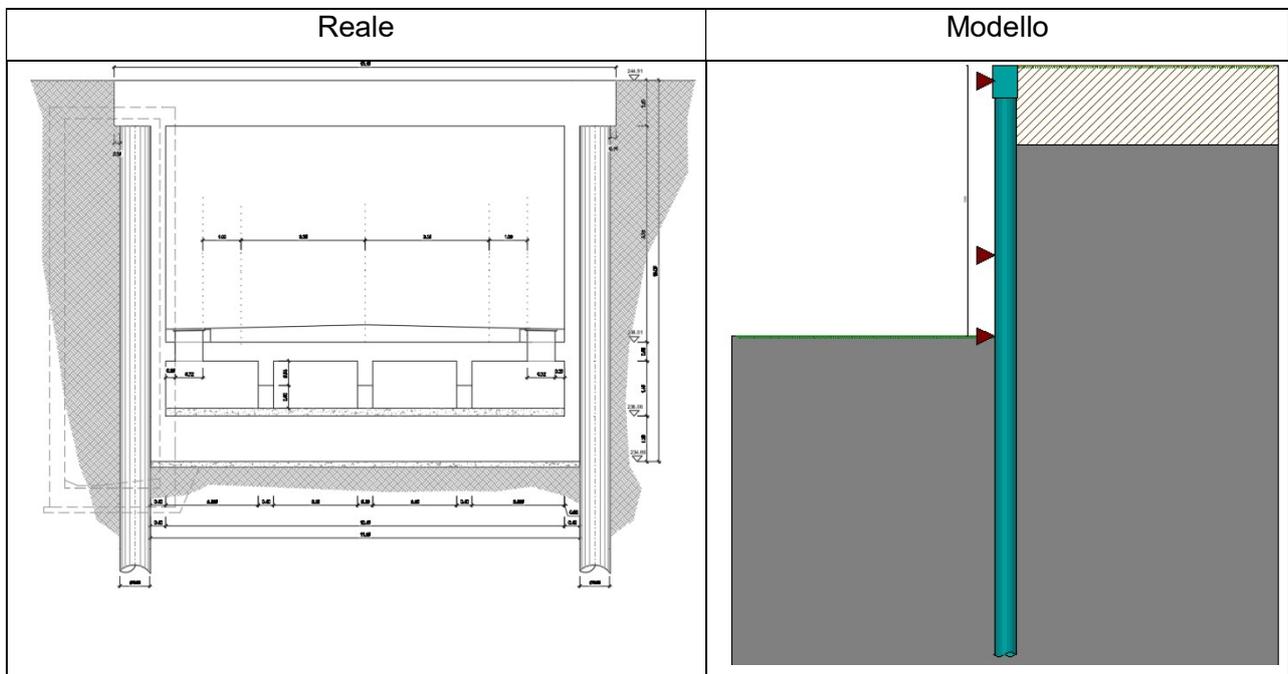
CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**42 /**  
**126**



- **Fase 2:** Realizzazione dello scavo fino a quota intradosso fondazione e getto delle contropareti e della vasca di raccolta acque (che realizzano gli ulteriori due vincoli della paratia)



Per le modalità costruttive esposte è possibile schematizzare la paratia come vincolata su tre livelli come più volte descritto in precedenza.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>	
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>		<p>PAGINA <b>43 / 126</b></p>

Le paratie di cui sopra presentano le seguenti caratteristiche geometriche:

- Diametro pali: 800mm
- Interasse: 0,90m
- Armatura: 16990mm<sup>2</sup>
- Altezza fuori terra: 10,20m
- Profondità di infissione: 11,00m
- Altezza totale della paratia 21,20m

Le caratteristiche del terreno di rinfiaccio sono quelle esposte nel §2.4.

Le analisi della paratia sono state condotte con il software PAC della Aztec Informatica.

### 5.1.1.-..Risultati delle analisi

L'analisi della paratia è stata condotta nella sua condizione di esercizio. In accordo con quanto previsto dalle NTC18, le paratie verranno esaminate considerando l'Approccio1 per il quale esistono due differenti combinazioni:

- A1 + M1 + R1
- A1 + M2 + R1

così come definiti nella Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle stesse NTC18.

Con riferimento alle condizioni di carico elementari e relative combinazioni di carico espote nei paragrafi precedenti, di seguito si riportano i diagrammi di involuppo delle sollecitazioni per metro lineare di paratia e successivamente i valori numerici.

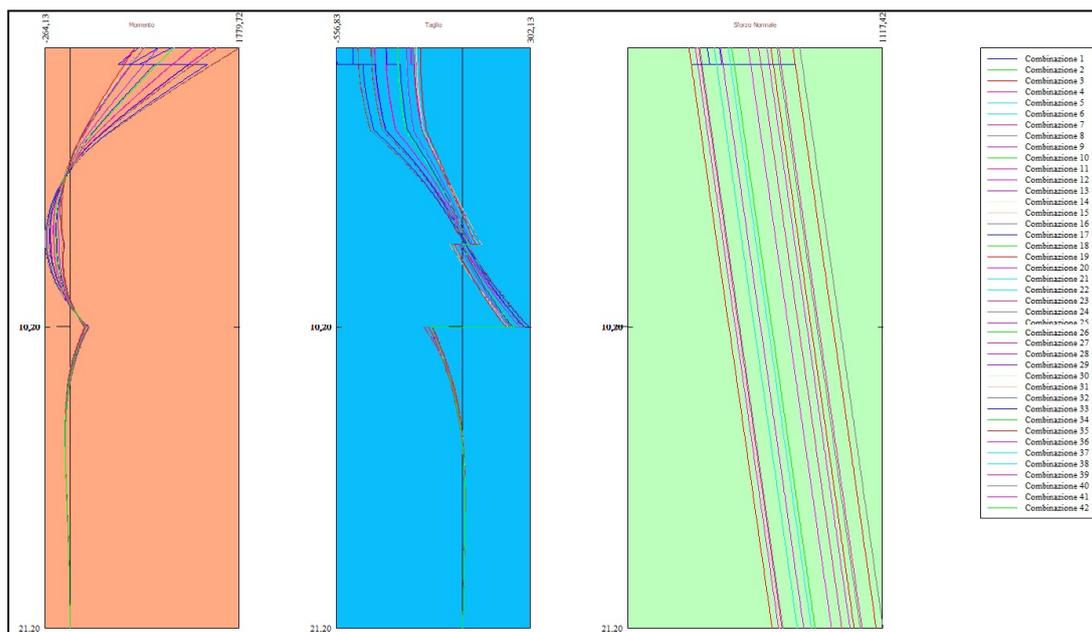


Figura 24 – Involuppi delle sollecitazioni

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**44 /**  
**126**

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

*Simbologia adottata*

- n° Indice della combinazione/fase  
 Tipo Tipo della combinazione/fase  
 Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]  
 M momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]  
 N sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)  
 T taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	Tipo	M	Y <sub>M</sub>	T	Y <sub>T</sub>	N	Y <sub>N</sub>	
		[kNm]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	
1	[A1-M1]	1446,03	0,60	295,62	10,20	1087,27	21,20	MAX
--	--	-248,12	6,95	-556,83	0,00	0,00	0,00	MIN
2	[A1-M1]	1483,02	0,00	277,52	10,20	972,82	21,20	MAX
--	--	-207,75	6,70	-389,03	0,00	0,00	0,00	MIN
3	[A1-M1]	1779,72	0,00	302,13	10,20	1087,27	21,20	MAX
--	--	-264,13	7,00	-461,79	0,00	0,00	0,00	MIN
4	[A1-M1]	1483,02	0,00	277,52	10,20	972,82	21,20	MAX
--	--	-207,75	6,70	-389,03	0,00	0,00	0,00	MIN
5	[A1-M1]	1474,17	0,00	276,78	10,20	1025,02	21,20	MAX
--	--	-206,17	6,70	-386,86	0,00	0,00	0,00	MIN
6	[A1-M1]	1773,42	0,00	301,61	10,20	1117,42	21,20	MAX
--	--	-262,87	7,00	-460,25	0,00	0,00	0,00	MIN
7	[A1-M1]	1474,17	0,00	276,78	10,20	1025,02	21,20	MAX
--	--	-206,17	6,70	-386,86	0,00	0,00	0,00	MIN
8	[A1-M1]	1773,42	0,00	301,61	10,20	1117,42	21,20	MAX
--	--	-262,87	7,00	-460,25	0,00	0,00	0,00	MIN
9	[A1-M1 S]	682,50	0,00	205,94	10,20	674,93	21,20	MAX
--	--	-102,11	6,10	-223,62	0,00	0,00	0,00	MIN
10	[A1-M1 S]	737,92	0,00	203,54	10,20	659,67	21,20	MAX
--	--	-98,65	6,05	-201,24	0,00	0,00	0,00	MIN
11	[A1-M1 S]	777,48	0,00	206,81	10,20	674,93	21,20	MAX
--	--	-103,81	6,10	-210,95	0,00	0,00	0,00	MIN
12	[A1-M1 S]	737,92	0,00	203,54	10,20	659,67	21,20	MAX
--	--	-98,65	6,05	-201,24	0,00	0,00	0,00	MIN
13	[A1-M1 S]	736,74	0,00	203,44	10,20	666,63	21,20	MAX
--	--	-98,50	6,05	-200,95	0,00	0,00	0,00	MIN
14	[A1-M1 S]	776,64	0,00	206,74	10,20	678,95	21,20	MAX
--	--	-103,70	6,10	-210,74	0,00	0,00	0,00	MIN
15	[A1-M1 S]	736,74	0,00	203,44	10,20	666,63	21,20	MAX
--	--	-98,50	6,05	-200,95	0,00	0,00	0,00	MIN
16	[A1-M1 S]	776,64	0,00	206,74	10,20	678,95	21,20	MAX
--	--	-103,70	6,10	-210,74	0,00	0,00	0,00	MIN
17	[A2-M2]	1251,74	0,60	272,41	10,20	990,91	21,20	MAX
--	--	-212,03	6,85	-485,07	0,00	0,00	0,00	MIN
18	[A2-M2]	1285,28	0,00	256,92	10,20	891,72	21,20	MAX
--	--	-178,89	6,60	-339,64	0,00	0,00	0,00	MIN
19	[A2-M2]	1542,42	0,00	277,98	10,20	990,91	21,20	MAX
--	--	-225,51	6,90	-402,70	0,00	0,00	0,00	MIN
20	[A2-M2]	1285,28	0,00	256,92	10,20	891,72	21,20	MAX
--	--	-178,89	6,60	-339,64	0,00	0,00	0,00	MIN
21	[A2-M2]	1277,61	0,00	256,29	10,20	936,96	21,20	MAX
--	--	-177,59	6,60	-337,76	0,00	0,00	0,00	MIN
22	[A2-M2]	1536,96	0,00	277,53	10,20	1017,04	21,20	MAX
--	--	-224,46	6,90	-401,36	0,00	0,00	0,00	MIN
23	[A2-M2]	1277,61	0,00	256,29	10,20	936,96	21,20	MAX
--	--	-177,59	6,60	-337,76	0,00	0,00	0,00	MIN
24	[A2-M2]	1536,96	0,00	277,53	10,20	1017,04	21,20	MAX

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**45 /**  
**126**

n°	Tipo	M	Y <sub>M</sub>	T	Y <sub>T</sub>	N	Y <sub>N</sub>	
		[kNm]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	
--	--	-224,46	6,90	-401,36	0,00	0,00	0,00	MIN
25	[A2-M2 S]	682,50	0,00	221,72	10,20	674,93	21,20	MAX
--	--	-102,14	5,90	-230,26	0,00	0,00	0,00	MIN
26	[A2-M2 S]	737,92	0,00	219,36	10,20	659,67	21,20	MAX
--	--	-99,19	5,85	-207,89	0,00	0,00	0,00	MIN
27	[A2-M2 S]	777,48	0,00	222,56	10,20	674,93	21,20	MAX
--	--	-103,72	5,90	-217,59	0,00	0,00	0,00	MIN
28	[A2-M2 S]	737,92	0,00	219,36	10,20	659,67	21,20	MAX
--	--	-99,19	5,85	-207,89	0,00	0,00	0,00	MIN
29	[A2-M2 S]	736,74	0,00	219,27	10,20	666,63	21,20	MAX
--	--	-99,06	5,85	-207,60	0,00	0,00	0,00	MIN
30	[A2-M2 S]	776,64	0,00	222,50	10,20	678,95	21,20	MAX
--	--	-103,63	5,90	-217,38	0,00	0,00	0,00	MIN
31	[A2-M2 S]	736,74	0,00	219,27	10,20	666,63	21,20	MAX
--	--	-99,06	5,85	-207,60	0,00	0,00	0,00	MIN
32	[A2-M2 S]	776,64	0,00	222,50	10,20	678,95	21,20	MAX
--	--	-103,63	5,90	-217,38	0,00	0,00	0,00	MIN
33	[SLER]	889,87	0,60	224,59	10,20	803,51	21,20	MAX
--	--	-146,49	6,60	-336,47	0,00	0,00	0,00	MIN
34	[SLEF]	682,50	0,00	194,21	10,20	632,07	21,20	MAX
--	--	-92,44	6,05	-185,48	0,00	0,00	0,00	MIN
35	[SLEQ]	682,50	0,00	194,21	10,20	632,07	21,20	MAX
--	--	-92,44	6,05	-185,48	0,00	0,00	0,00	MIN
36	[SLER]	933,26	0,00	214,95	10,20	742,47	21,20	MAX
--	--	-128,28	6,40	-246,98	0,00	0,00	0,00	MIN
37	[SLER]	1091,50	0,00	228,07	10,20	803,51	21,20	MAX
--	--	-154,29	6,60	-285,79	0,00	0,00	0,00	MIN
38	[SLER]	933,26	0,00	214,95	10,20	742,47	21,20	MAX
--	--	-128,28	6,40	-246,98	0,00	0,00	0,00	MIN
39	[SLER]	928,54	0,00	214,55	10,20	770,31	21,20	MAX
--	--	-127,55	6,40	-245,82	0,00	0,00	0,00	MIN
40	[SLER]	1088,14	0,00	227,79	10,20	819,59	21,20	MAX
--	--	-153,72	6,60	-284,96	0,00	0,00	0,00	MIN
41	[SLER]	928,54	0,00	214,55	10,20	770,31	21,20	MAX
--	--	-127,55	6,40	-245,82	0,00	0,00	0,00	MIN
42	[SLER]	1088,14	0,00	227,79	10,20	819,59	21,20	MAX
--	--	-153,72	6,60	-284,96	0,00	0,00	0,00	MIN

Spostamenti massimi e minimi della paratia per le combinazioni allo SLE

### Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della combinazione/fase

Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]

U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [mm] positivo verso valle

V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [mm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U	Y <sub>u</sub>	V	Y <sub>v</sub>	
		[mm]	[m]	[mm]	[m]	
33	[SLER]	0,434	15,55	0,592	0,00	MAX
--	--	-1,383	2,20	0,000	0,00	MIN
34	[SLEF]	0,445	15,45	0,432	0,00	MAX
--	--	-0,851	2,10	0,000	0,00	MIN
35	[SLEQ]	0,445	15,45	0,432	0,00	MAX
--	--	-0,851	2,10	0,000	0,00	MIN
36	[SLER]	0,438	15,50	0,538	0,00	MAX
--	--	-1,229	2,20	0,000	0,00	MIN
37	[SLER]	0,433	15,55	0,597	0,00	MAX
--	--	-1,467	2,20	0,000	0,00	MIN

n°	Tipo	U	Y <sub>u</sub>	V	Y <sub>v</sub>	
		[mm]	[m]	[mm]	[m]	
38	[SLER]	0,438	15,50	0,538	0,00	MAX
--	--	-1,229	2,20	0,000	0,00	MIN
39	[SLER]	0,438	15,50	0,565	0,00	MAX
--	--	-1,221	2,20	0,000	0,00	MIN
40	[SLER]	0,433	15,55	0,613	0,00	MAX
--	--	-1,462	2,20	0,000	0,00	MIN
41	[SLER]	0,438	15,50	0,565	0,00	MAX
--	--	-1,221	2,20	0,000	0,00	MIN
42	[SLER]	0,433	15,55	0,613	0,00	MAX
--	--	-1,462	2,20	0,000	0,00	MIN

### 5.1.2.-.Verifiche

In accordo con quanto previsto dalle NTC18 al §6.5.3.1.2 per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)
  - collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido);
  - instabilità del fondo scavo per sollevamento;
  - instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, 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 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nella Tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

Per quanto riguarda invece le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio, si deve verificare che gli spostamenti dell'opera e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti.

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche allo SLU.

#### 5.1.2.1.-.Verifica al collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera

Lo SLU di tipo GEO riguardante il collasso per rotazione intorno ad un punto della paratia è stato già implicitamente verificato in precedenza avendo ricavato, nota l'infissione "i", i valori delle spinte attiva e passiva tali per cui si raggiunge l'equilibrio della paratia stessa.

### 5.1.2.2.-. Verifica di instabilità del fondo scavo per sollevamento

Per la verifica a sollevamento si utilizza il metodo di Terzaghi. Il coefficiente di sicurezza nei fenomeni di sollevamento del fondo scavo deriva da considerazioni di equilibrio verticale di una porzione di terreno a valle della paratia soggetta a tale fenomeno.

Secondo Terzaghi il volume interessato da sollevamento ha profondità D e larghezza D/2, in cui D rappresenta la profondità di infissione della paratia.

Il coefficiente di sicurezza è dato dal rapporto tra il peso del volume di terreno sopra descritto W e la pressione idrica al piede della paratia U dovuta alla presenza di una falda in moto idrodinamico:

$$FS_{\text{SCAVO}} = \frac{W}{U};$$

In cui la pressione U è calcolata nell'ipotesi di filtrazione monodimensionale.

Di seguito si riporta quanto ottenuto.

#### Simbologia adottata

Ic : Indice della combinazione

Tipo Tipo della Combinazione/Fase

$\Delta H$  : Perdita di carico espressa in [m]

L : Lunghezza di filtrazione espressa in [m]

$i_E$  : Gradiente idraulico di efflusso

l : Profondità di infissione espressa in [m]

$\sigma_t$  : Pressione totale al piede della paratia espressa in [kPa]

$u_w$  : Pressione idrica al piede della paratia espressa in [kPa]

$FS_{\text{scavo}}$  : Coefficiente di sicurezza a sollevamento fondo scavo

Ic	Tipo	$\Delta H$	L	$i_E$	l	$\sigma_t$	$u_w$	$FS_{\text{scavo}}$
1	[A1-M1]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
2	[A1-M1]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
3	[A1-M1]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
4	[A1-M1]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
5	[A1-M1]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
6	[A1-M1]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
7	[A1-M1]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
8	[A1-M1]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
9	[A1-M1 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
10	[A1-M1 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	<b>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</b>	<b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b>						
<b>CODIFICA ELABORATO</b> <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b>	<b>TITOLO DOCUMENTO</b> <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b>		<b>PAGINA</b> <b>48 /</b> <b>126</b>					
11	[A1-M1 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
12	[A1-M1 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
13	[A1-M1 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
14	[A1-M1 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
15	[A1-M1 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
16	[A1-M1 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
17	[A2-M2]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
18	[A2-M2]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
19	[A2-M2]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
20	[A2-M2]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
21	[A2-M2]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
22	[A2-M2]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
23	[A2-M2]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
24	[A2-M2]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
25	[A2-M2 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
26	[A2-M2 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
27	[A2-M2 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
28	[A2-M2 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
29	[A2-M2 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
30	[A2-M2 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
31	[A2-M2 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
32	[A2-M2 S]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
33	[SLER]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
34	[SLEF]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
35	[SLEQ]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
36	[SLER]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
37	[SLER]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
38	[SLER]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
39	[SLER]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
40	[SLER]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
41	[SLER]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35
42	[SLER]	7,30	29,10	0,25	11,00	1987894	1470805	1,35

A valle dei risultati ottenuti la verifica di sollevamento del fondo scavo risulta essere soddisfatta.

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”	<b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b>	
CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b>	TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b>		PAGINA <b>49 / 126</b>

### ***5.1.2.3.-.Verifica di instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno***

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia-terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1,10. È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.

In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop. Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \tan \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i};$$

dove "m" è il termine espresso da:

$$m = \left( 1 + \frac{\tan \phi_i \tan \alpha_i}{\eta} \right) \cdot \cos \alpha_i;$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b<sub>i</sub> e α<sub>i</sub> sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i-esima rispetto all'orizzontale, W<sub>i</sub> è il peso della striscia i-esima, c<sub>i</sub> e φ<sub>i</sub> sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u<sub>i</sub> è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η. Quindi essa è risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Di seguito si riporta quanto ottenuto.

#### **Simbologia adottata**

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X <sub>C</sub> ; Y <sub>C</sub> )	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X <sub>V</sub> ; Y <sub>V</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X <sub>M</sub> ; Y <sub>M</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**50 /**  
**126**

FS Coefficiente di sicurezza

n°	Tipo	(Xc, Yc) [m]	R [m]	(Xv, Yv) [m]	(Xm, Ym) [m]	FS
17	[A2-M2]	(-2,12; 4,24)	25,53	(-23,18; -10,18)	(23,06; 0,00)	1.33
18	[A2-M2]	(-2,12; 4,24)	25,53	(-23,18; -10,18)	(23,06; 0,00)	1.33
19	[A2-M2]	(-2,12; 4,24)	25,53	(-23,18; -10,18)	(23,06; 0,00)	1.33
20	[A2-M2]	(-2,12; 4,24)	25,53	(-23,18; -10,18)	(23,06; 0,00)	1.33
21	[A2-M2]	(-2,12; 4,24)	25,53	(-23,18; -10,18)	(23,06; 0,00)	1.33
22	[A2-M2]	(-2,12; 4,24)	25,53	(-23,18; -10,18)	(23,06; 0,00)	1.33
23	[A2-M2]	(-2,12; 4,24)	25,53	(-23,18; -10,18)	(23,06; 0,00)	1.33
24	[A2-M2]	(-2,12; 4,24)	25,53	(-23,18; -10,18)	(23,06; 0,00)	1.33
25	[A2-M2 S]	(-4,24; 8,48)	29,98	(-27,70; -10,19)	(24,53; 0,00)	1.13
26	[A2-M2 S]	(-4,24; 8,48)	29,98	(-27,70; -10,19)	(24,53; 0,00)	1.13
27	[A2-M2 S]	(-4,24; 8,48)	29,98	(-27,70; -10,19)	(24,53; 0,00)	1.13
28	[A2-M2 S]	(-4,24; 8,48)	29,98	(-27,70; -10,19)	(24,53; 0,00)	1.13
29	[A2-M2 S]	(-4,24; 8,48)	29,98	(-27,70; -10,19)	(24,53; 0,00)	1.13
30	[A2-M2 S]	(-4,24; 8,48)	29,98	(-27,70; -10,19)	(24,53; 0,00)	1.13
31	[A2-M2 S]	(-4,24; 8,48)	29,98	(-27,70; -10,19)	(24,53; 0,00)	1.13
32	[A2-M2 S]	(-4,24; 8,48)	29,98	(-27,70; -10,19)	(24,53; 0,00)	1.13

In dettaglio si riportano di seguito i risultati della combinazione più sfavorevole.

### Combinazione n° 25

Numero di strisce 51

#### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)

Le strisce sono numerate da monte verso valle

N° numero d'ordine della striscia

W peso della striscia espresso in [kN]

$\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)

$\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]

b larghezza della striscia espressa in [m]

L sviluppo della base della striscia espressa in [m] ( $L=b/\cos\alpha$ )

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]

C<sub>tn</sub>, C<sub>tt</sub> contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**51 /**  
**126**

### Caratteristiche delle strisce

N°	W	$\alpha(^{\circ})$	Wsin $\alpha$	L	$\phi$	c	u	(Ctn; Ctt)
	[kN]					[kPa]	[kPa]	[kN]
1	11,6452	-49.97	-8,9166	1,60	22.18	4,0	4,9	(0,00; 0,00)
2	34,2754	-47.01	-25,0701	1,50	22.18	4,0	16,3	(0,00; 0,00)
3	54,7264	-44.20	-38,1541	1,43	22.18	4,0	26,6	(0,00; 0,00)
4	73,3059	-41.52	-48,5969	1,37	22.18	4,0	35,9	(0,00; 0,00)
5	90,2449	-38.95	-56,7362	1,32	22.18	4,0	44,4	(0,00; 0,00)
6	105,7218	-36.47	-62,8467	1,28	22.18	4,0	52,2	(0,00; 0,00)
7	119,8773	-34.07	-67,1574	1,24	22.18	4,0	59,3	(0,00; 0,00)
8	132,8248	-31.73	-69,8637	1,21	22.18	4,0	65,8	(0,00; 0,00)
9	144,6567	-29.46	-71,1353	1,18	22.18	4,0	71,8	(0,00; 0,00)
10	155,4495	-27.23	-71,1215	1,15	22.18	4,0	77,2	(0,00; 0,00)
11	165,2669	-25.04	-69,9561	1,13	22.18	4,0	82,2	(0,00; 0,00)
12	174,1623	-22.90	-67,7601	1,11	22.18	4,0	86,6	(0,00; 0,00)
13	182,1810	-20.78	-64,6442	1,10	22.18	4,0	90,7	(0,00; 0,00)
14	189,3610	-18.70	-60,7105	1,08	22.18	4,0	94,3	(0,00; 0,00)
15	195,7347	-16.64	-56,0545	1,07	22.18	4,0	97,5	(0,00; 0,00)
16	201,3294	-14.60	-50,7659	1,06	22.18	4,0	100,3	(0,00; 0,00)
17	206,1680	-12.59	-44,9296	1,05	22.18	4,0	102,7	(0,00; 0,00)
18	210,2698	-10.59	-38,6268	1,04	22.18	4,0	104,8	(0,00; 0,00)
19	213,6503	-8.60	-31,9354	1,04	22.18	4,0	106,5	(0,00; 0,00)
20	216,3222	-6.62	-24,9310	1,03	22.18	4,0	107,8	(0,00; 0,00)
21	218,2954	-4.65	-17,6871	1,03	22.18	4,0	108,8	(0,00; 0,00)
22	219,5767	-2.68	-10,2758	1,03	22.18	4,0	109,5	(0,00; 0,00)
23	220,1710	-0.72	-2,7681	1,03	22.18	4,0	109,8	(0,00; 0,00)
24	220,0801	1.24	4,7654	1,03	22.18	4,0	109,7	(0,00; 0,00)
25	219,3039	3.20	12,2543	1,03	22.18	4,0	109,3	(0,00; 0,00)
26	217,8395	5.17	19,6282	1,03	22.18	4,0	108,6	(0,00; 0,00)
27	215,6818	7.14	26,8156	1,03	22.18	4,0	107,5	(0,00; 0,00)
28	410,0410	9.12	64,9865	1,04	22.18	4,0	177,7	(0,00; 0,00)
29	406,5014	11.10	78,2835	1,04	22.18	4,0	175,9	(0,00; 0,00)
30	402,2454	13.10	91,1769	1,05	22.18	4,0	173,7	(0,00; 0,00)
31	397,2567	15.12	103,5892	1,06	22.18	4,0	171,2	(0,00; 0,00)
32	391,5155	17.15	115,4396	1,07	22.18	4,0	168,3	(0,00; 0,00)
33	384,9982	19.20	126,6434	1,08	22.18	4,0	165,0	(0,00; 0,00)
34	377,6768	21.29	137,1111	1,10	22.18	4,0	161,3	(0,00; 0,00)
35	369,5182	23.40	146,7473	1,11	22.18	4,0	157,2	(0,00; 0,00)
36	360,4832	25.55	155,4496	1,13	22.18	4,0	152,6	(0,00; 0,00)
37	350,5258	27.73	163,1068	1,15	22.18	4,0	147,6	(0,00; 0,00)
38	339,5911	29.96	169,5973	1,18	22.18	4,0	142,1	(0,00; 0,00)
39	327,6137	32.24	174,7864	1,21	22.18	4,0	136,0	(0,00; 0,00)
40	314,5155	34.58	178,5229	1,24	22.18	4,0	129,4	(0,00; 0,00)
41	300,2012	36.99	180,6351	1,28	22.18	4,0	122,2	(0,00; 0,00)
42	284,5541	39.48	180,9244	1,32	22.18	4,0	114,3	(0,00; 0,00)
43	267,4290	42.06	179,1571	1,38	22.18	4,0	105,7	(0,00; 0,00)
44	248,6410	44.75	175,0522	1,44	22.18	4,0	96,2	(0,00; 0,00)
45	227,9500	47.57	168,2622	1,51	22.18	4,0	85,7	(0,00; 0,00)
46	205,0337	50.56	158,3439	1,61	22.18	4,0	74,1	(0,00; 0,00)
47	179,4430	53.75	144,7073	1,73	22.18	4,0	61,2	(0,00; 0,00)
48	150,5168	57.20	126,5231	1,89	22.18	4,0	46,6	(0,00; 0,00)
49	117,2061	61.02	102,5322	2,11	22.18	4,0	29,8	(0,00; 0,00)
50	77,6396	65.38	70,5828	2,45	22.18	4,0	9,8	(0,00; 0,00)
51	27,9937	70.49	26,3856	3,06	22.18	4,0	0,0	(0,00; 0,00)

Resistenza a taglio paratia= 0,0000 [kN]

$\Sigma W_i = 11327,2125$  [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 2221,3666$  [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 4617,2024$  [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 4,08$

A valle dei risultati ottenuti la verifica di sollevamento del fondo scavo risulta essere soddisfatta.

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**52 /**  
**126**

### 5.1.2.4.-. Verifica al raggiungimento della resistenza strutturale della paratia

Con riferimento ad una sezione del palo con le seguenti caratteristiche:

- Diametro del palo 800,0 [mm]
- Area della sezione trasversale 502655 [mmq]
- Copriferro 30,0 [mm]

Con un'area di armatura  $A_f=16990$  mmq.

#### Verifica armatura paratia (Sezioni critiche)

#### Simbologia adottata

- n° Indice della combinazione/fase  
 Tipo Tipo della Combinazione/Fase  
 Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]  
 M momento flettente espresso in [kNm]  
 N sforzo normale espresso in [kN] (positivo di compressione)  
 Mu momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]  
 Nu sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]  
 FS fattore di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)  
 T taglio espresso in [kN]  
 $V_{Rd}$  taglio resistente espresso in [kN]  
 $FS_T$  fattore di sicurezza a taglio

N°	Tipo	Y [m]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
1	[A1-M1]	0,60	1295,58	662,87	1825,74	934,12	1.41
2	[A1-M1]	0,00	1345,06	551,67	1807,64	741,39	1.34
3	[A1-M1]	0,00	1614,16	655,47	1806,92	733,75	1.12
4	[A1-M1]	0,00	1345,06	551,67	1807,64	741,39	1.34
5	[A1-M1]	0,00	1337,04	599,01	1814,35	812,86	1.36
6	[A1-M1]	0,00	1608,45	682,82	1810,18	768,46	1.13
7	[A1-M1]	0,00	1337,04	599,01	1814,35	812,86	1.36
8	[A1-M1]	0,00	1608,45	682,82	1810,18	768,46	1.13
9	[A1-M1 S]	0,00	619,01	242,62	1804,43	707,23	2.92
10	[A1-M1 S]	0,00	669,28	267,65	1805,84	722,17	2.70
11	[A1-M1 S]	0,00	705,16	281,49	1805,71	720,82	2.56
12	[A1-M1 S]	0,00	669,28	267,65	1805,84	722,17	2.70
13	[A1-M1 S]	0,00	668,21	273,96	1807,62	741,11	2.71
14	[A1-M1 S]	0,00	704,39	285,14	1806,70	731,34	2.56
15	[A1-M1 S]	0,00	668,21	273,96	1807,62	741,11	2.71
16	[A1-M1 S]	0,00	704,39	285,14	1806,70	731,34	2.56
17	[A2-M2]	0,60	1121,71	575,47	1825,99	936,79	1.63
18	[A2-M2]	0,00	1165,72	478,11	1807,64	741,39	1.55
19	[A2-M2]	0,00	1398,94	568,08	1806,92	733,75	1.29
20	[A2-M2]	0,00	1165,72	478,11	1807,64	741,39	1.55
21	[A2-M2]	0,00	1158,77	519,14	1814,35	812,86	1.57
22	[A2-M2]	0,00	1393,99	591,78	1810,18	768,46	1.30

N°	Tipo	Y [m]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
23	[A2-M2]	0,00	1158,77	519,14	1814,35	812,86	1.57
24	[A2-M2]	0,00	1393,99	591,78	1810,18	768,46	1.30
25	[A2-M2 S]	0,00	619,01	242,62	1804,43	707,23	2.92
26	[A2-M2 S]	0,00	669,28	267,65	1805,84	722,17	2.70
27	[A2-M2 S]	0,00	705,16	281,49	1805,71	720,82	2.56
28	[A2-M2 S]	0,00	669,28	267,65	1805,84	722,17	2.70
29	[A2-M2 S]	0,00	668,21	273,96	1807,62	741,11	2.71
30	[A2-M2 S]	0,00	704,39	285,14	1806,70	731,34	2.56
31	[A2-M2 S]	0,00	668,21	273,96	1807,62	741,11	2.71
32	[A2-M2 S]	0,00	704,39	285,14	1806,70	731,34	2.56

N°	Tipo	Y [m]	T [kNm]	Tr [kN]	FS <sub>T</sub>
1	[A1-M1]	0,00	-531,90	722,29	1.36
2	[A1-M1]	0,00	-376,20	722,29	1.92
3	[A1-M1]	0,00	-447,62	722,29	1.61
4	[A1-M1]	0,00	-376,20	722,29	1.92
5	[A1-M1]	0,00	-374,07	722,29	1.93
6	[A1-M1]	0,00	-446,10	722,29	1.62
7	[A1-M1]	0,00	-374,07	722,29	1.93
8	[A1-M1]	0,00	-446,10	722,29	1.62
9	[A1-M1 S]	0,00	-213,62	722,29	3.38
10	[A1-M1 S]	0,00	-192,86	722,29	3.75
11	[A1-M1 S]	0,00	-202,38	722,29	3.57
12	[A1-M1 S]	0,00	-192,86	722,29	3.75
13	[A1-M1 S]	0,00	-192,58	722,29	3.75
14	[A1-M1 S]	0,00	-202,18	722,29	3.57
15	[A1-M1 S]	0,00	-192,58	722,29	3.75
16	[A1-M1 S]	0,00	-202,18	722,29	3.57
17	[A2-M2]	0,00	-462,86	722,29	1.56
18	[A2-M2]	0,00	-327,93	722,29	2.20
19	[A2-M2]	0,00	-389,82	722,29	1.85
20	[A2-M2]	0,00	-327,93	722,29	2.20
21	[A2-M2]	0,00	-326,08	722,29	2.22
22	[A2-M2]	0,00	-388,50	722,29	1.86
23	[A2-M2]	0,00	-326,08	722,29	2.22
24	[A2-M2]	0,00	-388,50	722,29	1.86
25	[A2-M2 S]	0,00	-218,90	722,29	3.30
26	[A2-M2 S]	0,00	-198,14	722,29	3.65
27	[A2-M2 S]	0,00	-207,67	722,29	3.48
28	[A2-M2 S]	0,00	-198,14	722,29	3.65
29	[A2-M2 S]	0,00	-197,86	722,29	3.65
30	[A2-M2 S]	0,00	-207,46	722,29	3.48
31	[A2-M2 S]	0,00	-197,86	722,29	3.65
32	[A2-M2 S]	0,00	-207,46	722,29	3.48

**Simbologia adottata**

n° Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della Combinazione/Fase

Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]

$\sigma_c$  tensione nel calcestruzzo, espressa in [kPa]

$\sigma_f$  tensione nell'armatura longitudinale del palo, espressa in [kPa]

N°	Tipo	$\sigma_c$ [kPa]	Y( $\sigma_c$ ) [m]	$\sigma_f$ [kPa]	Y( $\sigma_f$ ) [m]	A <sub>r</sub> [mmq]
33	[SLER]	11794	0,60	217391	0,60	16990
34	[SLEF]	9087	0,00	173082	0,00	16990
35	[SLEQ]	9087	0,00	173082	0,00	16990
36	[SLER]	12436	0,00	236007	0,00	16990

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**54 /**  
**126**

N°	Tipo	$\sigma_c$	$Y(\sigma_c)$	$\sigma_r$	$Y(\sigma_r)$	$A_r$
		[kPa]	[m]	[kPa]	[m]	[mmq]
37	[SLER]	14542	0,00	276191	0,00	16990
38	[SLER]	12436	0,00	236007	0,00	16990
39	[SLER]	12398	0,00	233176	0,00	16990
40	[SLER]	14512	0,00	274381	0,00	16990
41	[SLER]	12398	0,00	233176	0,00	16990
42	[SLER]	14512	0,00	274381	0,00	16990

A valle dei risultati ottenuti è possibile affermare che la verifica è soddisfatta.

## 5.2.-...PARATIA PUNTONATA IN TESTA

Al di fuori del sottovia, lato Trapani, per circa 65,00m la paratia non presenta più il solettone di copertura in testa. Essa viene realizzata mediante un puntone di cls in testa, di sezione 80x80cm ad interasse di 3,00m.

Nella stessa fase in cui viene realizzato il solettone di copertura in corrispondenza del sottovia, vengono realizzati i puntoni in testa.

Le paratie di cui sopra presentano le seguenti caratteristiche geometriche:

- Diametro pali: 800mm
- Interasse: 0,90m
- Armatura: 16990mm<sup>2</sup>
- Altezza fuori terra: 10,20m
- Profondità di infissione: 11,00m
- Altezza totale della paratia 21,20m

Le caratteristiche del terreno di rinfiacco sono quelle espote nel §2.4.

Le analisi della paratia sono state condotte con il software PAC della Aztec Informatica.

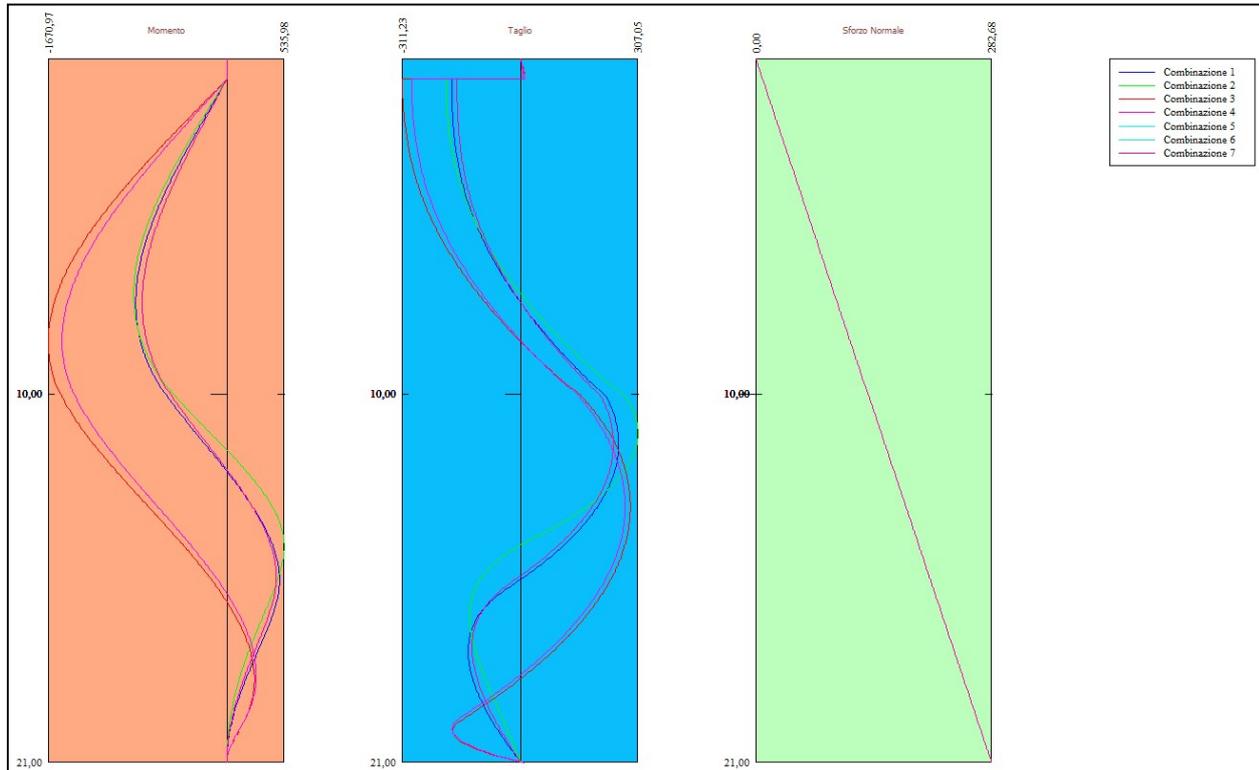
### 5.2.1.-...Risultati delle analisi

L'analisi della paratia è stata condotta nella sua condizione di esercizio. In accordo con quanto previsto dalle NTC18, le paratie verranno esaminate considerando l'Approccio1 per il quale esistono due differenti combinazioni:

- A1 + M1 + R1
- A1 + M2 + R1

così come definiti nella Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle stesse NTC18.

Con riferimento alle condizioni di carico elementari e relative combinazioni di carico espote nei paragrafi precedenti, di seguito si riportano i diagrammi di inviluppo delle sollecitazioni per metro lineare di paratia e successivamente i valori numerici.



**Figura 25 – Involuppi delle sollecitazioni**

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

*Simbologia adottata*

- n° Indice della combinazione/fase
- Tipo Tipo della combinazione/fase
- Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
- M momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]
- N sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)
- T taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	Tipo	M	Y <sub>M</sub>	T	Y <sub>T</sub>	N	Y <sub>N</sub>	
		[kNm]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	
1	[A1-M1 S]	492,62	15,55	256,43	11,50	282,68	21,00	MAX
--	--	-851,50	7,25	-182,10	0,60	0,00	0,00	MIN
2	[A1-M1]	535,98	14,55	307,05	11,15	282,68	21,00	MAX
--	--	-871,36	7,00	-196,48	0,60	0,00	0,00	MIN
3	[A2-M2 S]	258,20	18,50	287,08	13,35	282,68	21,00	MAX
--	--	-1670,97	8,40	-311,23	0,60	0,00	0,00	MIN
4	[A2-M2]	274,89	18,40	273,40	13,35	282,68	21,00	MAX
--	--	-1541,68	8,40	-287,16	0,60	0,00	0,00	MIN
5	[SLER]	462,67	15,45	242,79	11,50	282,68	21,00	MAX
--	--	-790,90	7,25	-167,99	0,85	0,00	0,00	MIN
6	[SLEF]	462,67	15,45	242,79	11,50	282,68	21,00	MAX

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**56 /**  
**126**

n°	Tipo	M [kNm]	Y <sub>M</sub> [m]	T [kN]	Y <sub>T</sub> [m]	N [kN]	Y <sub>N</sub> [m]	
--	--	-790,90	7,25	-167,99	0,85	0,00	0,00	MIN
7	[SLEQ]	462,67	15,45	242,79	11,50	282,68	21,00	MAX
--	--	-790,90	7,25	-167,99	0,85	0,00	0,00	MIN

### Spostamenti massimi e minimi della paratia per le combinazioni allo SLE

#### *Simbologia adottata*

n° Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della combinazione/fase

Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]

U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [mm] positivo verso valle

V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [mm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [mm]	Y <sub>U</sub> [m]	V [mm]	Y <sub>V</sub> [m]	
1	[A1-M1 S]	24,467	7,55	0,172	0,00	MAX
--	--	-2,943	0,00	0,000	0,00	MIN
2	[A1-M1]	22,557	7,20	0,172	0,00	MAX
--	--	-2,819	0,00	0,000	0,00	MIN
3	[A2-M2 S]	75,033	9,20	0,172	0,00	MAX
--	--	-7,640	0,00	0,000	0,00	MIN
4	[A2-M2]	68,168	9,15	0,172	0,00	MAX
--	--	-6,979	0,00	0,000	0,00	MIN
5	[SLER]	22,500	7,55	0,172	0,00	MAX
--	--	-2,714	0,00	0,000	0,00	MIN
6	[SLEF]	22,500	7,55	0,172	0,00	MAX
--	--	-2,714	0,00	0,000	0,00	MIN
7	[SLEQ]	22,500	7,55	0,172	0,00	MAX
--	--	-2,714	0,00	0,000	0,00	MIN

### **5.2.2.-.Verifiche**

In accordo con quanto previsto dalle NTC18 al §6.5.3.1.2 per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)
  - collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido);
  - instabilità del fondo scavo per sollevamento;
  - instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC18.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>	
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>		<p>PAGINA <b>57 / 126</b></p>

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nella Tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

Per quanto riguarda invece le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio, si deve verificare che gli spostamenti dell'opera e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti.

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche allo SLU.

#### ***5.2.2.1.-.Verifica al collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera***

Lo SLU di tipo GEO riguardante il collasso per rotazione intorno ad un punto della paratia è stato già implicitamente verificato in precedenza avendo ricavato, nota l'infissione "i", i valori delle spinte attiva e passiva tali per cui si raggiunge l'equilibrio della paratia stessa.

#### ***5.2.2.2.-.Verifica di instabilità del fondo scavo per sollevamento***

Per la verifica a sollevamento si utilizza il metodo di Terzaghi. Il coefficiente di sicurezza nei fenomeni di sollevamento del fondo scavo deriva da considerazioni di equilibrio verticale di una porzione di terreno a valle della paratia soggetta a tale fenomeno.

Secondo Terzaghi il volume interessato da sollevamento ha profondità D e larghezza D/2, in cui D rappresenta la profondità di infissione della paratia.

Il coefficiente di sicurezza è dato dal rapporto tra il peso del volume di terreno sopra descritto W e la pressione idrica al piede della paratia U dovuta alla presenza di una falda in moto idrodinamico:

$$FS_{SCAVO} = \frac{W}{U};$$

In cui la pressione U è calcolata nell'ipotesi di filtrazione monodimensionale.

Di seguito si riporta quanto ottenuto.

#### **Simbologia adottata**

- Ic : Indice della combinazione  
Tipo Tipo della Combinazione/Fase  
 $\Delta H$  : Perdita di carico espressa in [m]  
L : Lunghezza di filtrazione espressa in [m]  
*i*<sub>E</sub> : Gradiente idraulico di efflusso

- $I$  : Profondità di infissione espressa in [m]  
 $\sigma_t$  : Pressione totale al piede della paratia espressa in [kPa]  
 $u_w$  : Pressione idrica al piede della paratia espressa in [kPa]  
 $FS_{scavo}$  : Coefficiente di sicurezza a sollevamento fondo scavo

Ic	Tipo	$\Delta H$	L	$i_e$	I	$\sigma_t$	uw	$FS_{scavo}$
1	[A1-M1 S]	7,30	28,70	0,25	11,00	1985933	1447854	1,37
2	[A1-M1]	7,30	28,70	0,25	11,00	1985933	1447854	1,37
3	[A2-M2 S]	7,30	28,70	0,25	11,00	1985933	1447854	1,37
4	[A2-M2]	7,30	28,70	0,25	11,00	1985933	1447854	1,37
5	[SLER]	7,30	28,70	0,25	11,00	1985933	1447854	1,37
6	[SLEF]	7,30	28,70	0,25	11,00	1985933	1447854	1,37
7	[SLEQ]	7,30	28,70	0,25	11,00	1985933	1447854	1,37

### ***5.2.2.3.-.Verifica di instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno***

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia-terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1,10. È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.

In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop. Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \tan \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i};$$

dove "m" è il termine espresso da:

$$m = \left( 1 + \frac{\tan \phi_i \tan \alpha_i}{\eta} \right) \cdot \cos \alpha_i;$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i-esima rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia i-

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**59 /**  
**126**

esima ,  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $\eta$ . Quindi essa è risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Di seguito si riporta quanto ottenuto.

### Simbologia adottata

$n^\circ$	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
$(X_C; Y_C)$	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
$(X_V; Y_V)$	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
$(X_M; Y_M)$	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

$n^\circ$	Tipo	$(X_C, Y_C)$ [m]	R [m]	$(X_V, Y_V)$ [m]	$(X_M, Y_M)$ [m]	FS
3	[A2-M2 S]	(-4,20; 10,50)	31,78	(-28,49; -9,99)	(25,80; 0,00)	1.15
4	[A2-M2]	(-2,10; 4,20)	25,29	(-23,03; -9,99)	(22,84; 0,00)	1.37

In dettaglio si riportano di seguito i risultati della combinazione più sfavorevole.

### Combinazione n° 3

Numero di strisce    51

### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)

Le strisce sono numerate da monte verso valle

$N^\circ$             numero d'ordine della striscia

W            peso della striscia espresso in [kN]

$\alpha$             angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)

$\phi$             angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**60 /**  
**126**

- c* coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]  
*b* larghezza della striscia espressa in [m]  
*L* sviluppo della base della striscia espressa in [m] ( $L=b/\cos\alpha$ )  
*u* pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]  
*C<sub>tn</sub>, C<sub>tt</sub>* contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

### Caratteristiche delle strisce

N°	W [kN]	$\alpha(^{\circ})$	Wsin $\alpha$	L	$\phi$	c [kPa]	u [kPa]	(C <sub>tn</sub> ; C <sub>tt</sub> ) [kN]
1	11,6599	-48.43	-8,7227	1,59	22.18	4,0	2,8	(0,00; 0,00)
2	34,4035	-45.63	-24,5935	1,51	22.18	4,0	13,9	(0,00; 0,00)
3	55,0755	-42.97	-37,5405	1,44	22.18	4,0	24,0	(0,00; 0,00)
4	73,9425	-40.42	-47,9435	1,39	22.18	4,0	33,2	(0,00; 0,00)
5	91,2089	-37.96	-56,1084	1,34	22.18	4,0	41,7	(0,00; 0,00)
6	107,0354	-35.59	-62,2882	1,30	22.18	4,0	49,4	(0,00; 0,00)
7	121,5509	-33.28	-66,6972	1,26	22.18	4,0	56,5	(0,00; 0,00)
8	134,8603	-31.03	-69,5203	1,23	22.18	4,0	63,0	(0,00; 0,00)
9	147,0501	-28.83	-70,9193	1,20	22.18	4,0	69,0	(0,00; 0,00)
10	158,1925	-26.68	-71,0383	1,18	22.18	4,0	74,4	(0,00; 0,00)
11	168,3479	-24.57	-70,0067	1,16	22.18	4,0	79,4	(0,00; 0,00)
12	177,5675	-22.50	-67,9426	1,14	22.18	4,0	83,9	(0,00; 0,00)
13	185,8949	-20.45	-64,9543	1,13	22.18	4,0	88,0	(0,00; 0,00)
14	193,3668	-18.43	-61,1425	1,11	22.18	4,0	91,6	(0,00; 0,00)
15	200,0149	-16.44	-56,6012	1,10	22.18	4,0	94,9	(0,00; 0,00)
16	205,8657	-14.46	-51,4192	1,09	22.18	4,0	97,7	(0,00; 0,00)
17	210,9417	-12.51	-45,6808	1,08	22.18	4,0	100,2	(0,00; 0,00)
18	215,2619	-10.56	-39,4668	1,07	22.18	4,0	102,3	(0,00; 0,00)
19	218,8418	-8.63	-32,8546	1,07	22.18	4,0	104,1	(0,00; 0,00)
20	221,6939	-6.71	-25,9196	1,06	22.18	4,0	105,5	(0,00; 0,00)
21	223,8282	-4.80	-18,7351	1,06	22.18	4,0	106,5	(0,00; 0,00)
22	225,2518	-2.89	-11,3729	1,06	22.18	4,0	107,2	(0,00; 0,00)
23	225,9695	-0.99	-3,9040	1,06	22.18	4,0	107,6	(0,00; 0,00)
24	225,9837	0.91	3,6013	1,06	22.18	4,0	107,6	(0,00; 0,00)
25	225,2944	2.82	11,0731	1,06	22.18	4,0	107,2	(0,00; 0,00)
26	223,8994	4.72	18,4409	1,06	22.18	4,0	106,6	(0,00; 0,00)
27	221,7939	6.64	25,6340	1,06	22.18	4,0	105,5	(0,00; 0,00)
28	427,3317	8.57	63,7159	1,09	22.18	4,0	175,7	(0,00; 0,00)
29	423,6324	10.54	77,4992	1,09	22.18	4,0	174,0	(0,00; 0,00)
30	419,1503	12.52	90,8624	1,10	22.18	4,0	171,8	(0,00; 0,00)
31	413,8689	14.51	103,7221	1,11	22.18	4,0	169,3	(0,00; 0,00)
32	407,7676	16.53	115,9913	1,12	22.18	4,0	166,3	(0,00; 0,00)
33	400,8221	18.56	127,5790	1,13	22.18	4,0	163,0	(0,00; 0,00)
34	393,0033	20.62	138,3894	1,15	22.18	4,0	159,2	(0,00; 0,00)
35	384,2770	22.70	148,3205	1,17	22.18	4,0	155,1	(0,00; 0,00)
36	374,6028	24.82	157,2633	1,18	22.18	4,0	150,4	(0,00; 0,00)
37	363,9331	26.98	165,1000	1,21	22.18	4,0	145,3	(0,00; 0,00)
38	352,2114	29.18	171,7020	1,23	22.18	4,0	139,7	(0,00; 0,00)
39	339,3709	31.42	176,9278	1,26	22.18	4,0	133,5	(0,00; 0,00)
40	325,3315	33.72	180,6193	1,29	22.18	4,0	126,8	(0,00; 0,00)
41	309,9966	36.09	182,5980	1,33	22.18	4,0	119,4	(0,00; 0,00)
42	293,2484	38.53	182,6590	1,37	22.18	4,0	111,4	(0,00; 0,00)
43	274,9414	41.05	180,5632	1,43	22.18	4,0	102,6	(0,00; 0,00)
44	254,8921	43.68	176,0259	1,49	22.18	4,0	92,9	(0,00; 0,00)
45	232,8651	46.42	168,6995	1,56	22.18	4,0	82,4	(0,00; 0,00)
46	208,5491	49.32	158,1473	1,65	22.18	4,0	70,7	(0,00; 0,00)
47	181,5186	52.39	143,7996	1,76	22.18	4,0	57,7	(0,00; 0,00)
48	151,1640	55.70	124,8771	1,91	22.18	4,0	43,1	(0,00; 0,00)
49	116,5548	59.32	100,2414	2,11	22.18	4,0	26,5	(0,00; 0,00)
50	76,1293	63.38	68,0622	2,40	22.18	4,0	7,1	(0,00; 0,00)
51	27,1071	67.95	25,1237	2,86	22.18	4,0	0,0	(0,00; 0,00)

Resistenza a taglio paratia= 0,0000 [kN]

$\Sigma W_i = 11657,0669$  [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 2221,8661$  [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 4751,6578$  [kN]

$\Sigma \tan \square_i \tan \phi_i = 3,71$

A valle dei risultati ottenuti la verifica di sollevamento del fondo scavo risulta essere soddisfatta.

#### **5.2.2.4.-. Verifica al raggiungimento della resistenza strutturale della paratia**

Con riferimento ad una sezione del palo con le seguenti caratteristiche:

- Diametro del palo 800,0 [mm]
- Area della sezione trasversale 502655 [mmq]
- Copriferro 30,0 [mm]

Con un'area di armatura  $A_f = 16990$  mmq.

#### **Verifica armatura paratia (Sezioni critiche)**

##### *Simbologia adottata*

$n^\circ$  Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della Combinazione/Fase

Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]

M momento flettente espresso in [kNm]

N sforzo normale espresso in [kN] (positivo di compressione)

Mu momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]

Nu sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]

FS fattore di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

T taglio espresso in [kN]

$V_{Rd}$  taglio resistente espresso in [kN]

$FS_T$  fattore di sicurezza a taglio

N°	Tipo	Y [m]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
1	[A1-M1 S]	7,25	-779,54	89,35	-1756,93	201,37	2.25
2	[A1-M1]	6,95	-797,67	85,65	-1755,72	188,52	2.20
3	[A2-M2 S]	8,40	-1529,76	103,52	-1749,13	118,36	1.14
4	[A2-M2]	8,35	-1411,35	102,90	-1750,00	127,59	1.24

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**62 /**  
**126**

N°	Tipo	Y [m]	T [kNm]	Tr [kN]	FSr
1	[A1-M1 S]	11,50	234,76	722,29	3.08
2	[A1-M1]	11,15	281,10	722,29	2.57
3	[A2-M2 S]	0,60	-284,93	722,29	2.53
4	[A2-M2]	0,60	-262,89	722,29	2.75

### Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della Combinazione/Fase

Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]

$\sigma_c$  tensione nel calcestruzzo, espressa in [kPa]

$\sigma_f$  tensione nell'armatura longitudinale del palo, espressa in [kPa]

N°	Tipo	$\sigma_c$ [kPa]	Y( $\sigma_c$ ) [m]	$\sigma_f$ [kPa]	Y( $\sigma_f$ ) [m]	A <sub>r</sub> [mmq]
5	[SLER]	10444	7,25	214383	7,20	16990
6	[SLEF]	10444	7,25	214383	7,20	16990
7	[SLEQ]	10444	7,25	214383	7,20	16990

A valle dei risultati ottenuti è possibile affermare che la verifica è soddisfatta.

### 5.3.-...PARATIA LIBERA

Oltre la paratia puntonata lato Trapani, per circa 30,00m, la paratia non è più presente il puntone in testa e quindi la paratia diventa libera con una altezza libera massima di 7,00m.

Le paratie di cui sopra presentano le seguenti caratteristiche geometriche:

- Diametro pali: 800mm
- Interasse: 0,90m
- Armatura: 16990mm<sup>2</sup>
- Massima altezza fuori terra: 7,00m
- Profondità di infissione: 11,00m
- Altezza totale della paratia 18,00m

Le caratteristiche del terreno di rinfiaccio sono quelle espote nel §2.4.

Le analisi della paratia sono state condotte con il software PAC della Aztec Informatica.

### 5.3.1.-..Risultati delle analisi

L'analisi della paratia è stata condotta nella sua condizione di esercizio. In accordo con quanto previsto dalle NTC18, le paratie verranno esaminate considerando l'Approccio1 per il quale esistono due differenti combinazioni:

- A1 + M1 + R1
- A1 + M2 + R1

così come definiti nella Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle stesse NTC18.

Con riferimento alle condizioni di carico elementari e relative combinazioni di carico espresse nei paragrafi precedenti, di seguito si riportano i diagrammi di involucro delle sollecitazioni per metro lineare di paratia e successivamente i valori numerici.

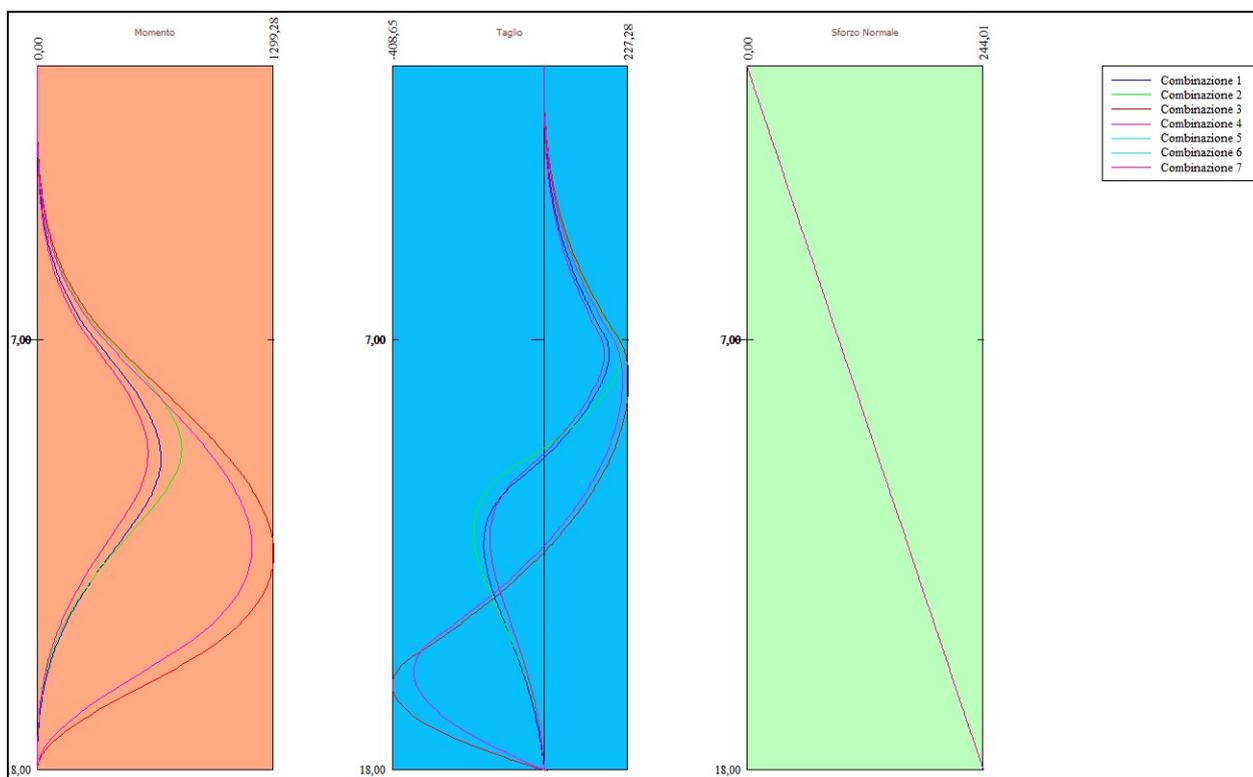


Figura 26 – Involuppi delle sollecitazioni

#### Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

##### *Simbologia adottata*

- n°      Indice della combinazione/fase  
 Tipo    Tipo della combinazione/fase  
 Y        ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]  
 M        momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**64 /**  
**126**

N sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)

T taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	Tipo	M	Y <sub>M</sub>	T	Y <sub>T</sub>	N	Y <sub>N</sub>	
		[kNm]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	
1	[A1-M1 S]	677,84	10,05	174,08	7,35	244,01	18,00	MAX
--	--	0,00	0,00	-161,94	12,25	0,00	0,00	MIN
2	[A1-M1]	792,53	9,80	208,01	7,40	244,01	18,00	MAX
--	--	0,00	0,60	-189,54	11,90	0,00	0,00	MIN
3	[A2-M2 S]	1299,28	12,45	227,28	8,00	244,00	18,00	MAX
--	--	0,00	18,00	-408,65	15,80	0,00	0,00	MIN
4	[A2-M2]	1178,70	12,30	211,15	8,00	244,01	18,00	MAX
--	--	0,00	0,10	-350,07	15,50	0,00	0,00	MIN
5	[SLER]	608,88	9,90	161,05	7,35	244,01	18,00	MAX
--	--	0,00	0,70	-145,60	12,05	0,00	0,00	MIN
6	[SLEF]	608,88	9,90	161,05	7,35	244,01	18,00	MAX
--	--	0,00	0,70	-145,60	12,05	0,00	0,00	MIN
7	[SLEQ]	608,88	9,90	161,05	7,35	244,01	18,00	MAX
--	--	0,00	0,70	-145,60	12,05	0,00	0,00	MIN

Spostamenti massimi e minimi della paratia per le combinazioni allo SLE

*Simbologia adottata*

n° Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della combinazione/fase

Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]

U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [mm] positivo verso valle

V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [mm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U	Y <sub>U</sub>	V	Y <sub>V</sub>	
		[mm]	[m]	[mm]	[m]	
1	[A1-M1 S]	57,202	0,00	0,126	0,00	MAX
--	--	-0,512	14,80	0,000	0,00	MIN
2	[A1-M1]	62,867	0,00	0,126	0,00	MAX
--	--	-0,614	14,40	0,000	0,00	MIN
3	[A2-M2 S]	213,013	0,00	0,126	0,00	MAX
--	--	-6,846	18,00	0,000	0,00	MIN
4	[A2-M2]	173,557	0,00	0,126	0,00	MAX
--	--	-4,936	18,00	0,000	0,00	MIN
5	[SLER]	50,015	0,00	0,126	0,00	MAX
--	--	-0,424	14,70	0,000	0,00	MIN
6	[SLEF]	50,015	0,00	0,126	0,00	MAX
--	--	-0,424	14,70	0,000	0,00	MIN
7	[SLEQ]	50,015	0,00	0,126	0,00	MAX
--	--	-0,424	14,70	0,000	0,00	MIN

### 5.3.2.-.Verifiche

In accordo con quanto previsto dalle NTC18 al §6.5.3.1.2 per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>	
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>		<p>PAGINA <b>65 / 126</b></p>

- collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- instabilità del fondo scavo per sollevamento;
- instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, 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 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nella Tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

Per quanto riguarda invece le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio, si deve verificare che gli spostamenti dell'opera e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti.

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche allo SLU.

### ***5.3.2.1.-.Verifica al collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera***

Lo SLU di tipo GEO riguardante il collasso per rotazione intorno ad un punto della paratia è stato già implicitamente verificato in precedenza avendo ricavato, nota l'infissione "i", i valori delle spinte attiva e passiva tali per cui si raggiunge l'equilibrio della paratia stessa.

### ***5.3.2.2.-.Verifica di instabilità del fondo scavo per sollevamento***

Per la verifica a sollevamento si utilizza il metodo di Terzaghi. Il coefficiente di sicurezza nei fenomeni di sollevamento del fondo scavo deriva da considerazioni di equilibrio verticale di una porzione di terreno a valle della paratia soggetta a tale fenomeno.

Secondo Terzaghi il volume interessato da sollevamento ha profondità D e larghezza D/2, in cui D rappresenta la profondità di infissione della paratia.

Il coefficiente di sicurezza è dato dal rapporto tra il peso del volume di terreno sopra descritto W e la pressione idrica al piede della paratia U dovuta alla presenza di una falda in moto idrodinamico:

$$FS_{\text{SCAVO}} = \frac{W}{U};$$

In cui la pressione U è calcolata nell'ipotesi di filtrazione monodimensionale.

Di seguito si riporta quanto ottenuto.

Simbologia adottata

Ic : Indice della combinazione

Tipo Tipo della Combinazione/Fase

$\Delta H$  : Perdita di carico espressa in [m]

L : Lunghezza di filtrazione espressa in [m]

$i_E$  : Gradiente idraulico di efflusso

I : Profondità di infissione espressa in [m]

$\sigma_t$  : Pressione totale al piede della paratia espressa in [kPa]

$u_w$  : Pressione idrica al piede della paratia espressa in [kPa]

$FS_{scavo}$  : Coefficiente di sicurezza a sollevamento fondo scavo

Ic	Tipo	$\Delta H$	L	$i_E$	I	$\sigma_t$	$u_w$	$FS_{scavo}$
1	[A1-M1 S]	5,00	25,00	0,20	11,00	1979068	1294498	1,53
2	[A1-M1]	5,00	25,00	0,20	11,00	1979068	1294498	1,53
3	[A2-M2 S]	5,00	25,00	0,20	11,00	1979068	1294498	1,53
4	[A2-M2]	5,00	25,00	0,20	11,00	1979068	1294498	1,53
5	[SLER]	5,00	25,00	0,20	11,00	1979068	1294498	1,53
6	[SLEF]	5,00	25,00	0,20	11,00	1979068	1294498	1,53
7	[SLEQ]	5,00	25,00	0,20	11,00	1979068	1294498	1,53

A valle dei risultati ottenuti la verifica risulta essere soddisfatta.

**5.3.2.3.-.Verifica di instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno**

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia-terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1,10. È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.

In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop. Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \tan \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i};$$

dove "m" è il termine espresso da:

$$m = \left( 1 + \frac{\tan \phi_i \tan \alpha_i}{\eta} \right) \cdot \cos \alpha_i;$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i-esima rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia i-esima,  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di  $\eta$ . Quindi essa è risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  da inserire nell'espressione di m ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Di seguito si riporta quanto ottenuto.

#### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
( $X_C$ ; $Y_C$ )	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
( $X_V$ ; $Y_V$ )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
( $X_M$ ; $Y_M$ )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

n°	Tipo	( $X_C$ , $Y_C$ ) [m]	R [m]	( $X_V$ , $Y_V$ ) [m]	( $X_M$ , $Y_M$ ) [m]	FS
3	[A2-M2 S]	(-1,80; 10,80)	28,86	(-24,52; -6,99)	(24,97; 0,00)	1.53
4	[A2-M2]	(-1,80; 5,40)	23,47	(-21,73; -6,99)	(21,05; 0,00)	1.90

In dettaglio si riportano di seguito i risultati della combinazione più sfavorevole.

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**68 /**  
**126**

### Combinazione n° 3

Numero di strisce 51

#### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)

Le strisce sono numerate da monte verso valle

N° numero d'ordine della striscia

W peso della striscia espresso in [kN]

$\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)

$\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]

b larghezza della striscia espressa in [m]

L sviluppo della base della striscia espressa in [m] ( $L=b/\cos\alpha$ )

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]

$C_{tn}$ ,  $C_{tt}$  contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

#### Caratteristiche delle strisce

N°	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	L	$\phi$	c	u	( $C_{tn}$ ; $C_{tt}$ )
	[kN]					[kPa]	[kPa]	[kN]
1	10,8374	-50.41	-8,3521	1,54	22.18	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
2	31,8461	-47.45	-23,4592	1,45	22.18	4,0	7,0	(0,00; 0,00)
3	50,8260	-44.64	-35,7112	1,38	22.18	4,0	16,9	(0,00; 0,00)
4	68,0682	-41.96	-45,5104	1,32	22.18	4,0	26,0	(0,00; 0,00)
5	83,7903	-39.39	-53,1723	1,27	22.18	4,0	34,3	(0,00; 0,00)
6	98,1598	-36.91	-58,9528	1,23	22.18	4,0	41,8	(0,00; 0,00)
7	111,3091	-34.51	-63,0648	1,19	22.18	4,0	48,8	(0,00; 0,00)
8	123,3442	-32.18	-65,6894	1,16	22.18	4,0	55,1	(0,00; 0,00)
9	134,3517	-29.91	-66,9834	1,13	22.18	4,0	60,9	(0,00; 0,00)
10	144,4031	-27.68	-67,0848	1,11	22.18	4,0	66,2	(0,00; 0,00)
11	153,5579	-25.50	-66,1168	1,09	22.18	4,0	71,0	(0,00; 0,00)
12	161,8661	-23.36	-64,1907	1,07	22.18	4,0	75,4	(0,00; 0,00)
13	169,3700	-21.26	-61,4082	1,05	22.18	4,0	79,3	(0,00; 0,00)
14	176,1051	-19.18	-57,8629	1,04	22.18	4,0	82,9	(0,00; 0,00)
15	182,1019	-17.13	-53,6423	1,03	22.18	4,0	86,0	(0,00; 0,00)
16	187,3860	-15.10	-48,8282	1,02	22.18	4,0	88,8	(0,00; 0,00)
17	191,9789	-13.10	-43,4983	1,01	22.18	4,0	91,2	(0,00; 0,00)
18	195,8987	-11.10	-37,7266	1,00	22.18	4,0	93,3	(0,00; 0,00)
19	199,1604	-9.12	-31,5841	0,99	22.18	4,0	95,0	(0,00; 0,00)
20	201,7761	-7.16	-25,1393	0,99	22.18	4,0	96,4	(0,00; 0,00)
21	203,7551	-5.20	-18,4590	0,98	22.18	4,0	97,4	(0,00; 0,00)
22	205,1046	-3.24	-11,6085	0,98	22.18	4,0	98,1	(0,00; 0,00)
23	205,8294	-1.30	-4,6522	0,98	22.18	4,0	98,5	(0,00; 0,00)
24	205,9319	0.65	2,3463	0,98	22.18	4,0	98,6	(0,00; 0,00)
25	205,4125	2.60	9,3236	0,98	22.18	4,0	98,3	(0,00; 0,00)

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**69 /**  
**126**

N°	W [kN]	$\alpha(^{\circ})$	Wsin $\alpha$	L	$\phi$	c [kPa]	u [kPa]	(Ctn; Ctt) [kN]
26	327,7071	4.53	25,8979	0,96	22.18	4,0	146,7	(0,00; 0,00)
27	326,0226	6.45	36,6153	0,97	22.18	4,0	145,8	(0,00; 0,00)
28	323,7435	8.37	47,1340	0,97	22.18	4,0	144,6	(0,00; 0,00)
29	320,8620	10.30	57,3933	0,98	22.18	4,0	143,0	(0,00; 0,00)
30	317,3678	12.25	67,3309	0,98	22.18	4,0	141,2	(0,00; 0,00)
31	313,2484	14.21	76,8825	0,99	22.18	4,0	139,0	(0,00; 0,00)
32	308,4884	16.18	85,9814	1,00	22.18	4,0	136,4	(0,00; 0,00)
33	303,0697	18.18	94,5581	1,01	22.18	4,0	133,5	(0,00; 0,00)
34	296,9703	20.20	102,5392	1,02	22.18	4,0	130,2	(0,00; 0,00)
35	290,1649	22.25	109,8471	1,04	22.18	4,0	126,5	(0,00; 0,00)
36	282,6231	24.32	116,3989	1,05	22.18	4,0	122,5	(0,00; 0,00)
37	274,3098	26.43	122,1054	1,07	22.18	4,0	118,0	(0,00; 0,00)
38	265,1830	28.58	126,8695	1,09	22.18	4,0	113,1	(0,00; 0,00)
39	255,1935	30.78	130,5849	1,12	22.18	4,0	107,8	(0,00; 0,00)
40	244,2825	33.02	133,1333	1,15	22.18	4,0	101,9	(0,00; 0,00)
41	232,3796	35.33	134,3821	1,18	22.18	4,0	95,5	(0,00; 0,00)
42	219,3996	37.70	134,1801	1,21	22.18	4,0	88,5	(0,00; 0,00)
43	205,2376	40.16	132,3522	1,26	22.18	4,0	80,9	(0,00; 0,00)
44	189,7634	42.70	128,6919	1,31	22.18	4,0	72,6	(0,00; 0,00)
45	172,8113	45.35	122,9506	1,37	22.18	4,0	63,5	(0,00; 0,00)
46	154,1661	48.14	114,8201	1,44	22.18	4,0	53,4	(0,00; 0,00)
47	133,5388	51.09	103,9065	1,53	22.18	4,0	42,4	(0,00; 0,00)
48	110,5265	54.24	89,6847	1,64	22.18	4,0	30,0	(0,00; 0,00)
49	84,5358	57.65	71,4149	1,79	22.18	4,0	16,0	(0,00; 0,00)
50	54,6241	61.42	47,9702	2,01	22.18	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
51	19,2708	65.56	17,5434	2,32	22.18	4,0	0,0	(0,00; 0,00)

Resistenza a taglio paratia= 0,0000 [kN]

$\Sigma W_i = 9727,6605$  [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 1430,1410$  [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 3965,1925$  [kN]

$\Sigma \tan \square_i \tan \phi_i = 3,06$

A valle dei risultati ottenuti la verifica di sollevamento del fondo scavo risulta essere soddisfatta.

#### **5.3.2.4.-. Verifica al raggiungimento della resistenza strutturale della paratia**

Con riferimento ad una sezione del palo con le seguenti caratteristiche:

- Diametro del palo 800,0 [mm]
- Area della sezione trasversale 502655 [mmq]
- Copriferro 30,0 [mm]

Con un'area di armatura  $A_f = 16990$  mmq.

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**70 /**  
**126**

**Verifica armatura paratia (Sezioni critiche)**

*Simbologia adottata*

- n° Indice della combinazione/fase  
 Tipo Tipo della Combinazione/Fase  
 Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]  
 M momento flettente espresso in [kNm]  
 N sforzo normale espresso in [kN] (positivo di compressione)  
 Mu momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]  
 Nu sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]  
 FS fattore di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)  
 T taglio espresso in [kN]  
 V<sub>Rd</sub> taglio resistente espresso in [kN]  
 FS<sub>T</sub> fattore di sicurezza a taglio

N°	Tipo	Y [m]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
1	[A1-M1 S]	10,05	616,22	123,85	1771,45	356,04	2.87
2	[A1-M1]	9,80	720,48	120,77	1765,81	296,00	2.45
3	[A2-M2 S]	12,45	1181,16	153,43	1759,48	228,55	1.49
4	[A2-M2]	12,30	1071,55	151,58	1761,42	249,17	1.64

N°	Tipo	Y [m]	T [kNm]	Tr [kN]	FS <sub>T</sub>
1	[A1-M1 S]	7,35	158,25	722,29	4.56
2	[A1-M1]	7,40	189,10	722,29	3.82
3	[A2-M2 S]	15,80	-371,50	722,29	1.94
4	[A2-M2]	15,50	-318,25	722,29	2.27

*Simbologia adottata*

- n° Indice della combinazione/fase  
 Tipo Tipo della Combinazione/Fase  
 Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]  
 σ<sub>c</sub> tensione nel calcestruzzo, espressa in [kPa]  
 σ<sub>f</sub> tensione nell'armatura longitudinale del palo, espressa in [kPa]

N°	Tipo	σ <sub>c</sub> [kPa]	Y(σ <sub>c</sub> ) [m]	σ <sub>f</sub> [kPa]	Y(σ <sub>f</sub> ) [m]	A <sub>r</sub> [mmq]
5	[SLER]	8037	9,95	160573	9,90	16990
6	[SLEF]	8037	9,95	160573	9,90	16990
7	[SLEQ]	8037	9,95	160573	9,90	16990

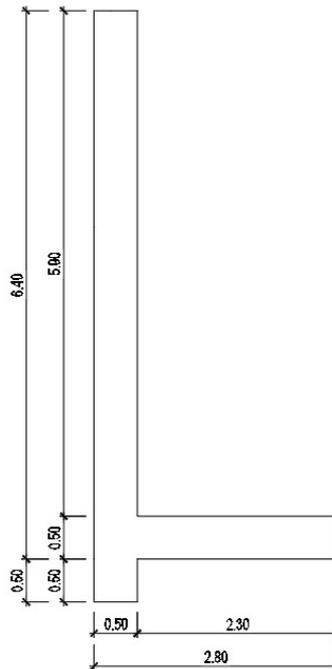
A valle dei risultati ottenuti è possibile affermare che la verifica è soddisfatta.

## 6.-..ANALISI DEI MURI DI SOSTEGNO

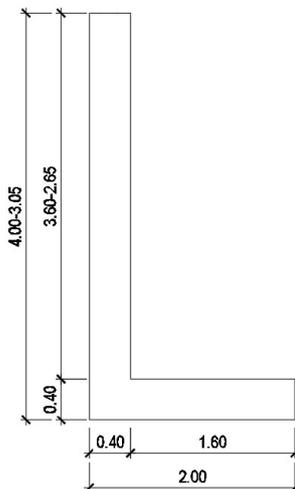
Con riferimento a quanto esposto nei precedenti capitoli, di seguito si riportano le analisi svolte nei riguardi del muro di sostegno predisposto oltre la paratia di pali. Esso è soggetto alla sola spinta del terreno a monte in quanto viene disposto unicamente a sostegno del terreno.

Esso si estende nel suo complesso per circa 197m, di cui 65,00m lato Palermo ed i restanti 132,00m lato Trapani, per il quale sono riconoscibili sostanzialmente tre diverse configurazioni di calcolo:

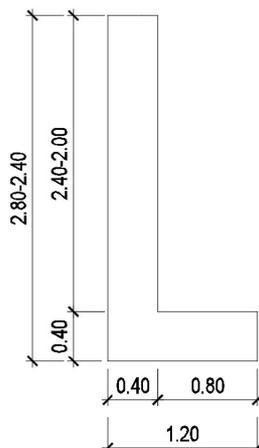
- 1) **Muro tipo\_1**: altezza del paramento variabile da 5,90m a 6,40m con una geometria come in figura seguente



- 2) **Muro tipo\_2**: altezza del paramento variabile da 3,60m a 2,65m con una geometria come in figura seguente



- 3) **Muro tipo\_3**: altezza del paramento variabile da 2,40m a 2,00m con una geometria come in figura seguente



Di seguito si espongono dapprima le combinazioni dei carichi e, successivamente, i risultati ottenuti per le tre configurazioni sopra descritte.

**Descrizione combinazioni di carico**

*Simbologia adottata*

F/S Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

**Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)**

**S/F                     $\gamma$                      $\psi$                      $\gamma * \psi$**

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

 TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
 RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

 PAGINA  
**73 /  
 126**

Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1,00	1,30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,30	1,00	1,30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,30	1,00	1,30
Spinta terreno	SFAV	1,30	1,00	1,30

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,30	1,00	1,30
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1,00	1,30

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,30	1,00	1,30
Spinta terreno	SFAV	1,30	1,00	1,30

Combinazione n° 5 - Caso A2-M2 (GEO)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 6 - Caso EQU (SLU)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	FAV	0,90	1.00	0,90
Peso proprio terrapieno	FAV	0,90	1.00	0,90
Spinta terreno	SFAV	1,10	1.00	1,10

Combinazione n° 7 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 9 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 10 - Caso A2-M2 (GEO) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 11 - Caso A2-M2 (GEO) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 12 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 13 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 14 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 15 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

### Combinazione n° 16 - Quasi Permanente (SLE)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

### Combinazione n° 17 - Frequente (SLE)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

### Combinazione n° 18 - Rara (SLE)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

## **6.1.-..MURO TIPO\_1**

Oltre la paratia di pali (nella direzione longitudinale del sottovia) a sostegno del terreno vengono realizzati una serie di muri di sostegno a conci di lunghezza circa 5,00m e geometria trasversale come descritte sopra. Nel seguente paragrafo vengono esposti tutti i calcoli relativi al "*Muro tipo\_1*"

Le caratteristiche del terreno di rinfilo sono quelle esposte nel §2.4.

Le analisi del muro di sostegno sono state condotte con il software MAX della Aztec Informatica.

### **6.1.1.-..Risultati delle analisi**

L'analisi della paratia è stata condotta nella sua condizione di esercizio. In accordo con quanto previsto dalle NTC18, i muri di sostegno verranno esaminati considerando l'Approccio1 per il quale esistono due differenti combinazioni:

- A1 + M1 + R1
- A1 + M2 + R1

così come definiti nella Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle stesse NTC18.



CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
 RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

 PAGINA  
**78 /  
 126**

2	0,30	3,6163	4,7011	0,0000	0,0192	0,0000	0,1304
3	0,59	7,2325	9,4023	0,0000	0,0769	0,0000	0,2608
4	0,89	10,8488	14,1034	0,0000	0,1731	0,0000	0,3912
5	1,18	14,4650	18,8046	0,0000	0,3078	0,0000	0,5216
6	1,48	18,0813	23,5057	0,0000	0,4809	0,0000	0,6520
7	1,77	21,6976	28,2068	0,0003	0,6931	0,0087	0,7975
8	2,07	25,3138	32,9080	0,0182	0,9717	0,1670	1,1615
9	2,36	28,9301	37,6091	0,1474	1,4349	0,8177	2,0944
10	2,66	32,5463	42,3102	0,5671	2,2774	1,8804	3,7365
11	2,95	36,1626	47,0114	1,4772	3,7097	3,1396	6,0928
12	3,25	39,7789	51,7125	3,0780	5,9425	4,9619	9,1645
13	3,54	43,3951	56,4137	5,3937	9,1871	7,3483	12,9522
14	3,84	47,0114	61,1148	7,9828	13,6548	10,2996	17,4566
15	4,13	50,6276	65,8159	11,5260	19,5570	13,8162	22,6781
16	4,43	54,2439	70,5171	16,1900	27,1054	17,8985	28,6169
17	4,72	57,8602	75,2182	22,1418	36,5116	22,5467	35,2732
18	5,02	61,4764	79,9193	29,5483	47,9872	27,7611	42,6473
19	5,31	65,0927	84,6205	38,5765	61,7440	33,5418	50,7392
20	5,61	68,7089	89,3216	49,3936	77,9939	39,8890	59,5491
21	5,90	72,3252	94,0228	62,1596	96,9396	46,7121	68,9621

Inviluppo combinazioni SLE

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,30	3,6163	3,6163	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,59	7,2325	7,2325	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,89	10,8488	10,8488	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	1,18	14,4650	14,4650	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	1,48	18,0813	18,0813	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	1,77	21,6976	21,6976	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
8	2,07	25,3138	25,3138	0,0004	0,0004	0,0065	0,0065
9	2,36	28,9301	28,9301	0,0138	0,0138	0,1294	0,1294
10	2,66	32,5463	32,5463	0,1167	0,1167	0,6543	0,6543

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

 TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
 RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

 PAGINA  
**79 /  
 126**

11	2,95	36,1626	36,1626	0,4510	0,4510	1,6994	1,6994
12	3,25	39,7789	39,7789	1,1706	1,1706	3,2659	3,2659
13	3,54	43,3951	43,3951	2,4293	2,4293	5,3548	5,3548
14	3,84	47,0114	47,0114	4,3813	4,3813	7,9665	7,9665
15	4,13	50,6276	50,6276	7,1810	7,1810	11,1017	11,1017
16	4,43	54,2439	54,2439	10,9828	10,9828	14,7607	14,7607
17	4,72	57,8602	57,8602	15,9413	15,9413	18,9436	18,9436
18	5,02	61,4764	61,4764	22,2111	22,2111	23,6508	23,6508
19	5,31	65,0927	65,0927	29,9468	29,9468	28,8823	28,8823
20	5,61	68,7089	68,7089	39,3032	39,3032	34,6383	34,6383
21	5,90	72,3252	72,3252	50,4284	50,4284	40,8349	40,8349

### **Inviluppo Sollecitazioni fondazione di valle**

- X: ascissa della sezione, espressa in metri, considerata positiva se diretta verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle;
- M<sub>MAX/MIN</sub>: momento flettente (massimo e minimo) positivo se tende le fibre inferiori ed espresso in kNm;
- T<sub>MAX/MIN</sub>: taglio (massimo e minimo) positivo se diretto verso l'alto ed espresso in kN;

### **Inviluppo combinazioni SLU**

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	0,2561	1,0373	2,3993	9,0143
3	0,46	1,1829	4,1438	5,8316	17,9921
4	0,69	3,0178	9,3109	10,2969	26,9333
5	0,92	5,9986	16,5303	15,7954	35,8379
6	1,15	10,3629	25,7935	22,3268	44,7061
7	1,38	16,3482	37,0923	29,8914	53,5377
8	1,61	24,1921	50,4181	38,4890	62,3327
9	1,84	34,1323	65,7625	48,1196	71,0913
10	2,07	46,4064	83,1172	58,7833	79,8132
11	2,30	61,2519	102,4738	70,4801	94,1170

### Inviluppo combinazioni SLE

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	-0,0054	-0,0054	0,1920	0,1920
3	0,46	0,1983	0,1983	1,8186	1,8186
4	0,69	0,9411	0,9411	4,8800	4,8800
5	0,92	2,5531	2,5531	9,3759	9,3759
6	1,15	5,3641	5,3641	15,3065	15,3065
7	1,38	9,7041	9,7041	22,6718	22,6718
8	1,61	15,9031	15,9031	31,4717	31,4717
9	1,84	24,2910	24,2910	41,7063	41,7063
10	2,07	35,1980	35,1980	53,3755	53,3755
11	2,30	48,9538	48,9538	66,4794	66,4794

### **6.1.2.-..Verifiche**

In accordo con quanto previsto dalle NTC18 al §6.5.3.1.1 per i muri di sostegno le verifiche si devono condurre considerando almeno i seguenti stati limite ultimi

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - scorrimento sul piano di posa;
  - collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
  - ribaltamento;
- 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 la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, 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 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nella Tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>	<p>PAGINA <b>81 / 126</b></p>

Per quanto riguarda invece le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio, si deve verificare che gli spostamenti dell'opera e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti. Inoltre, vengono condotte le verifiche di fessurazione delle sezioni in c.a..

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche allo SLU ed allo SLE.

### **6.1.2.1.-..Verifica allo scorrimento sul piano di posa**

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento  $F_r$  e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro  $F_s$  risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $FS_{S,min}$  (in cui  $FS_{S,min}=1$ ):

$$\frac{F_r}{F_s} \geq 1$$

Le forze che intervengono nella  $F_s$  sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta  $N$  la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $c_a$  l'adesione terreno-fondazione e con  $B_r$  la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = N \cdot \tan \delta_f + c_a \cdot B_r$$

Nel caso di fondazione con dente, viene calcolata la resistenza passiva sviluppatasi lungo il cuneo passante per lo spigolo inferiore del dente, inclinato dell'angolo  $\rho$  (rispetto all'orizzontale). Tale cuneo viene individuato attraverso un procedimento iterativo. In dipendenza della geometria della fondazione e del dente, dei parametri geotecnici del terreno e del carico risultante in fondazione, tale cuneo può avere forma triangolare o trapezoidale. Detta  $N$  la componente normale del carico agente sul piano di posa della fondazione,  $Q$  l'aliquota di carico gravante sul cuneo passivo,  $S_p$  la resistenza passiva,  $L_c$  l'ampiezza del cuneo e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $c_a$  l'adesione terreno-fondazione e con  $B_r$  la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = (N - Q) \cdot \tan \delta_f + S_p + c_a \cdot L_r$$

in cui:

$$L_r = B_r \cdot L_c$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50%.

Di seguito si riporta la verifica per la combinazione più sfavorevole.

### COMBINAZIONE n° 10

Valore della spinta statica	95,9812	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	92,8942	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	24,1465	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -5,22	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,57	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	53,31	[°]		
Incremento sismico della spinta	10,4124	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,00	[m]	Y = -5,22	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	51,50	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,0000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inerzia del muro	4,0670	[kN]		
Inerzia verticale del muro	2,0335	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]		

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	107,0387	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	141,5778	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-15,1347	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-95,5504	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	141,5778	[kN]

Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	107,0387	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,01	[m]
Lunghezza fondazione reagente	2,80	[m]
Risultante in fondazione	177,4868	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	37,09	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	1,2636	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	531,1837	[kN]

**Tensioni sul terreno**

Lunghezza fondazione reagente	2,80	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	51,53	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	49,60	[kPa]

**Fattori per il calcolo della capacità portante**

<b>Coeff. capacità portante</b>	$N_c = 17,08$	$N_q = 7,96$	$N_\gamma = 4,19$
<b>Fattori forma</b>	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
<b>Fattori inclinazione</b>	$i_c = 0,35$	$i_q = 0,35$	$i_\gamma = 0,45$
<b>Fattori profondità</b>	$d_c = 1,18$	$d_q = 1,09$	$d_\gamma = 1,09$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$$N'_c = 6,97$$

$$N'_q = 3,00$$

$$N'_\gamma = 2,07$$

A valle dei calcoli effettuati, si ottiene:

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA A SCORRIMENTO**

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1,12
---	------

**6.1.2.2.-. Verifica al carico limite**

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a  $FS_{q,min}$  (in cui  $FS_{q,min}=1$ ).

Cioè, detto  $Q_u$ , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq FS_{q,min}$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

In questa espressione

- c coesione del terreno in fondazione;
- $\phi$  angolo di attrito del terreno in fondazione;
- $\gamma$  peso di volume del terreno in fondazione;
- B larghezza della fondazione;
- D profondità del piano di posa;
- q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \cdot \tan \phi}$$

$$N_q = A \cdot \text{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(1,4 \cdot \phi)$$

Indichiamo con  $K_p$  il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \text{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori "d" ed "i" che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0,2 \cdot \frac{D}{B} \cdot \sqrt{K_p}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \cdot \frac{D}{B} \cdot \sqrt{K_p} \quad \text{per } \phi > 0$$

Fattori di inclinazione

Indicando con  $\theta$  l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale ( espresso in gradi ) e con  $\phi$  l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta/90)^2$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\phi}\right)^2 \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

Di seguito si riporta la verifica per la combinazione più sfavorevole.

COMBINAZIONE n° 11

Valore della spinta statica	95,9812	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	92,8942	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	24,1465	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -5,22	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,57	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	53,31	[°]		
Incremento sismico della spinta	5,7260	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,00	[m]	Y = -5,22	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	51,50	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,0000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inerzia del muro	4,0670	[kN]		
Inerzia verticale del muro	-2,0335	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]		
<b><u>Risultanti</u></b>				
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	102,5030	[kN]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	136,3318	[kN]		
Resistenza passiva a valle del muro	-15,1347	[kN]		
Resistenza passiva dente di fondazione	-71,6824	[kN]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	136,3318	[kN]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	102,5030	[kN]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,01	[m]		
Lunghezza fondazione reagente	2,80	[m]		
Risultante in fondazione	170,5674	[kN]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	36,94	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	0,8233	[kNm]		
Carico ultimo della fondazione	415,5090	[kN]		
<b><u>Tensioni sul terreno</u></b>				
Lunghezza fondazione reagente	2,80	[m]		

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

 TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
 RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

 PAGINA  
**86 /  
 126**

Tensione terreno allo spigolo di valle 49,32 [kPa]

Tensione terreno allo spigolo di monte 48,06 [kPa]

Fattori per il calcolo della capacità portante
**Coeff. capacità portante**  $N_c = 17.08$   $N_q = 7.96$   $N_\gamma = 4.19$ 
**Fattori forma**  $s_c = 1,00$   $s_q = 1,00$   $s_\gamma = 1,00$ 
**Fattori inclinazione**  $i_c = 0,40$   $i_q = 0,40$   $i_\gamma = 0,24$ 
**Fattori profondità**  $d_c = 1,13$   $d_q = 1,06$   $d_\gamma = 1,06$ 

 I coefficienti  $N'$  tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$$N'_c = 7.71$$

$$N'_q = 3.39$$

$$N'_\gamma = 1.07$$

A valle dei calcoli effettuati, si ottiene:

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA A CARICO LIMITE**

Coefficiente di sicurezza a carico ultimo 3,05

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”	<b>ATI</b>  <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b>
CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b>	TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b>	PAGINA <b>87 / 126</b>

### 6.1.2.3.-. Verifica al ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante  $M_r$ ) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante  $M_s$ ) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto  $M_s/M_r$  sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $FS_{R,min}$  (in cui  $FS_{R,min}=1$ ).

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza:

$$\frac{M_s}{M_r} \geq FS_{R,min}$$

Il momento ribaltante  $M_r$  è dato dalla componente orizzontale della spinta  $S$ , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terramuro  $\delta$  è positivo, ribaltante se  $\delta$  è negativo.  $\delta$  è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Di seguito si riporta la verifica per la combinazione più sfavorevole.

#### COMBINAZIONE n° 6

Valore della spinta statica	108,9504	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	105,4463	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	27,4093	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -5,20	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,57	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	53,19	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,0000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]

#### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	105,4463	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	128,9097	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-13,6212	[kN]

Resistenza passiva dente di fondazione	-65,3965	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	126,8559	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	300,0469	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	128,9097	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	105,4463	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,06	[m]
Lunghezza fondazione reagente	2,80	[m]
Risultante in fondazione	166,5432	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	39,28	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	7,2826	[kNm]

A valle dei calcoli effettuati, si ottiene:

#### **COEFFICIENTI DI SICUREZZA AL RIBALTAMENTO**

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento 2,37

#### ***6.1.2.4.-. Verifiche strutturali allo SLU ed allo SLE***

Con riferimento alla normativa di riferimento NTC18, alle sollecitazioni di involuppo esposte in precedenza ed ai criteri di verifica esposti al §4.2 della presente relazione di calcolo, di seguito si riportano i risultati ottenuti per il "Muro tipo\_1" distinguendo il paramento dalla fondazione.

#### **Elenco ferri**

*Simbologia adottata*

*Destinazione* Destinazione ferro

$\emptyset$  Diametro ferro espresso in [mm]

$n$  Numero tondini

$L$  Lunghezza totale ferro espressa in [cm]

$P$  Peso singolo ferro espresso in [kN]

$P_g$  Peso gruppo espresso in [kN]

<b>Destinazione</b>	<b><math>\emptyset</math></b>	<b><math>n</math></b>	<b><math>L</math></b>	<b><math>P</math></b>	<b><math>P_g</math></b>
Fondazione	22	5	326,20	0,0955	0,4773
Fondazione	22	5	326,20	0,0955	0,4773
Fondazione	22	5	845,00	0,2473	1,2364
Paramento	22	5	155,00	0,0454	0,2268
Paramento	22	5	636,00	0,1861	0,9306
Paramento	22	5	155,00	0,0454	0,2268
Paramento	22	5	636,00	0,1861	0,9306

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**89 /**  
**126**

Fondazione	8	6	60,10	0,0023	0,0140
Paramento	8	6	60,10	0,0023	0,0140

**Inviluppo armature e tensioni nei materiali del paramento**

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Simbologia adottata

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A <sub>fs</sub>	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A <sub>fi</sub>	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ <sub>c</sub>	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
T <sub>c</sub>	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ <sub>fs</sub>	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]
σ <sub>fi</sub>	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]
N <sub>u</sub>	sforzo normale ultimo espresso in [kN]
M <sub>u</sub>	momento ultimo espresso in [kNm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
V <sub>Rcd</sub>	Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]
V <sub>Rsd</sub>	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]
V <sub>Rd</sub>	Resistenza al taglio, espresso in [kN]

**Inviluppo SLU**

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
1	0,00	100, 50	19,01	0,00	0,00	0,00	1000,00	213,38	--	--
2	0,30	100, 50	38,01	19,01	8720,54	0,00	1875,20	269,35	--	--
3	0,59	100, 50	38,01	19,01	8627,54	0,00	937,60	269,86	--	--
4	0,89	100, 50	38,01	19,01	8536,50	0,00	625,07	270,37	--	--
5	1,18	100, 50	38,01	19,01	8447,37	0,00	468,80	270,88	--	--
6	1,48	100, 50	38,01	19,01	8360,07	0,00	375,04	271,39	--	--
7	1,77	100, 50	38,01	19,01	8274,13	-0,11	312,53	271,90	--	--
8	2,07	100, 50	38,01	19,01	8097,48	-4,87	267,58	272,41	--	--
9	2,36	100, 50	38,01	19,01	7708,42	-34,28	232,53	272,92	--	--
10	2,66	100, 50	38,01	19,01	7068,34	-115,01	202,79	273,43	--	--
11	2,95	100, 50	38,01	19,01	6172,39	-260,25	170,68	273,94	--	--

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
 RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

 PAGINA  
**90 /  
 126**

12	3,25	100, 50	38,01	19,01	5161,82	-439,51	129,76	274,45	--	--
13	3,54	100, 50	38,01	19,01	4199,46	-619,05	96,77	274,96	--	--
14	3,84	100, 50	38,01	19,01	3351,53	-772,07	71,29	275,47	--	--
15	4,13	100, 50	38,01	19,01	2515,88	-891,32	49,69	275,98	--	--
16	4,43	100, 50	38,01	19,01	1858,09	-928,48	34,25	276,49	--	--
17	4,72	100, 50	38,01	19,01	1394,76	-880,14	24,11	277,00	--	--
18	5,02	100, 50	38,01	19,01	1073,62	-838,04	17,46	277,51	--	--
19	5,31	100, 50	19,01	0,00	426,68	-404,73	6,56	222,56	--	--
20	5,61	100, 50	38,01	19,01	678,18	-769,82	9,87	278,53	--	--
21	5,90	100, 50	19,01	0,00	283,17	-379,54	3,92	223,58	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	T <sub>c</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>
1	0,00	100, 50	19,01	0,00	0	0	0	0
2	0,30	100, 50	38,01	19,01	7	0	-84	-102
3	0,59	100, 50	38,01	19,01	14	0	-168	-204
4	0,89	100, 50	38,01	19,01	21	0	-253	-306
5	1,18	100, 50	38,01	19,01	27	0	-337	-408
6	1,48	100, 50	38,01	19,01	34	0	-421	-509
7	1,77	100, 50	38,01	19,01	41	0	-505	-611
8	2,07	100, 50	38,01	19,01	48	0	-590	-713
9	2,36	100, 50	38,01	19,01	55	0	-671	-818
10	2,66	100, 50	38,01	19,01	64	2	-733	-945
11	2,95	100, 50	38,01	19,01	77	4	-745	-1127
12	3,25	100, 50	38,01	19,01	97	8	-673	-1400
13	3,54	100, 50	38,01	19,01	126	13	-485	-1803
14	3,84	100, 50	38,01	19,01	168	20	-146	-2371
15	4,13	100, 50	38,01	19,01	231	28	560	-3204
16	4,43	100, 50	38,01	19,01	323	37	2012	-4401
17	4,72	100, 50	38,01	19,01	444	47	4362	-5961
18	5,02	100, 50	38,01	19,01	597	59	7653	-7890
19	5,31	100, 50	19,01	0,00	1115	72	23321	0
20	5,61	100, 50	38,01	19,01	1003	87	17276	-12981

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
 RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

 PAGINA  
**91 /  
 126**

21 5,90 100,50 19,01 0,00 1844 102 46718 0

**Inviluppo armature e tensioni nei materiali della fondazione**

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

Simbologia adottata

B base della sezione espressa in [cm]

H altezza della sezione espressa in [cm]

 A<sub>fi</sub> area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]

 A<sub>fs</sub> area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]

 σ<sub>c</sub> tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]

 T<sub>c</sub> tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]

 σ<sub>fi</sub> tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [kPa]

 σ<sub>fs</sub> tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [kPa]

 N<sub>u</sub> sforzo normale ultimo espresso in [kN]

 M<sub>u</sub> momento ultimo espresso in [kNm]

CS coefficiente sicurezza sezione

 V<sub>Rcd</sub> Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]

 V<sub>Rsd</sub> Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]

 V<sub>Rd</sub> Resistenza al taglio, espresso in [kN]

**Inviluppo SLU**

Nr.	X	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
1	0,00	100, 50	0,00	0,00	0,00	0,00	1000,00	190,29	--	--
2	0,23	100, 50	19,01	19,01	0,00	331,99	320,04	213,38	--	--
3	0,46	100, 50	19,01	19,01	0,00	331,99	80,12	213,38	--	--
4	0,69	100, 50	19,01	19,01	0,00	331,99	35,66	213,38	--	--
5	0,92	100, 50	19,01	19,01	0,00	331,99	20,08	213,38	--	--
6	1,15	100, 50	19,01	19,01	0,00	331,99	12,87	213,38	--	--
7	1,38	100, 50	19,01	19,01	0,00	331,99	8,95	213,38	--	--
8	1,61	100, 50	19,01	19,01	0,00	331,99	6,58	213,38	--	--
9	1,84	100, 50	19,01	19,01	0,00	331,99	5,05	213,38	--	--
10	2,07	100, 50	19,01	19,01	0,00	331,99	3,99	213,38	--	--

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**92 /**  
**126**

11	2,30	100, 50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	190,29	--	--
----	------	---------	------	------	------	------	------	--------	----	----

#### Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	T <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
12	0,00	100, 50	0,00	0,00	0	0	0	0
13	0,23	100, 50	19,01	19,01	0	0	-2	7
14	0,46	100, 50	19,01	19,01	6	5	241	-63
15	0,69	100, 50	19,01	19,01	27	12	1145	-299
16	0,92	100, 50	19,01	19,01	72	23	3107	-812
17	1,15	100, 50	19,01	19,01	151	38	6528	-1707
18	1,38	100, 50	19,01	19,01	274	57	11810	-3088
19	1,61	100, 50	19,01	19,01	448	79	19354	-5060
20	1,84	100, 50	19,01	19,01	685	104	29562	-7729
21	2,07	100, 50	19,01	19,01	992	134	42836	-11200
22	2,30	100, 50	0,00	0,00	0	166	0	0

A valle di tutti i risultati ottenuti è possibile affermare che le verifiche per il Muro tipo\_1 sono tutte soddisfatte.

### **6.2.-..MURO TIPO\_2**

Oltre la paratia di pali (nella direzione longitudinale del sottovia) a sostegno del terreno vengono realizzati una serie di muri di sostegno a conci di lunghezza circa 5,00m e geometria trasversale come descritte sopra. Nel seguente paragrafo vengono esposti tutti i calcoli relativi al "Muro tipo\_2"

Le caratteristiche del terreno di rinfilanco sono quelle espote nel §2.4.

Le analisi del muro di sostegno sono state condotte con il software MAX della Aztec Informatica.

#### **6.2.1.-..Risultati delle analisi**

L'analisi della paratia è stata condotta nella sua condizione di esercizio. In accordo con quanto previsto dalle NTC18, i muri di sostegno verranno esaminati considerando l'Approccio1 per il quale esistono due differenti combinazioni:

- A1 + M1 + R1
- A1 + M2 + R1

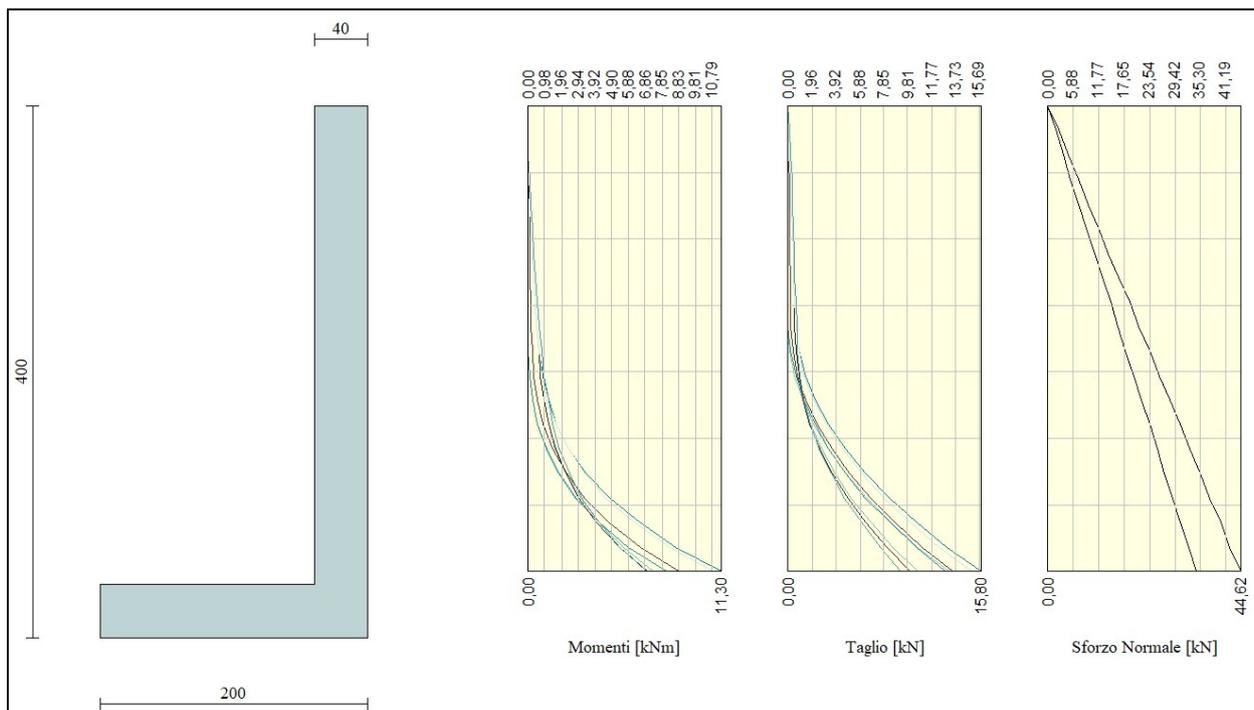
CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**93 /**  
**126**

così come definiti nella Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle stesse NTC18.

Con riferimento alle condizioni di carico elementari e relative combinazioni di carico esposte nei paragrafi precedenti, di seguito si riportano i diagrammi di involucro delle sollecitazioni per metro lineare di paratia e successivamente i valori numerici.



**Figura 28 – Involuppi delle sollecitazioni**

**Inviluppo Sollecitazioni paramento**

- Y: ordinata della sezione, espressa in metri, considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro;
- N<sub>MAX/MIN</sub>: sforzo normale (massimo e minimo) positivo di compressione ed espresso in kN;
- M<sub>MAX/MIN</sub>: momento flettente (massimo e minimo) positivo se tende le fibre contro terra ed espresso in kNm;
- T<sub>MAX/MIN</sub>: taglio (massimo e minimo) positivo se diretto da monte a valle ed espresso in kN;

**Inviluppo combinazioni SLU**

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,18	1,8065	2,3485	0,0000	0,0060	0,0000	0,0651
3	0,37	3,6130	4,6969	0,0000	0,0240	0,0000	0,1303
4	0,55	5,4196	7,0454	0,0000	0,0540	0,0000	0,1954
5	0,74	7,2261	9,3939	0,0000	0,0960	0,0000	0,2606
6	0,92	9,0326	11,7424	0,0000	0,1500	0,0002	0,3261
7	1,11	10,8391	14,0908	0,0001	0,2161	0,0004	0,3914
8	1,29	12,6456	16,4393	0,0002	0,2942	0,0004	0,4565
9	1,47	14,4521	18,7878	0,0002	0,3843	0,0004	0,5217
10	1,66	16,2587	21,1362	0,0010	0,4874	0,0169	0,6117
11	1,84	18,0652	23,4847	0,0140	0,6199	0,1598	0,8697
12	2,03	19,8717	25,8332	0,0749	0,8247	0,5453	1,4008
13	2,21	21,6782	28,1817	0,2312	1,1533	1,1951	2,2142
14	2,39	23,4847	30,5301	0,5315	1,6578	1,7951	3,3104
15	2,58	25,2912	32,8786	1,0247	2,3903	2,6123	4,6898
16	2,76	27,0978	35,2271	1,7596	3,4030	3,6528	6,3526
17	2,95	28,9043	37,5756	2,7851	4,7482	4,9168	8,2991
18	3,13	30,7108	39,9240	3,9926	6,4780	6,4045	10,5294
19	3,32	32,5173	42,2725	5,3266	8,6449	8,1159	13,0435
20	3,50	34,3238	44,6210	6,9949	11,2991	10,0190	15,8007

Inviluppo combinazioni SLE

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,18	1,8065	1,8065	0,0088	0,0088	0,0949	0,0949
3	0,37	3,6130	3,6130	0,0348	0,0348	0,1865	0,1865
4	0,55	5,4196	5,4196	0,0773	0,0773	0,2746	0,2746
5	0,74	7,2261	7,2261	0,1357	0,1357	0,3594	0,3594
6	0,92	9,0326	9,0326	0,2095	0,2095	0,4408	0,4408
7	1,11	10,8391	10,8391	0,2979	0,2979	0,5188	0,5188
8	1,29	12,6456	12,6456	0,4004	0,4004	0,5933	0,5933
9	1,47	14,4521	14,4521	0,5163	0,5163	0,6645	0,6645
10	1,66	16,2587	16,2587	0,6450	0,6450	0,7324	0,7324
11	1,84	18,0652	18,0652	0,7863	0,7863	0,8049	0,8049
12	2,03	19,8717	19,8717	0,9467	0,9467	0,9602	0,9602
13	2,21	21,6782	21,6782	1,1516	1,1516	1,2976	1,2976
14	2,39	23,4847	23,4847	1,4371	1,4371	1,8346	1,8346
15	2,58	25,2912	25,2912	1,8398	1,8398	2,5716	2,5716
16	2,76	27,0978	27,0978	2,3968	2,3968	3,5088	3,5088
17	2,95	28,9043	28,9043	3,1449	3,1449	4,6465	4,6465
18	3,13	30,7108	30,7108	4,1210	4,1210	5,9848	5,9848
19	3,32	32,5173	32,5173	5,3621	5,3621	7,5239	7,5239
20	3,50	34,3238	34,3238	6,9039	6,9039	9,2344	9,2344

**Inviluppo Sollecitazioni fondazione di valle**

- X: ascissa della sezione, espressa in metri, considerata positiva se diretta verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle;
- $M_{MAX/MIN}$ : momento flettente (massimo e minimo) positivo se tende le fibre inferiori ed espresso in kNm;
- $T_{MAX/MIN}$ : taglio (massimo e minimo) positivo se diretto verso l'alto ed espresso in kN;

Inviluppo combinazioni SLU

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,16	-0,1365	0,0273	-1,5387	0,4270
3	0,32	-0,4389	0,1641	-2,0751	1,3687
4	0,48	-0,7470	0,4927	-1,6092	2,8250
5	0,64	-0,9004	1,0955	-0,1411	4,7960
6	0,80	-0,7387	2,0549	1,9809	7,2816
7	0,96	-0,1016	3,4531	4,5647	10,2819
8	1,12	1,0766	5,3726	7,8777	13,7969
9	1,28	2,6507	7,8956	11,9199	17,8265
10	1,44	4,9298	11,1045	16,6913	22,3707
11	1,60	8,0308	15,0816	22,1919	29,7155

Inviluppi combinazioni SLE

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,16	-0,1053	-0,1053	-1,1892	-1,1892
3	0,32	-0,3400	-0,3400	-1,6186	-1,6186
4	0,48	-0,5827	-0,5827	-1,2882	-1,2882
5	0,64	-0,7117	-0,7117	-0,1980	-0,1980
6	0,80	-0,6055	-0,6055	1,6520	1,6520
7	0,96	-0,1426	-0,1426	4,2618	4,2618
8	1,12	0,7988	0,7988	7,6314	7,6314
9	1,28	2,3400	2,3400	11,7607	11,7607
10	1,44	4,6027	4,6027	16,6499	16,6499
11	1,60	7,7085	7,7085	22,2989	22,2989

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>	<p>PAGINA <b>97 / 126</b></p>

## 6.2.2.-..Verifiche

In accordo con quanto previsto dalle NTC18 al §6.5.3.1.1 per i muri di sostegno le verifiche si devono condurre considerando almeno i seguenti stati limite ultimi

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - scorrimento sul piano di posa;
  - collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
  - ribaltamento;
- 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 la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, 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 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nella Tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

Per quanto riguarda invece le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio, si deve verificare che gli spostamenti dell'opera e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti. Inoltre, vengono condotte le verifiche di fessurazione delle sezioni in c.a..

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche allo SLU ed allo SLE.

### 6.2.2.1.-..Verifica allo scorrimento sul piano di posa

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento  $F_r$  e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro  $F_s$  risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $FS_{S,min}$  (in cui  $FS_{S,min}=1$ ):

$$\frac{F_r}{F_s} \geq 1$$

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>	<p>PAGINA <b>98 / 126</b></p>

Le forze che intervengono nella  $F_s$  sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta  $N$  la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $c_a$  l'adesione terreno-fondazione e con  $B_r$  la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = N \cdot \tan \delta_f + c_a \cdot B_r$$

Nel caso di fondazione con dente, viene calcolata la resistenza passiva sviluppata lungo il cuneo passante per lo spigolo inferiore del dente, inclinato dell'angolo  $\rho$  (rispetto all'orizzontale). Tale cuneo viene individuato attraverso un procedimento iterativo. In dipendenza della geometria della fondazione e del dente, dei parametri geotecnici del terreno e del carico risultante in fondazione, tale cuneo può avere forma triangolare o trapezoidale. Detta  $N$  la componente normale del carico agente sul piano di posa della fondazione,  $Q$  l'aliquota di carico gravante sul cuneo passivo,  $S_p$  la resistenza passiva,  $L_c$  l'ampiezza del cuneo e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $c_a$  l'adesione terreno-fondazione e con  $B_r$  la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = (N - Q) \cdot \tan \delta_f + S_p + c_a \cdot L_r$$

in cui:

$$L_r = B_r \cdot L_c$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50%.

Di seguito si riporta la verifica per la combinazione più sfavorevole.

#### COMBINAZIONE n° 10

Valore della spinta statica	21,3855	[kN]	
Componente orizzontale della spinta statica	20,6977	[kN]	
Componente verticale della spinta statica	5,3801	[kN]	
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -3,21 [m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,57	[°]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	53,94	[°]	

Incremento sismico della spinta	2,5986	[kN]	
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,00	[m]	Y = -3,21 [m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	52,25	[°]	

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,0000	[kN]	
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00 [m]
Inerzia del muro	1,9805	[kN]	
Inerzia verticale del muro	0,9902	[kN]	
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]	
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]	

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	25,1932	[kN]	
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	61,9421	[kN]	
Resistenza passiva a valle del muro	-12,7174	[kN]	
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	61,9421	[kN]	
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	25,1932	[kN]	
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,22	[m]	
Lunghezza fondazione reagente	2,00	[m]	
Risultante in fondazione	66,8695	[kN]	
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	22,13	[°]	
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-13,4025	[kNm]	
Carico ultimo della fondazione	231,3077	[kN]	

### Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	2,00	[m]	
Tensione terreno allo spigolo di valle	10,87	[kPa]	
Tensione terreno allo spigolo di monte	51,07	[kPa]	

### Fattori per il calcolo della capacità portante

<b>Coeff. capacità portante</b>	$N_c = 17.08$	$N_q = 7.96$	$N_\gamma = 4.19$
<b>Fattori forma</b>	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
<b>Fattori inclinazione</b>	$i_c = 0,57$	$i_q = 0,57$	$i_\gamma = 0,00$

**Fattori profondità**

$d_c = 1,16$

$d_q = 1,08$

$d_\gamma = 1,08$

I coefficienti  $N'$  tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$N'_c = 11.30$

$N'_q = 4.90$

$N'_\gamma = 0.00$

A valle dei calcoli effettuati, si ottiene:

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA A SCORRIMENTO**

Coefficiente di sicurezza a scorrimento

$1,46$

**6.2.2.2.-. Verifica al carico limite**

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a  $FS_{q,min}$  (in cui  $FS_{q,min}=1$ ).

Cioè, detto  $Q_u$ , il carico limite ed  $R$  la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq FS_{q,min}$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

In questa espressione

- $c$  coesione del terreno in fondazione;
- $\phi$  angolo di attrito del terreno in fondazione;
- $\gamma$  peso di volume del terreno in fondazione;
- $B$  larghezza della fondazione;
- $D$  profondità del piano di posa;
- $q$  pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \cdot \tan \phi}$$

$$N_q = A \cdot \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(1,4 \cdot \phi)$$

Indichiamo con  $K_p$  il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori "d" ed "i" che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

**Fattori di profondità**

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

 TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
 RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

 PAGINA  
**101 /  
 126**

$$d_q = 1 + 0,2 \cdot \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$$

$$d_q = d_v = 1 \quad \text{per } \varphi = 0$$

$$d_q = d_v = 1 + 0,1 \cdot \frac{D}{B} \sqrt{K_p} \quad \text{per } \varphi > 0$$

### Fattori di inclinazione

Indicando con  $\theta$  l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale ( espresso in gradi ) e con  $\varphi$  l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta/90)^2$$

$$i_v = \left(1 - \frac{\theta}{\varphi}\right)^2 \quad \text{per } \varphi > 0$$

$$i_v = 0 \quad \text{per } \varphi = 0$$

Di seguito si riporta la verifica per la combinazione più sfavorevole.

### COMBINAZIONE n° 10

Valore della spinta statica	21,3855	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	20,6977	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	5,3801	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -3,21	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,57	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	53,94	[°]		
Incremento sismico della spinta	2,5986	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,00	[m]	Y = -3,21	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	52,25	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,0000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inerzia del muro	1,9805	[kN]		
Inerzia verticale del muro	0,9902	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]		

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	25,1932	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	61,9421	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-12,7174	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	61,9421	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	25,1932	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,22	[m]
Lunghezza fondazione reagente	2,00	[m]
Risultante in fondazione	66,8695	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	22,13	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-13,4025	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	231,3077	[kN]

#### Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	2,00	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	10,87	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	51,07	[kPa]

#### Fattori per il calcolo della capacità portante

<b>Coeff. capacità portante</b>	$N_c = 17.08$	$N_q = 7.96$	$N_\gamma = 4.19$
<b>Fattori forma</b>	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
<b>Fattori inclinazione</b>	$i_c = 0,57$	$i_q = 0,57$	$i_\gamma = 0,00$
<b>Fattori profondità</b>	$d_c = 1,16$	$d_q = 1,08$	$d_\gamma = 1,08$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$$N'_c = 11.30$$

$$N'_q = 4.90$$

$$N'_\gamma = 0.00$$

A valle dei calcoli effettuati, si ottiene:

#### **COEFFICIENTI DI SICUREZZA A CARICO LIMITE**

Coefficiente di sicurezza a carico ultimo 3,73

#### ***6.2.2.3.-. Verifica al ribaltamento***

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante  $M_r$ ) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante  $M_s$ ) rispetto allo spigolo a valle della

fondazione e verificare che il rapporto  $M_s/M_r$  sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $FS_{R,min}$  (in cui  $FS_{R,min}=1$ ).

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza:

$$\frac{M_s}{M_r} \geq FS_{R,min}$$

Il momento ribaltante  $M_r$  è dato dalla componente orizzontale della spinta  $S$ , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro  $\delta$  è positivo, ribaltante se  $\delta$  è negativo.  $\delta$  è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Di seguito si riporta la verifica per la combinazione più sfavorevole.

#### COMBINAZIONE n° 6

Valore della spinta statica	21,3855	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	20,6977	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	5,3801	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -3,21	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,57	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	53,94	[°]		
Incremento sismico della spinta	1,4056	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,00	[m]	Y = -3,21	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	52,31	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,0000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inerzia del muro	1,9805	[kN]		
Inerzia verticale del muro	-0,9902	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]		

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**104 /**  
**126**

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	24,0386	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	59,6616	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-12,7174	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	21,9664	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	94,6291	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	59,6616	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	24,0386	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,22	[m]
Lunghezza fondazione reagente	2,00	[m]
Risultante in fondazione	64,3223	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	21,95	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-13,0011	[kNm]

A valle dei calcoli effettuati, si ottiene:

### COEFFICIENTI DI SICUREZZA AL RIBALTAMENTO

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento 4,31

#### **6.2.2.4.-. Verifiche strutturali allo SLU ed allo SLE**

Con riferimento alla normativa di riferimento NTC18, alle sollecitazioni di inviluppo esposte in precedenza ed ai criteri di verifica esposti al §4.2 della presente relazione di calcolo, di seguito si riportano i risultati ottenuti per il "Muro tipo\_1" distinguendo il paramento dalla fondazione.

### Elenco ferri

#### *Simbologia adottata*

*Destinazione* Destinazione ferro

$\emptyset$  Diametro ferro espresso in [mm]

$n$  Numero tondini

$L$  Lunghezza totale ferro espressa in [cm]

$P$  Peso singolo ferro espresso in [kN]

$P_g$  Peso gruppo espresso in [kN]

<b>Destinazione</b>	<b><math>\emptyset</math></b>	<b><math>n</math></b>	<b><math>L</math></b>	<b><math>P</math></b>	<b><math>P_g</math></b>
Fondazione	16	4	256,20	0,0397	0,1586
Fondazione	16	4	256,20	0,0397	0,1586
Paramento	16	4	155,00	0,0240	0,0960

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO**  
**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**105 /**  
**126**

Paramento	16	4 396,00	0,0613	0,2452
Paramento	16	7 155,00	0,0240	0,1679
Paramento	16	7 396,00	0,0613	0,4291
Fondazione	8	6 50,13	0,0019	0,0116
Paramento	8	6 50,13	0,0019	0,0116

**Inviluppo armature e tensioni nei materiali del paramento**

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Simbologia adottata

- B base della sezione espressa in [cm]
- H altezza della sezione espressa in [cm]
- $A_{fs}$  area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
- $A_{fi}$  area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
- $\sigma_c$  tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
- $T_c$  tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]
- $\sigma_{fs}$  tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]
- $\sigma_{fi}$  tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]
- $N_u$  sforzo normale ultimo espresso in [kN]
- $M_u$  momento ultimo espresso in [kNm]
- CS coefficiente sicurezza sezione
- $V_{Rcd}$  Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]
- $V_{Rsd}$  Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]
- $V_{Rd}$  Resistenza al taglio, espresso in [kN]

**Inviluppo SLU**

Nr.	Y	B, H	$A_{fs}$	$A_{fi}$	$N_u$	$M_u$	CS	$V_{Rd}$	$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}$
1	0,00	100, 40	14,07	8,04	0,00	0,00	1000,00	172,84	--	--
2	0,18	100, 40	14,07	8,04	6095,31	0,00	2606,24	173,09	--	--
3	0,37	100, 40	14,07	8,04	6058,03	0,00	1300,56	173,34	--	--
4	0,55	100, 40	14,07	8,04	6021,20	0,00	865,38	173,60	--	--
5	0,74	100, 40	14,07	8,04	5984,81	0,00	647,83	173,85	--	--
6	0,92	100, 40	14,07	8,04	5948,83	-0,02	517,32	174,10	--	--
7	1,11	100, 40	14,07	8,04	5913,24	-0,05	430,34	174,35	--	--
8	1,29	100, 40	14,07	8,04	5878,08	-0,08	368,23	174,60	--	--



CODIFICA ELABORATO  
S01 PD TG-- 08 E0002

TITOLO DOCUMENTO  
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA

PAGINA  
106 /  
126

9	1,47	100,40	14,07	8,04	5843,36	-0,10	321,66	174,85	--	--
10	1,66	100,40	14,07	8,04	5808,43	-0,36	285,45	175,10	--	--
11	1,84	100,40	14,07	8,04	5764,30	-4,75	256,24	175,35	--	--
12	2,03	100,40	14,07	8,04	5617,67	-22,96	231,62	175,60	--	--
13	2,21	100,40	14,07	8,04	5252,74	-64,12	209,99	175,85	--	--
14	2,39	100,40	14,07	8,04	4742,23	-133,18	190,42	176,10	--	--
15	2,58	100,40	14,07	8,04	4127,56	-228,91	163,20	176,35	--	--
16	2,76	100,40	14,07	8,04	3475,29	-314,14	128,25	176,60	--	--
17	2,95	100,40	14,07	8,04	2841,09	-377,71	98,29	176,85	--	--
18	3,13	100,40	14,07	8,04	2102,34	-428,29	68,46	177,10	--	--
19	3,32	100,40	14,07	8,04	1501,74	-399,24	46,18	177,36	--	--
20	3,50	100,40	14,07	8,04	1076,33	-354,32	31,36	177,61	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	T <sub>c</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>
1	0,00	100, 40	14,07	8,04	0	0	0	0
2	0,18	100, 40	14,07	8,04	5	0	-57	-69
3	0,37	100, 40	14,07	8,04	10	1	-106	-145
4	0,55	100, 40	14,07	8,04	16	1	-149	-228
5	0,74	100, 40	14,07	8,04	22	1	-186	-317
6	0,92	100, 40	14,07	8,04	29	1	-217	-413
7	1,11	100, 40	14,07	8,04	36	2	-242	-515
8	1,29	100, 40	14,07	8,04	44	2	-261	-622
9	1,47	100, 40	14,07	8,04	52	2	-275	-736
10	1,66	100, 40	14,07	8,04	60	2	-284	-854
11	1,84	100, 40	14,07	8,04	69	3	-288	-978
12	2,03	100, 40	14,07	8,04	79	3	-284	-1109
13	2,21	100, 40	14,07	8,04	90	4	-263	-1259
14	2,39	100, 40	14,07	8,04	103	6	-209	-1443
15	2,58	100, 40	14,07	8,04	121	8	-109	-1675
16	2,76	100, 40	14,07	8,04	145	11	98	-1988
17	2,95	100, 40	14,07	8,04	179	15	530	-2428
18	3,13	100, 40	14,07	8,04	228	19	1369	-3038
19	3,32	100, 40	14,07	8,04	295	24	2820	-3843
20	3,50	100, 40	14,07	8,04	381	29	5025	-4844

**Inviluppo armature e tensioni nei materiali della fondazione**

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

Simbologia adottata

B base della sezione espressa in [cm]

H altezza della sezione espressa in [cm]

A<sub>fi</sub> area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]

A<sub>fs</sub> area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]

σ<sub>c</sub> tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]

T<sub>c</sub> tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
 RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA

**108 /  
 126**

- $\sigma_{fi}$  tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [kPa]  
 $\sigma_{fs}$  tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [kPa]  
 $N_u$  sforzo normale ultimo espresso in [kN]  
 $M_u$  momento ultimo espresso in [kNm]  
 CS coefficiente sicurezza sezione  
 $V_{Rcd}$  Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]  
 $V_{Rsd}$  Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]  
 $V_{Rd}$  Resistenza al taglio, espresso in [kN]

Inviluppo SLU

Nr.	X	B, H	$A_{fs}$	$A_{fi}$	$N_u$	$M_u$	CS	$V_{Rd}$	$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}$
1	0,00	100, 40	8,04	8,04	0,00	0,00	1000,00	161,22	--	--
2	0,16	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	818,50	161,22	--	--
3	0,32	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	254,47	161,22	--	--
4	0,48	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	149,51	161,22	--	--
5	0,64	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	101,95	161,22	--	--
6	0,80	100, 40	8,04	8,04	0,00	111,69	54,35	161,22	--	--
7	0,96	100, 40	8,04	8,04	0,00	111,69	32,34	161,22	--	--
8	1,12	100, 40	8,04	8,04	0,00	111,69	20,79	161,22	--	--
9	1,28	100, 40	8,04	8,04	0,00	111,69	14,15	161,22	--	--
10	1,44	100, 40	8,04	8,04	0,00	111,69	10,06	161,22	--	--
11	1,60	100, 40	8,04	8,04	0,00	111,69	7,41	161,22	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	$A_{fs}$	$A_{fi}$	$\sigma_c$	$T_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
12	0,00	100, 40	8,04	8,04	0	0	0	0
13	0,16	100, 40	8,04	8,04	7	-4	-61	381
14	0,32	100, 40	8,04	8,04	22	-5	-198	1230
15	0,48	100, 40	8,04	8,04	37	-4	-338	2108
16	0,64	100, 40	8,04	8,04	45	-1	-413	2575
17	0,80	100, 40	8,04	8,04	38	5	-352	2191
18	0,96	100, 40	8,04	8,04	9	14	-83	516
19	1,12	100, 40	8,04	8,04	51	24	2890	-464

20	1,28	100, 40	8,04	8,04	148	37	8467	-1359
21	1,44	100, 40	8,04	8,04	292	53	16655	-2674
22	1,60	100, 40	8,04	8,04	489	71	27893	-4478

A valle di tutti i risultati ottenuti è possibile affermare che le verifiche per il Muro tipo\_2 sono tutte soddisfatte.

### 6.3.-..MURO TIPO\_3

Oltre la paratia di pali (nella direzione longitudinale del sottovia) a sostegno del terreno vengono realizzati una serie di muri di sostegno a conci di lunghezza circa 5,00m e geometria trasversale come descritte sopra. Nel seguente paragrafo vengono esposti tutti i calcoli relativi al "Muro tipo\_3"

Le caratteristiche del terreno di rinfilanco sono quelle esposte nel §2.4.

Le analisi del muro di sostegno sono state condotte con il software MAX della Aztec Informatica.

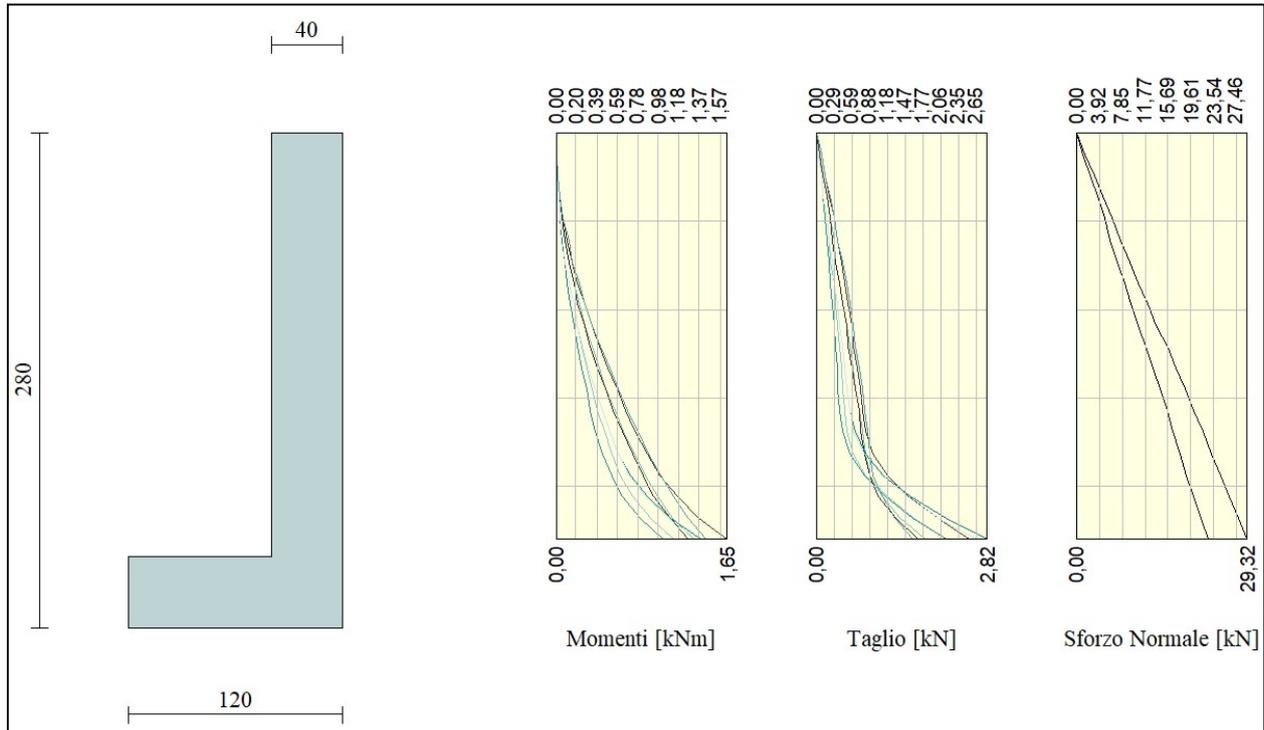
#### 6.3.1.-..Risultati delle analisi

L'analisi della paratia è stata condotta nella sua condizione di esercizio. In accordo con quanto previsto dalle NTC18, i muri di sostegno verranno esaminati considerando l'Approccio1 per il quale esistono due differenti combinazioni:

- A1 + M1 + R1
- A1 + M2 + R1

così come definiti nella Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle stesse NTC18.

Con riferimento alle condizioni di carico elementari e relative combinazioni di carico esposte nei paragrafi precedenti, di seguito si riportano i diagrammi di involuppo delle sollecitazioni per metro lineare di paratia e successivamente i valori numerici.



**Figura 29 – Involuppi delle sollecitazioni**

**Involuppo Sollecitazioni paramento**

- Y: ordinata della sezione, espressa in metri, considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro;
- N<sub>MAX/MIN</sub>: sforzo normale (massimo e minimo) positivo di compressione ed espresso in kN;
- M<sub>MAX/MIN</sub>: momento flettente (massimo e minimo) positivo se tende le fibre contro terra ed espresso in kNm;
- T<sub>MAX/MIN</sub>: taglio (massimo e minimo) positivo se diretto da monte a valle ed espresso in kN;

**Involuppo combinazioni SLU**

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,12	1,1871	1,5433	0,0023	0,0046	0,0378	0,0753
3	0,24	2,3743	3,0866	0,0091	0,0181	0,0742	0,1480
4	0,36	3,5614	4,6298	0,0202	0,0403	0,1093	0,2179
5	0,48	4,7486	6,1731	0,0355	0,0708	0,1431	0,2852
6	0,61	5,9357	7,7164	0,0548	0,1092	0,1755	0,3498

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	<b>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</b>	<b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b>																																																																																																																																									
<b>CODIFICA ELABORATO</b> <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b>	<b>TITOLO DOCUMENTO</b> <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b>		<b>PAGINA</b> <b>111 /</b> <b>126</b>																																																																																																																																								
<table border="0"> <tr><td>7</td><td>0,73</td><td>7,1228</td><td>9,2597</td><td>0,0779</td><td>0,1554</td><td>0,2066</td><td>0,4117</td></tr> <tr><td>8</td><td>0,85</td><td>8,3100</td><td>10,8030</td><td>0,1048</td><td>0,2088</td><td>0,2364</td><td>0,4710</td></tr> <tr><td>9</td><td>0,97</td><td>9,4971</td><td>12,3463</td><td>0,1351</td><td>0,2693</td><td>0,2648</td><td>0,5276</td></tr> <tr><td>10</td><td>1,09</td><td>10,6843</td><td>13,8895</td><td>0,1688</td><td>0,3364</td><td>0,2919</td><td>0,5814</td></tr> <tr><td>11</td><td>1,21</td><td>11,8714</td><td>15,4328</td><td>0,2057</td><td>0,4099</td><td>0,3175</td><td>0,6325</td></tr> <tr><td>12</td><td>1,33</td><td>13,0585</td><td>16,9761</td><td>0,2456</td><td>0,4894</td><td>0,3418</td><td>0,6809</td></tr> <tr><td>13</td><td>1,45</td><td>14,2457</td><td>18,5194</td><td>0,2884</td><td>0,5747</td><td>0,3648</td><td>0,7267</td></tr> <tr><td>14</td><td>1,57</td><td>15,4328</td><td>20,0627</td><td>0,3339</td><td>0,6653</td><td>0,3865</td><td>0,7698</td></tr> <tr><td>15</td><td>1,69</td><td>16,6200</td><td>21,6059</td><td>0,3830</td><td>0,7615</td><td>0,4341</td><td>0,8265</td></tr> <tr><td>16</td><td>1,82</td><td>17,8071</td><td>23,1492</td><td>0,4425</td><td>0,8682</td><td>0,5658</td><td>0,9526</td></tr> <tr><td>17</td><td>1,94</td><td>18,9942</td><td>24,6925</td><td>0,5243</td><td>0,9966</td><td>0,8025</td><td>1,1865</td></tr> <tr><td>18</td><td>2,06</td><td>20,1814</td><td>26,2358</td><td>0,6411</td><td>1,1600</td><td>1,0402</td><td>1,5656</td></tr> <tr><td>19</td><td>2,18</td><td>21,3685</td><td>27,7791</td><td>0,8059</td><td>1,3719</td><td>1,3127</td><td>2,1387</td></tr> <tr><td>20</td><td>2,30</td><td>22,5557</td><td>29,3223</td><td>1,0310</td><td>1,6453</td><td>1,6762</td><td>2,8245</td></tr> </table>	7	0,73	7,1228	9,2597	0,0779	0,1554	0,2066	0,4117	8	0,85	8,3100	10,8030	0,1048	0,2088	0,2364	0,4710	9	0,97	9,4971	12,3463	0,1351	0,2693	0,2648	0,5276	10	1,09	10,6843	13,8895	0,1688	0,3364	0,2919	0,5814	11	1,21	11,8714	15,4328	0,2057	0,4099	0,3175	0,6325	12	1,33	13,0585	16,9761	0,2456	0,4894	0,3418	0,6809	13	1,45	14,2457	18,5194	0,2884	0,5747	0,3648	0,7267	14	1,57	15,4328	20,0627	0,3339	0,6653	0,3865	0,7698	15	1,69	16,6200	21,6059	0,3830	0,7615	0,4341	0,8265	16	1,82	17,8071	23,1492	0,4425	0,8682	0,5658	0,9526	17	1,94	18,9942	24,6925	0,5243	0,9966	0,8025	1,1865	18	2,06	20,1814	26,2358	0,6411	1,1600	1,0402	1,5656	19	2,18	21,3685	27,7791	0,8059	1,3719	1,3127	2,1387	20	2,30	22,5557	29,3223	1,0310	1,6453	1,6762	2,8245																											
7	0,73	7,1228	9,2597	0,0779	0,1554	0,2066	0,4117																																																																																																																																				
8	0,85	8,3100	10,8030	0,1048	0,2088	0,2364	0,4710																																																																																																																																				
9	0,97	9,4971	12,3463	0,1351	0,2693	0,2648	0,5276																																																																																																																																				
10	1,09	10,6843	13,8895	0,1688	0,3364	0,2919	0,5814																																																																																																																																				
11	1,21	11,8714	15,4328	0,2057	0,4099	0,3175	0,6325																																																																																																																																				
12	1,33	13,0585	16,9761	0,2456	0,4894	0,3418	0,6809																																																																																																																																				
13	1,45	14,2457	18,5194	0,2884	0,5747	0,3648	0,7267																																																																																																																																				
14	1,57	15,4328	20,0627	0,3339	0,6653	0,3865	0,7698																																																																																																																																				
15	1,69	16,6200	21,6059	0,3830	0,7615	0,4341	0,8265																																																																																																																																				
16	1,82	17,8071	23,1492	0,4425	0,8682	0,5658	0,9526																																																																																																																																				
17	1,94	18,9942	24,6925	0,5243	0,9966	0,8025	1,1865																																																																																																																																				
18	2,06	20,1814	26,2358	0,6411	1,1600	1,0402	1,5656																																																																																																																																				
19	2,18	21,3685	27,7791	0,8059	1,3719	1,3127	2,1387																																																																																																																																				
20	2,30	22,5557	29,3223	1,0310	1,6453	1,6762	2,8245																																																																																																																																				
<u>Inviluppo combinazioni SLE</u>																																																																																																																																											
<table border="0"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Y</th> <th>Nmin</th> <th>Nmax</th> <th>Mmin</th> <th>Mmax</th> <th>Tmin</th> <th>Tmax</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,00</td><td>0,0000</td><td>0,0000</td><td>0,0000</td><td>0,0000</td><td>0,0000</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,12</td><td>1,1871</td><td>1,1871</td><td>0,0048</td><td>0,0048</td><td>0,0785</td><td>0,0785</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,24</td><td>2,3743</td><td>2,3743</td><td>0,0189</td><td>0,0189</td><td>0,1542</td><td>0,1542</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,36</td><td>3,5614</td><td>3,5614</td><td>0,0420</td><td>0,0420</td><td>0,2272</td><td>0,2272</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,48</td><td>4,7486</td><td>4,7486</td><td>0,0738</td><td>0,0738</td><td>0,2973</td><td>0,2973</td></tr> <tr><td>6</td><td>0,61</td><td>5,9357</td><td>5,9357</td><td>0,1139</td><td>0,1139</td><td>0,3646</td><td>0,3646</td></tr> <tr><td>7</td><td>0,73</td><td>7,1228</td><td>7,1228</td><td>0,1619</td><td>0,1619</td><td>0,4291</td><td>0,4291</td></tr> <tr><td>8</td><td>0,85</td><td>8,3100</td><td>8,3100</td><td>0,2176</td><td>0,2176</td><td>0,4908</td><td>0,4908</td></tr> <tr><td>9</td><td>0,97</td><td>9,4971</td><td>9,4971</td><td>0,2806</td><td>0,2806</td><td>0,5497</td><td>0,5497</td></tr> <tr><td>10</td><td>1,09</td><td>10,6843</td><td>10,6843</td><td>0,3506</td><td>0,3506</td><td>0,6057</td><td>0,6057</td></tr> <tr><td>11</td><td>1,21</td><td>11,8714</td><td>11,8714</td><td>0,4272</td><td>0,4272</td><td>0,6590</td><td>0,6590</td></tr> <tr><td>12</td><td>1,33</td><td>13,0585</td><td>13,0585</td><td>0,5100</td><td>0,5100</td><td>0,7095</td><td>0,7095</td></tr> <tr><td>13</td><td>1,45</td><td>14,2457</td><td>14,2457</td><td>0,5988</td><td>0,5988</td><td>0,7572</td><td>0,7572</td></tr> <tr><td>14</td><td>1,57</td><td>15,4328</td><td>15,4328</td><td>0,6932</td><td>0,6932</td><td>0,8021</td><td>0,8021</td></tr> <tr><td>15</td><td>1,69</td><td>16,6200</td><td>16,6200</td><td>0,7929</td><td>0,7929</td><td>0,8441</td><td>0,8441</td></tr> <tr><td>16</td><td>1,82</td><td>17,8071</td><td>17,8071</td><td>0,8975</td><td>0,8975</td><td>0,8850</td><td>0,8850</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax	1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2	0,12	1,1871	1,1871	0,0048	0,0048	0,0785	0,0785	3	0,24	2,3743	2,3743	0,0189	0,0189	0,1542	0,1542	4	0,36	3,5614	3,5614	0,0420	0,0420	0,2272	0,2272	5	0,48	4,7486	4,7486	0,0738	0,0738	0,2973	0,2973	6	0,61	5,9357	5,9357	0,1139	0,1139	0,3646	0,3646	7	0,73	7,1228	7,1228	0,1619	0,1619	0,4291	0,4291	8	0,85	8,3100	8,3100	0,2176	0,2176	0,4908	0,4908	9	0,97	9,4971	9,4971	0,2806	0,2806	0,5497	0,5497	10	1,09	10,6843	10,6843	0,3506	0,3506	0,6057	0,6057	11	1,21	11,8714	11,8714	0,4272	0,4272	0,6590	0,6590	12	1,33	13,0585	13,0585	0,5100	0,5100	0,7095	0,7095	13	1,45	14,2457	14,2457	0,5988	0,5988	0,7572	0,7572	14	1,57	15,4328	15,4328	0,6932	0,6932	0,8021	0,8021	15	1,69	16,6200	16,6200	0,7929	0,7929	0,8441	0,8441	16	1,82	17,8071	17,8071	0,8975	0,8975	0,8850	0,8850			
Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax																																																																																																																																				
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000																																																																																																																																				
2	0,12	1,1871	1,1871	0,0048	0,0048	0,0785	0,0785																																																																																																																																				
3	0,24	2,3743	2,3743	0,0189	0,0189	0,1542	0,1542																																																																																																																																				
4	0,36	3,5614	3,5614	0,0420	0,0420	0,2272	0,2272																																																																																																																																				
5	0,48	4,7486	4,7486	0,0738	0,0738	0,2973	0,2973																																																																																																																																				
6	0,61	5,9357	5,9357	0,1139	0,1139	0,3646	0,3646																																																																																																																																				
7	0,73	7,1228	7,1228	0,1619	0,1619	0,4291	0,4291																																																																																																																																				
8	0,85	8,3100	8,3100	0,2176	0,2176	0,4908	0,4908																																																																																																																																				
9	0,97	9,4971	9,4971	0,2806	0,2806	0,5497	0,5497																																																																																																																																				
10	1,09	10,6843	10,6843	0,3506	0,3506	0,6057	0,6057																																																																																																																																				
11	1,21	11,8714	11,8714	0,4272	0,4272	0,6590	0,6590																																																																																																																																				
12	1,33	13,0585	13,0585	0,5100	0,5100	0,7095	0,7095																																																																																																																																				
13	1,45	14,2457	14,2457	0,5988	0,5988	0,7572	0,7572																																																																																																																																				
14	1,57	15,4328	15,4328	0,6932	0,6932	0,8021	0,8021																																																																																																																																				
15	1,69	16,6200	16,6200	0,7929	0,7929	0,8441	0,8441																																																																																																																																				
16	1,82	17,8071	17,8071	0,8975	0,8975	0,8850	0,8850																																																																																																																																				

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

 TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
 RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

 PAGINA  
**112 /  
 126**

17	1,94	18,9942	18,9942	1,0079	1,0079	0,9467	0,9467
18	2,06	20,1814	20,1814	1,1296	1,1296	1,0768	1,0768
19	2,18	21,3685	21,3685	1,2720	1,2720	1,2915	1,2915
20	2,30	22,5557	22,5557	1,4453	1,4453	1,5783	1,5783

### **Inviluppo Sollecitazioni fondazione di valle**

- X: ascissa della sezione, espressa in metri, considerata positiva se diretta verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle;
- $M_{MAX/MIN}$ : momento flettente (massimo e minimo) positivo se tende le fibre inferiori ed espresso in kNm;
- $T_{MAX/MIN}$ : taglio (massimo e minimo) positivo se diretto verso l'alto ed espresso in kN;

### **Inviluppo combinazioni SLU**

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,08	-0,0352	-0,0175	-0,8087	-0,3881
3	0,16	-0,1181	-0,0541	-1,1949	-0,4760
4	0,24	-0,2151	-0,0857	-1,1587	-0,2639
5	0,32	-0,2922	-0,0883	-0,7000	0,2484
6	0,40	-0,3158	-0,0379	0,0358	1,0608
7	0,48	-0,2520	0,0894	0,9929	2,1733
8	0,56	-0,0894	0,3178	2,2668	3,5860
9	0,64	0,1534	0,6712	3,8573	5,3592
10	0,72	0,5362	1,1736	5,7646	7,9301
11	0,80	1,0842	1,8490	7,9885	10,9235

### **Inviluppo combinazioni SLE**

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,08	-0,0271	-0,0271	-0,6239	-0,6239
3	0,16	-0,0912	-0,0912	-0,9264	-0,9264
4	0,24	-0,1667	-0,1667	-0,9075	-0,9075
5	0,32	-0,2279	-0,2279	-0,5672	-0,5672

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p><b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b></p>	
<p>CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b></p>	<p>TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b></p>		<p>PAGINA <b>113 / 126</b></p>

6	0,40	-0,2489	-0,2489	0,0944	0,0944
7	0,48	-0,2042	-0,2042	1,0774	1,0774
8	0,56	-0,0680	-0,0680	2,3817	2,3817
9	0,64	0,1854	0,1854	4,0075	4,0075
10	0,72	0,5818	0,5818	5,9545	5,9545
11	0,80	1,1467	1,1467	8,2230	8,2230

### 6.3.2.-..Verifiche

In accordo con quanto previsto dalle NTC18 al §6.5.3.1.1 per i muri di sostegno le verifiche si devono condurre considerando almeno i seguenti stati limite ultimi

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - scorrimento sul piano di posa;
  - collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
  - ribaltamento;
- 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 la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, 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 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nella Tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

Per quanto riguarda invece le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio, si deve verificare che gli spostamenti dell'opera e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti. Inoltre, vengono condotte le verifiche di fessurazione delle sezioni in c.a..

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche allo SLU ed allo SLE.

#### 6.3.2.1.-..Verifica allo scorrimento sul piano di posa

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere

minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento  $F_r$  e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro  $F_s$  risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $FS_{S,min}$  (in cui  $FS_{S,min}=1$ ):

$$\frac{F_r}{F_s} \geq 1$$

Le forze che intervengono nella  $F_s$  sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta  $N$  la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $c_a$  l'adesione terreno-fondazione e con  $B_r$  la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = N \cdot \tan \delta_f + c_a \cdot B_r$$

Nel caso di fondazione con dente, viene calcolata la resistenza passiva sviluppata lungo il cuneo passante per lo spigolo inferiore del dente, inclinato dell'angolo  $\rho$  (rispetto all'orizzontale). Tale cuneo viene individuato attraverso un procedimento iterativo. In dipendenza della geometria della fondazione e del dente, dei parametri geotecnici del terreno e del carico risultante in fondazione, tale cuneo può avere forma triangolare o trapezoidale. Detta  $N$  la componente normale del carico agente sul piano di posa della fondazione,  $Q$  l'aliquota di carico gravante sul cuneo passivo,  $S_p$  la resistenza passiva,  $L_c$  l'ampiezza del cuneo e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $c_a$  l'adesione terreno-fondazione e con  $B_r$  la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = (N - Q) \cdot \tan \delta_f + S_p + c_a \cdot L_r$$

in cui:

$$L_r = B_r \cdot L_c$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50%.

Di seguito si riporta la verifica per la combinazione più sfavorevole.

COMBINAZIONE n° 10

Valore della spinta statica	5,1936	[kN]	
Componente orizzontale della spinta statica	5,0266	[kN]	
Componente verticale della spinta statica	1,3066	[kN]	
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -2,41 [m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,57	[°]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	55,12	[°]	
Incremento sismico della spinta	0,8425	[kN]	
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,00	[m]	Y = -2,41 [m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	53,69	[°]	
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,0000	[kN]	
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00 [m]
Inerzia del muro	1,2731	[kN]	
Inerzia verticale del muro	0,6366	[kN]	
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]	
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]	

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	7,1152	[kN]	
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	37,4596	[kN]	
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5133	[kN]	
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	37,4596	[kN]	
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	7,1152	[kN]	
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,18	[m]	
Lunghezza fondazione reagente	1,20	[m]	
Risultante in fondazione	38,1294	[kN]	
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	10,75	[°]	
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-6,7527	[kNm]	
Carico ultimo della fondazione	164,7237	[kN]	

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,20	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	3,08	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	59,35	[kPa]

### Fattori per il calcolo della capacità portante

<b>Coeff. capacità portante</b>	$N_c = 17.08$	$N_q = 7.96$	$N_\gamma = 4.19$
<b>Fattori forma</b>	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
<b>Fattori inclinazione</b>	$i_c = 0,78$	$i_q = 0,78$	$i_\gamma = 0,27$
<b>Fattori profondità</b>	$d_c = 1,22$	$d_q = 1,11$	$d_\gamma = 1,11$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$$N'_c = 16.20 \qquad N'_q = 6.86 \qquad N'_\gamma = 1.24$$

A valle dei calcoli effettuati, si ottiene:

### COEFFICIENTI DI SICUREZZA A SCORRIMENTO

Coefficiente di sicurezza a scorrimento 3,24

### **6.3.2.2.-.Verifica al carico limite**

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a  $FS_{q,min}$  (in cui  $FS_{q,min}=1$ ).  
 Cioè, detto  $Q_u$ , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq FS_{q,min}$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

In questa espressione

- c coesione del terreno in fondazione;
- $\phi$  angolo di attrito del terreno in fondazione;
- $\gamma$  peso di volume del terreno in fondazione;
- B larghezza della fondazione;
- D profondità del piano di posa;
- q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A=e^{\pi \cdot \tan \phi}$$

$$N_q=A \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ+\Phi/2)$$

$$N_c=(N_q-1) \cdot \cot \Phi$$

$$N_v=(N_q-1) \cdot \tan (1,4 \cdot \Phi)$$

Indichiamo con  $K_p$  il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p=\operatorname{tg}^2(45^\circ+\Phi/2)$$

I fattori "d" ed "i" che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

#### Fattori di profondità

$$d_q=1+0,2 \cdot \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$$

$$d_q=d_v=1 \quad \text{per } \varphi=0$$

$$d_q=d_v=1+0,1 \cdot \frac{D}{B} \sqrt{K_p} \quad \text{per } \varphi>0$$

#### Fattori di inclinazione

Indicando con  $\theta$  l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale ( espresso in gradi ) e con  $\varphi$  l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c=i_q=(1-\theta/90)^2$$

$$i_v=\left(1-\frac{\theta}{\varphi}\right)^2 \quad \text{per } \varphi>0$$

$$i_v=0 \quad \text{per } \varphi=0$$

Di seguito si riporta la verifica per la combinazione più sfavorevole.

#### COMBINAZIONE n° 10

Valore della spinta statica	5,1936	[kN]	
Componente orizzontale della spinta statica	5,0266	[kN]	
Componente verticale della spinta statica	1,3066	[kN]	
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -2,41 [m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,57	[°]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	55,12	[°]	
Incremento sismico della spinta	0,8425	[kN]	

Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,00	[m]	Y = -2,41	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	53,69	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,0000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inerzia del muro	1,2731	[kN]		
Inerzia verticale del muro	0,6366	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]		

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	7,1152	[kN]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	37,4596	[kN]		
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5133	[kN]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	37,4596	[kN]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	7,1152	[kN]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,18	[m]		
Lunghezza fondazione reagente	1,20	[m]		
Risultante in fondazione	38,1294	[kN]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	10,75	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-6,7527	[kNm]		
Carico ultimo della fondazione	164,7237	[kN]		

### Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,20	[m]		
Tensione terreno allo spigolo di valle	3,08	[kPa]		
Tensione terreno allo spigolo di monte	59,35	[kPa]		

### Fattori per il calcolo della capacità portante

<b>Coeff. capacità portante</b>	$N_c = 17.08$	$N_q = 7.96$	$N_\gamma = 4.19$
<b>Fattori forma</b>	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
<b>Fattori inclinazione</b>	$i_c = 0,78$	$i_q = 0,78$	$i_\gamma = 0,27$
<b>Fattori profondità</b>	$d_c = 1,22$	$d_q = 1,11$	$d_\gamma = 1,11$

I coefficienti  $N'$  tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$$N'_c = 16.20$$

$$N'_q = 6.86$$

$$N'_\gamma = 1.24$$

A valle dei calcoli effettuati, si ottiene:

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA A CARICO LIMITE**

Coefficiente di sicurezza a carico ultimo 4,40

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”	<b>ATI</b> <b>SINTAGMA</b> <b>ITALIANA SISTEMI</b>
CODIFICA ELABORATO <b>S01 PD TG-- 08 E0002</b>	TITOLO DOCUMENTO <b>RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO</b> <b>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA</b>	PAGINA <b>120 /</b> <b>126</b>

### 6.3.2.3.-. Verifica al ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante  $M_r$ ) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante  $M_s$ ) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto  $M_s/M_r$  sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $FS_{R,min}$  (in cui  $FS_{R,min}=1$ ).

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza:

$$\frac{M_s}{M_r} \geq FS_{R,min}$$

Il momento ribaltante  $M_r$  è dato dalla componente orizzontale della spinta  $S$ , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terramuro  $\delta$  è positivo, ribaltante se  $\delta$  è negativo.  $\delta$  è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Di seguito si riporta la verifica per la combinazione più sfavorevole.

#### COMBINAZIONE n° 6

Valore della spinta statica	5,1936	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	5,0266	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	1,3066	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -2,41	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,57	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	55,12	[°]		
Incremento sismico della spinta	0,4403	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,00	[m]	Y = -2,41	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	53,75	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,0000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]

Inerzia del muro	1,2731	[kN]
Inerzia verticale del muro	-0,6366	[kN]
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,0000	[kN]
<b><u>Risultanti</u></b>		
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	6,7259	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	36,0853	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5133	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	4,1411	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	32,2981	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	36,0853	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	6,7259	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,18	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,20	[m]
Risultante in fondazione	36,7067	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	10,56	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-6,5058	[kNm]

A valle dei calcoli effettuati, si ottiene:

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA AL RIBALTAMENTO**

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento 7,80

### ***6.3.2.4.-. Verifiche strutturali allo SLU ed allo SLE***

Con riferimento alla normativa di riferimento NTC18, alle sollecitazioni di involuppo esposte in precedenza ed ai criteri di verifica esposti al §4.2 della presente relazione di calcolo, di seguito si riportano i risultati ottenuti per il "Muro tipo\_1" distinguendo il paramento dalla fondazione.

#### **Elenco ferri**

##### *Simbologia adottata*

*Destinazione* Destinazione ferro

$\emptyset$  Diametro ferro espresso in [mm]

$n$  Numero tondini

$L$  Lunghezza totale ferro espressa in [cm]

$P$  Peso singolo ferro espresso in [kN]

$P_g$  Peso gruppo espresso in [kN]

<b>Destinazione</b>	<b><math>\emptyset</math></b>	<b><math>n</math></b>	<b><math>L</math></b>	<b><math>P</math></b>	<b><math>P_g</math></b>
Fondazione	16,00	4	176,20	0,0273	0,1091
Fondazione	16,00	4	176,20	0,0273	0,1091
Paramento	16,00	4	155,00	0,0240	0,0960
Paramento	16,00	4	276,00	0,0427	0,1709
Paramento	16,00	7	155,00	0,0240	0,1679
Paramento	16,00	7	276,00	0,0427	0,2990
Fondazione	8,00	6	50,13	0,0019	0,0116
Paramento	8,00	6	50,13	0,0019	0,0116

#### **Involuppo armature e tensioni nei materiali del paramento**

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

##### *Simbologia adottata*

$B$  base della sezione espressa in [cm]

$H$  altezza della sezione espressa in [cm]

$A_{fs}$  area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]

$A_{fi}$  area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]

$\sigma_c$  tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]

$T_c$  tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]

$\sigma_{fs}$  tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]

$\sigma_{fi}$  tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]

$N_u$  sforzo normale ultimo espresso in [kN]

$M_u$  momento ultimo espresso in [kNm]

CS coefficiente sicurezza sezione

$V_{Rcd}$  Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]

$V_{Rsd}$  Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]

$V_{Rd}$  Resistenza al taglio, espresso in [kN]

### Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	$A_{fs}$	$A_{fi}$	$N_u$	$M_u$	CS	$V_{Rd}$	$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}$
1	0,00	100, 40	14,07	8,04	0,00	0,00	1000,00	172,84	--	--
2	0,12	100, 40	14,07	8,04	6099,26	-11,85	3952,13	173,01	--	--
3	0,24	100, 40	14,07	8,04	6066,62	-23,33	1965,49	173,17	--	--
4	0,36	100, 40	14,07	8,04	6034,60	-34,46	1303,52	173,34	--	--
5	0,48	100, 40	14,07	8,04	6002,87	-45,24	972,71	173,50	--	--
6	0,61	100, 40	14,07	8,04	5971,67	-55,68	774,37	173,67	--	--
7	0,73	100, 40	14,07	8,04	5940,98	-65,77	642,25	173,83	--	--
8	0,85	100, 40	14,07	8,04	5910,79	-75,55	547,97	174,00	--	--
9	0,97	100, 40	14,07	8,04	5881,09	-85,00	477,35	174,16	--	--
10	1,09	100, 40	14,07	8,04	5851,88	-94,14	422,48	174,33	--	--
11	1,21	100, 40	14,07	8,04	5823,14	-102,96	378,65	174,49	--	--
12	1,33	100, 40	14,07	8,04	5794,86	-111,46	342,85	174,66	--	--
13	1,45	100, 40	14,07	8,04	5767,04	-119,66	313,06	174,82	--	--
14	1,57	100, 40	14,07	8,04	5739,66	-127,55	287,90	174,98	--	--
15	1,69	100, 40	14,07	8,04	5685,15	-135,52	266,36	175,15	--	--
16	1,82	100, 40	28,15	16,08	6125,59	-164,38	271,40	220,24	--	--
17	1,94	100, 40	14,07	8,04	5507,86	-161,00	229,03	175,48	--	--
18	2,06	100, 40	14,07	8,04	5408,22	-183,93	210,78	175,64	--	--
19	2,18	100, 40	14,07	8,04	5278,51	-216,10	193,33	175,81	--	--
20	2,30	100, 40	14,07	8,04	4992,31	-250,63	176,06	175,97	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	T <sub>c</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>
1	0,00	100, 40	14,07	8,04	0	0	0	0
2	0,12	100, 40	14,07	8,04	3	0	-38	-45
3	0,24	100, 40	14,07	8,04	6	0	-71	-94
4	0,36	100, 40	14,07	8,04	10	1	-102	-146
5	0,48	100, 40	14,07	8,04	14	1	-128	-202
6	0,61	100, 40	14,07	8,04	18	1	-152	-261
7	0,73	100, 40	14,07	8,04	23	1	-172	-324
8	0,85	100, 40	14,07	8,04	27	2	-190	-390
9	0,97	100, 40	14,07	8,04	32	2	-204	-459
10	1,09	100, 40	14,07	8,04	37	2	-216	-531
11	1,21	100, 40	14,07	8,04	43	2	-225	-605
12	1,33	100, 40	14,07	8,04	48	2	-231	-683
13	1,45	100, 40	14,07	8,04	54	2	-235	-762
14	1,57	100, 40	14,07	8,04	60	3	-237	-844
15	1,69	100, 40	14,07	8,04	66	3	-237	-928
16	1,82	100, 40	28,15	16,08	67	3	-229	-945
17	1,94	100, 40	14,07	8,04	79	3	-231	-1103
18	2,06	100, 40	14,07	8,04	85	3	-222	-1196
19	2,18	100, 40	14,07	8,04	93	4	-205	-1298
20	2,30	100, 40	14,07	8,04	101	5	-175	-1413

**Inviluppo armature e tensioni nei materiali della fondazione**

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

Simbologia adottata

B base della sezione espressa in [cm]

H altezza della sezione espressa in [cm]

A<sub>fi</sub> area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]

A<sub>fs</sub> area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]

σ<sub>c</sub> tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]

T<sub>c</sub> tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]

CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
 RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

 PAGINA  
**125 /  
 126**

- $\sigma_{fi}$  tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [kPa]  
 $\sigma_{fs}$  tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [kPa]  
 $N_u$  sforzo normale ultimo espresso in [kN]  
 $M_u$  momento ultimo espresso in [kNm]  
 CS coefficiente sicurezza sezione  
 $V_{Rcd}$  Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]  
 $V_{Rsd}$  Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]  
 $V_{Rd}$  Resistenza al taglio, espresso in [kN]

Inviluppo SLU

Nr.	X	B, H	$A_{fs}$	$A_{fi}$	$N_u$	$M_u$	CS	$V_{Rd}$	$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}$
1	0,00	100, 40	8,04	8,04	0,00	0,00	1000,00	161,22	--	--
2	0,08	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	3176,32	161,22	--	--
3	0,16	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	945,54	161,22	--	--
4	0,24	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	519,29	161,22	--	--
5	0,32	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	382,18	161,22	--	--
6	0,40	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	353,65	161,22	--	--
7	0,48	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	443,20	161,22	--	--
8	0,56	100, 40	8,04	8,04	0,00	-111,69	351,46	161,22	--	--
9	0,64	100, 40	8,04	8,04	0,00	111,69	166,41	161,22	--	--
10	0,72	100, 40	8,04	8,04	0,00	111,69	95,17	161,22	--	--
11	0,80	100, 40	8,04	8,04	0,00	111,69	60,40	161,22	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	$A_{fs}$	$A_{fi}$	$\sigma_c$	$T_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
12	0,00	100, 40	8,04	8,04	0	0	0	0
13	0,08	100, 40	8,04	8,04	2	-2	-16	98
14	0,16	100, 40	8,04	8,04	6	-3	-53	330
15	0,24	100, 40	8,04	8,04	11	-3	-97	603
16	0,32	100, 40	8,04	8,04	14	-2	-132	825
17	0,40	100, 40	8,04	8,04	16	0	-145	901
18	0,48	100, 40	8,04	8,04	13	3	-119	739
19	0,56	100, 40	8,04	8,04	4	8	-39	246



CODIFICA ELABORATO  
**S01 PD TG-- 08 E0002**

TITOLO DOCUMENTO  
**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO  
RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOVIA**

PAGINA  
**126 /  
126**

20	0,64	100, 40	8,04	8,04	12	13	671	-108
21	0,72	100, 40	8,04	8,04	37	19	2105	-338
22	0,80	100, 40	8,04	8,04	73	26	4149	-666

A valle di tutti i risultati ottenuti è possibile affermare che le verifiche per il Muro tipo\_2 sono tutte soddisfatte.