

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

MANDATARIA:

MANDANTE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



## PROGETTO ESECUTIVO

**LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI, TRATTA NAPOLI-CANCELLO,  
IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE,  
NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014**  
RELAZIONE

RI – RILEVATI

RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59

RELAZIONE DI CALCOLO MURO AD U

APPALTATORE	PROGETTAZIONE	
DIRETTORE TECNICO Ing. M. PANISI	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE Ing. A. CHECCHI	

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

I	F	1	M	0	0	E	Z	Z	C	L	R	I	0	3	0	0	0	0	3	B	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE	S. CHECCHI	14/06/18	PINTI	15/06/18	D'ANGELO	15/06/18	COPPA	
B	EMISSIONE per RDV	S. CHECCHI	10/09/18	PINTI	11/09/18	D'ANGELO	11/09/18		
									12/09/18
File: IF1M.0.0.E.ZZ.CL.RI.03.0.0.003.B									n. Elab.:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.				IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
		IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	2 di 64

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>ELABORATI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>	<b>10</b>
5.1	CALCESTRUZZO .....	10
5.1.1	Strutture di elevazione e fondazioni.....	10
5.2	ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE .....	11
5.3	COPRIFERRI MINIMI.....	11
<b>6</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....</b>	<b>12</b>
6.1	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO .....	12
6.2	INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA .....	13
<b>7</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>15</b>
7.1	PESO PROPRIO.....	15
7.2	SOVRACCARICHI PERMANENTI .....	15
7.3	SOVRACCARICHI FERROVIARI.....	15
7.4	AZIONE SISMICA .....	21
7.5	SPINTA DEL TERRENO.....	25
7.5.1	Fase statica.....	25
7.5.2	Fase sismica.....	26
7.6	SPINTA SUI PIEDRITTI PRODOTTA DAI SOVRACCARICHI VARIABILI.....	28
7.7	SPINTE DELLA FALDA .....	29

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	3 di 64

7.8	SOTTOSPINTA IDRAULICA SULLA SOLETTA DI FONDAZIONE.....	29
7.9	COMBINAZIONI DI CARICO .....	30
<b>8</b>	<b>CRITERI DI VERIFICA .....</b>	<b>37</b>
8.1	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO.....	37
8.1.1	<i>Verifica a fessurazione .....</i>	<i>37</i>
8.1.2	<i>Verifica delle tensioni in esercizio.....</i>	<i>38</i>
8.2	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI .....	38
8.2.1	<i>Sollecitazioni flettenti .....</i>	<i>38</i>
8.2.2	<i>Sollecitazioni taglianti .....</i>	<i>39</i>
<b>9</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO.....</b>	<b>41</b>
<b>10</b>	<b>ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI.....</b>	<b>42</b>
<b>11</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI.....</b>	<b>44</b>
11.1	FONDAZIONE .....	45
11.2	PIEDRITTO.....	49
<b>12</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE.....</b>	<b>53</b>
12.1	VERIFICA A CARICO LIMITE.....	53
12.2	VERIFICHE A SCORRIMENTO.....	60
12.3	VERIFICHE A RIBALTAMENTO .....	61
12.4	VERIFICHE DEI CEDIMENTI.....	61
<b>13</b>	<b>INCIDENZE.....</b>	<b>63</b>
<b>14</b>	<b>INDICE DELLE FIGURE .....</b>	<b>64</b>



APPALTATORE: Mandataria: <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b> Mandante: <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014
PROGETTISTA: Mandataria: <b>SYSTRA S.A.</b> Mandante: <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.</b>	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. PAGINA <b>IF1M 0.0.E.ZZ CL RI.03.00.003 B 5 di 64</b>
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	

Si riporta di seguito un inquadramento generale delle opere di sostegno di cui sopra:

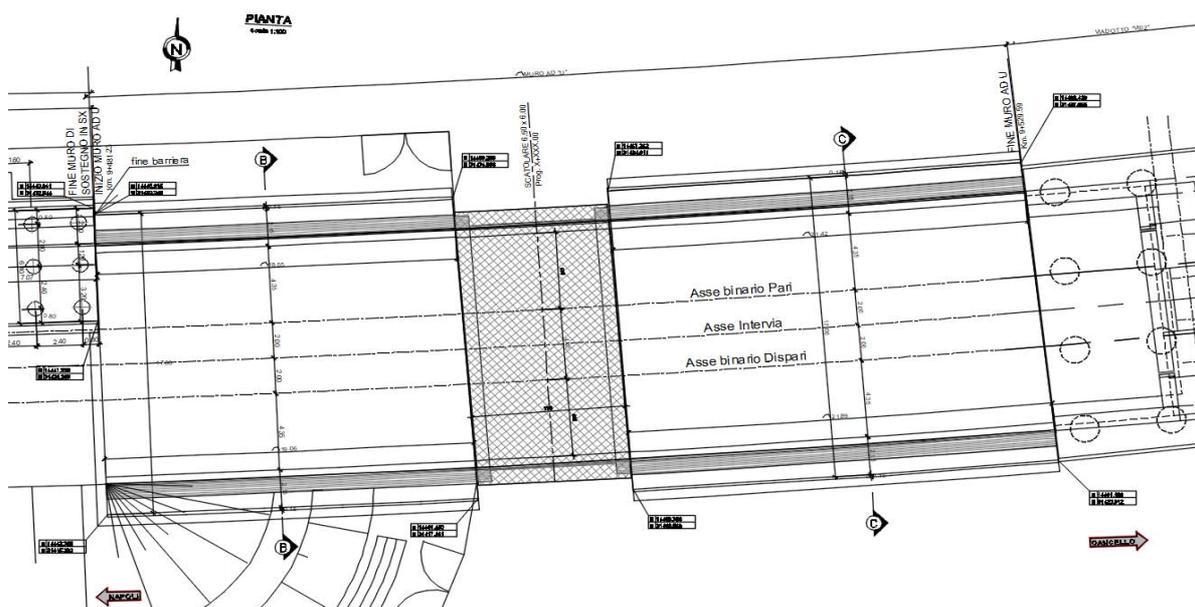


Figura 2 – Pianta

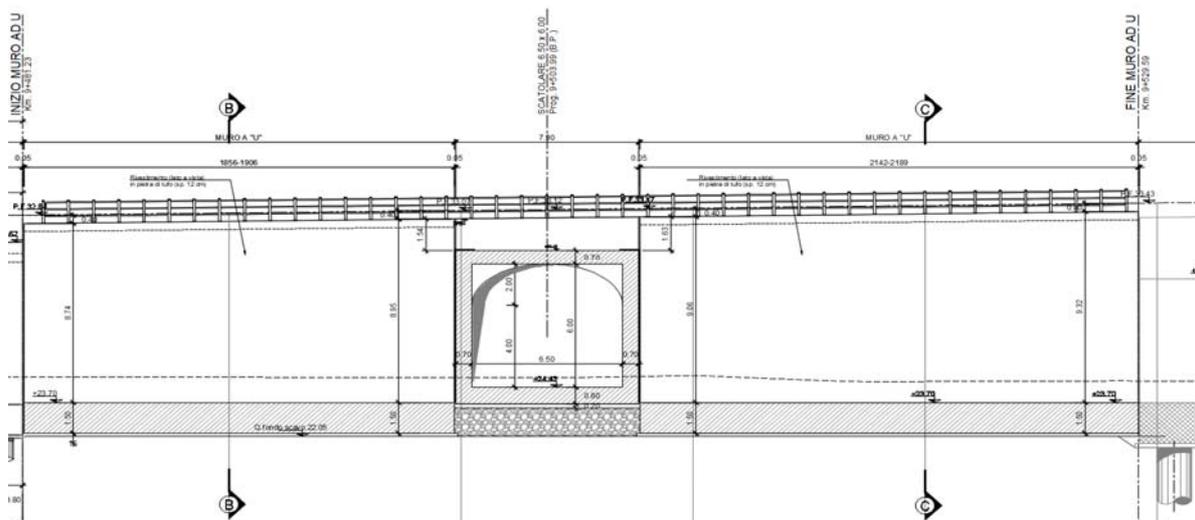


Figura 3 – Profilo longitudinale

Nei seguenti paragrafi sono riportate le normative di riferimento, le caratteristiche dei materiali impiegati, i metodi di analisi utilizzati ed i risultati delle verifiche effettuate.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<p style="text-align: center;"><b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b>  <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE  OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI  CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b></p>												
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> <b>SYSTRA S.A.</b> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b> <b>ROCKSOIL S.p.A.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.  9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1M</td> <td>0.0.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>RI.03.00.003</td> <td>B</td> <td>6 di 64</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	6 di 64
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	6 di 64								

## **2 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA**

L' opera strutturale consiste nella realizzazione di un muro ad U, suddiviso in due porzioni distinte dalla presenza di uno scatolare di dimensioni 6.50x6.00m alla progressiva 9+503.99. Si sviluppa per una lunghezza complessiva di 40.95m, con lunghezze parziali di ciascuna porzione pari rispettivamente a 19.06m e 21.89m ed altezza variabile tra 8.75m e 9.32m. La fondazione del muro ha una lunghezza complessiva di 17.00m ed altezza pari a 1.50m.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>7 di 64</b>

### 3 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

L'analisi dell'opera e le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte in accordo con le vigenti disposizioni legislative e in particolare con le seguenti norme e circolari:

- Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: "Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare M.LL.PP. n. 617 del 2 febbraio 2009: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale del 14/01/2008".
- UNI EN 1990 – Aprile 2006: Eurocodice: Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN 1991-1-1 – Agosto 2004: Eurocodice 1 – Parte 1-1: Azioni in generale – Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi variabili.
- UNI EN 1991-1-4 – Luglio 2005: Eurocodice 1. Azioni sulle strutture. Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.
- UNI EN 1992-1-1 – Novembre 2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1992-2 – Gennaio 2006: Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi.
- UNI-EN 1997-1 – Febbraio 2005: Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali.
- UNI-EN 1998-1 – Marzo 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.
- UNI-EN 1998-5 – Gennaio 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- Legge 5-1-1971 n° 1086: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica".
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64.: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- UNI EN 206-1-2001: Calcestruzzo. "Specificazione, prestazione, produzione e conformità".
- RFI DTC INC CS LG IFS 001 A. "Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra".
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A. "Specifiche per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie".

<b>APPALTATORE:</b> <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b> <u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<p align="center"><b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b>  <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b></p> <p align="center"><b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE  OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI  CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b></p>												
<b>PROGETTISTA:</b> <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b> <u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.  9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1M</td> <td>0.0.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>RI.03.00.003</td> <td>B</td> <td>8 di 64</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	8 di 64
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	8 di 64								

- RFI DTC INC PO SP IFS 001 A. “Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario”.
- Regolamento (UE) N.1299/14 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>9 di 64</b>

#### **4 ELABORATI DI RIFERIMENTO**

Si riportano appresso l'elenco di elaborati grafici di riferimento:

IF1M.0.0.E.ZZ.AA.RI.03.0.0.001	Muro ad U - Pianta, profilo longitudinale e sezioni
--------------------------------	---

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. PAGINA <b>B 10 di 64</b>

## 5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali impiegati, ricavate con riferimento alle indicazioni contenute D.M.14 gennaio 2008. Le classi di esposizione dei calcestruzzi sono coerenti con la UNI EN 206-1.

### 5.1 CALCESTRUZZO

#### 5.1.1 Strutture di elevazione e fondazioni

Per il getto in opera del muro di sostegno si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC3

C32/40  $f_{ck} \geq 32$  MPa  $R_{ck} \geq 40$  MPa

Classe minima di consistenza: S3-S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33.20	N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41.20	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	22.13	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	18.81	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3}$ [Rck<50/60]	3.10	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2.17	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3.72	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1.45	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33643	N/mm <sup>2</sup>

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>11 di 64</b>

## 5.2 ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE

Classe acciaio per armature ordinarie	B450C
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450$ MPa
Tensione caratteristica di rottura	$f_t \geq 540$ MPa
Modulo di elasticità	$E_a = 210000$ MPa

## 5.3 COPRIFERRI MINIMI

Si riportano di seguito i copriferri minimi per le strutture in calcestruzzo armato:

Strutture di elevazione	4.0 cm
Strutture di fondazione	4.0 cm

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b> <u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b> <b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>12 di 64</b>

## 6 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

### 6.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

In corrispondenza dell'opera in esame, la successione stratigrafica è quella di seguito rappresentata, riferita nello specifico alle progressive dalla pk 9+481.23 e 9+529.59:

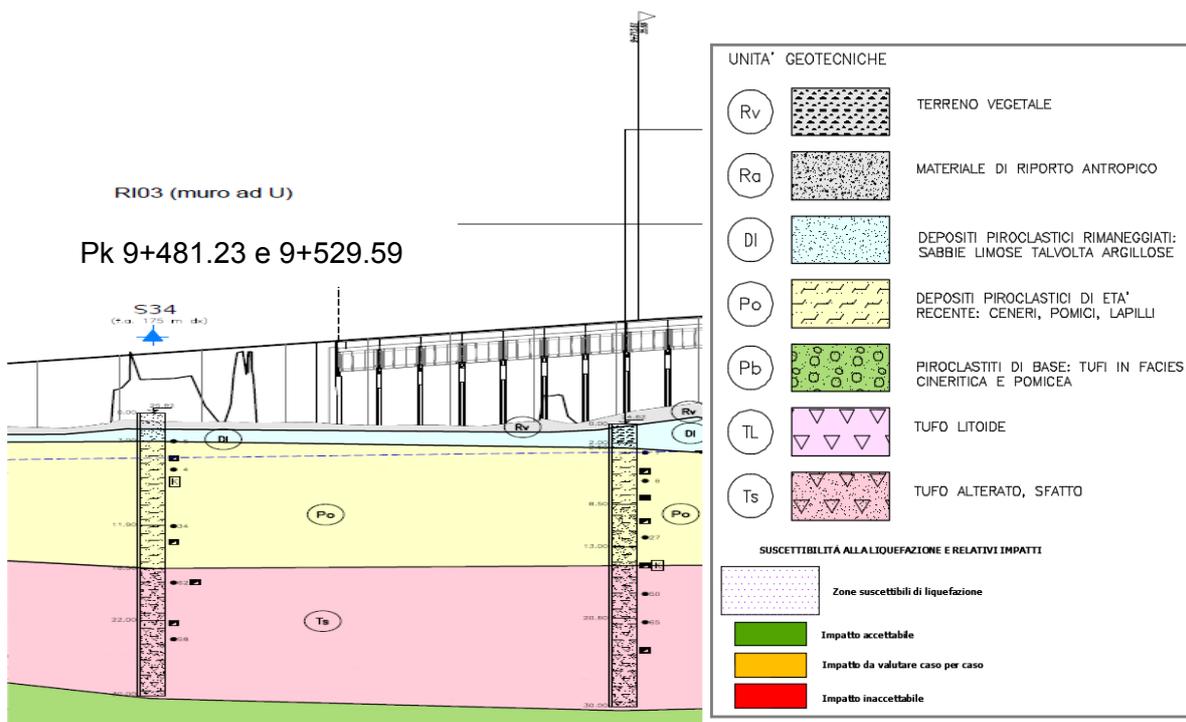


Figura 4 - Stralcio profilo geotecnico

In considerazione della quota di posa del piano di fondazione, l'opera risulta quasi completamente all'interno del litotipo "DI"; considerando pertanto che a seguito della realizzazione dell'opera, il rinterro degli scavi avverrà con il medesimo materiale precedentemente asportato, è possibile considerare, ai fini delle analisi e verifiche geotecniche dell'opera, un unico terreno con caratteristiche tipiche del "DI", di cui nel seguito si riportano i parametri ritenuti significativi ai fini delle Analisi.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>						
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>						
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>13 di 64</b>		

### Fondazione (DI)

$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$E_o = 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Il calcolo delle spinte agenti sui piedritti è stato fatto sulla base dei parametri geotecnici che caratterizzano il rilevato ferroviario. I parametri geotecnici del rilevato ferroviario sono

$\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 38^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0.00 \text{ kPa}$	coesione drenata

Riguardo il livello di falda, questa è stata rilevata a circa 3.00m al di sotto del piano campagna e quindi il regime delle spinta presenti sull'opera non è influenzato dalla falda

## 6.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alle seguenti formulazioni assimilando il comportamento del terreno a quello di un mezzo elastico omogeneo:

- $s = B \cdot c_t \cdot (q - \sigma_{v0}) \cdot (1 - \nu^2) / E$

dove:

- $s$  = cedimento elastico totale;
- $B$  = lato minore della fondazione;
- $c_t$  = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 ( $L$  = lato maggiore della fondazione):
 

$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L / B)$	rettangolare con $L / B \leq 10$
$c_t = 2 + 0.0089 (L / B)$	rettangolare con $L / B > 10$
- $q$  = pressione media agente sul terreno;
- $\sigma_{v0}$  = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>14 di 64</b>

– E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

Il valore della costante di sottofondo  $k_w$  è valutato attraverso il rapporto tra il carico applicato ed il corrispondente cedimento pertanto, si ottiene:

- $k_w = E / [(1-\nu^2) \cdot B \cdot ct]$

Per l'opera in esame, tenendo conto delle geometrie della fondazione e delle caratteristiche della formazione superficiale interagente con la stessa, si è tenuto con

$E(\text{KN/m}^2) =$	<b>200000.</b> <b>0</b>
$\nu =$	<b>0.3</b>
$B \text{ (m)} =$	<b>17.0</b>
$L \text{ (m)} =$	<b>20</b>

$ct =$  **0.94**

$K_w =$  **13756**  $\text{kN/m}^3$

Ovvero

$k_w =$  **13750**  $\text{kN/m}^2 / \text{m}$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>			
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>15 di 64</b>

## 7 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

### 7.1 PESO PROPRIO

I pesi propri strutturali sono calcolati in automatico dal programma di calcolo strutturale sulla base delle caratteristiche dei materiali utilizzati. Il peso specifico del calcestruzzo è assunto pari a  $25\text{kN/m}^3$ .

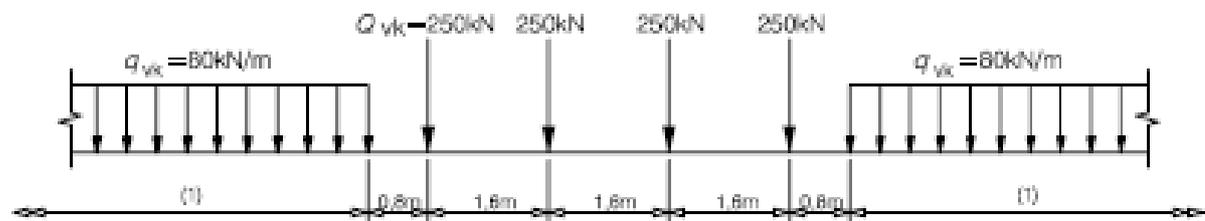
### 7.2 SOVRACCARICHI PERMANENTI

Sul solettone di fondazione si considera uno spessore di ricoprimento (escluso il ballast) di  $9.32\text{m}$  con  $\gamma_{\text{rint}} = 20.00\text{kN/m}^3$  ed uno spessore di ballast di  $0.80\text{m}$  con peso per unità di volume  $\gamma_b = 18.00\text{kN/m}^3$

$$\text{Carico in fondazione} = h_{\text{pieditto}} * \gamma_{\text{rinterito}} + \gamma_b * h_b = 200.8 \text{ kN/m}^2$$

### 7.3 SOVRACCARICHI FERROVIARI

Per la valutazione dell'entità dei carichi variabili da traffico ferroviario da considerare nel calcolo, si fa riferimento al modello di carico LM71 definito dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010 di cui allo schema seguente:



**Key**  
 ( $\infty$ ) No limitation

Figura 5 – LM71

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>			
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>16 di 64</b>

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

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

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60}$$

ovvero:

$$p = 156 \text{ KN/m}$$

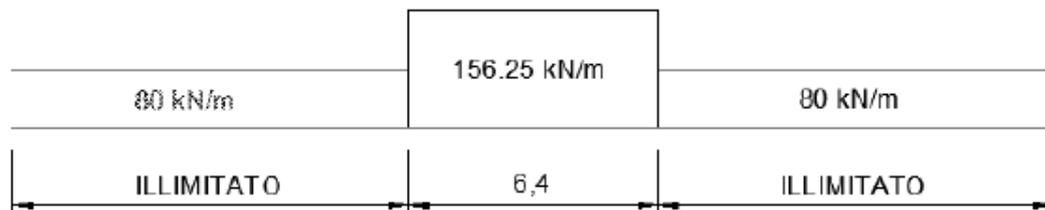


Figura 6 – Schema di carico quota pf

Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di 3.0 m (a 0.70 m dal piano del ferro) secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si ricava il carico equivalente di superficie agente alla quota della piattaforma ferroviaria su un'area complessiva di dimensioni 3,0mx6.40m.

$$p' = 156.25/3 = 52.08 \text{ KN /mq}$$

<b>APPALTATORE:</b> <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
<b>PROGETTISTA:</b> <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>			
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		<b>PROGETTO</b> <b>IF1M</b>	<b>LOTTO</b> <b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CODIFICA</b> <b>CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>RI.03.00.003</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>PAGINA</b> <b>17 di 64</b>

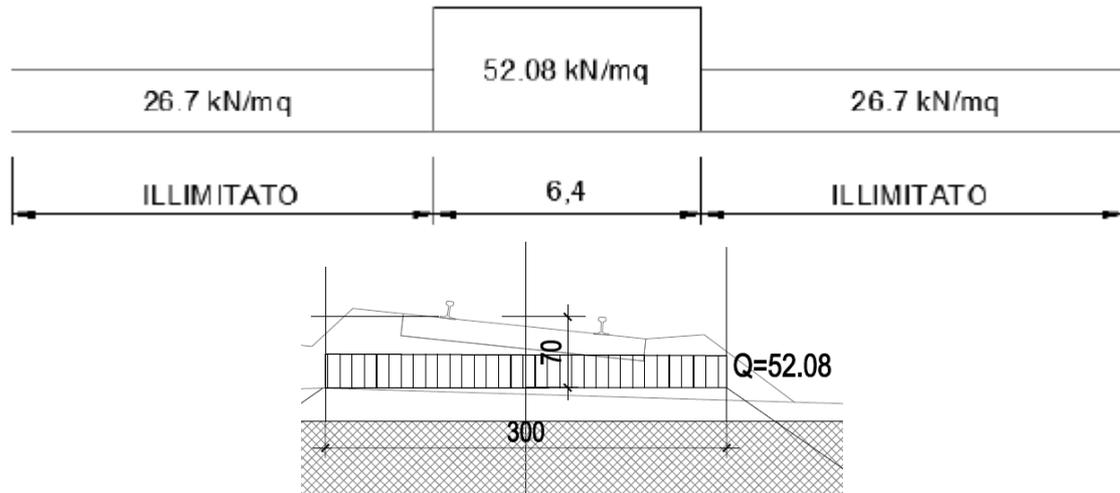


Figura 7 – Schema di carico per effetto della diffusione

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

Tabella 11

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

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

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>						
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>	PROGETTO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>18 di 64</b>

L'intervento sulla tratta in esame si inquadra come "ristrutturazione di una linea convenzionale a traffico misto" i cui parametri di prestazione, secondo la STI Infrastruttura, sono:

Parametri di prestazioni per il traffico passeggeri					
Codice traffico	di	Sagoma limite	Carico per asse [t]	Velocità della linea (km/h)	Lunghezza utile del marciapiede [m]
P4		GB	22,5	120-200	200-400
Parametri di prestazioni per il traffico merci					
Codice traffico	di	Sagoma limite	Carico per asse [t]	Velocità della linea (km/h)	Lunghezza del treno [m]
F2		GB	22,5	100-120	600-1050

Il corrispondente valore del coefficiente  $\alpha$  è pari ad 1.0 per cui, alle opere in esame, si applicano i seguenti carichi equivalenti a quota piattaforma (-0.70m da p.f.) e su una larghezza trasversale di 3.00m.

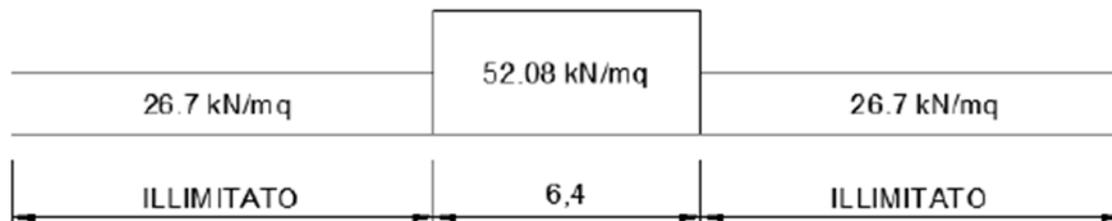


Figura 8 – Schema di carico per effetto della diffusione considerando  $\alpha$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. PAGINA <b>B 19 di 64</b>

Sulla scorta dell'entità e della distribuzione del sovraccarico accidentale agente a quota piattaforma ferroviaria, sono stati quindi valutati i corrispondenti valori delle azioni accidentali da considerare nei riguardi della verifica dei muro di sostegno ad U. In particolare, tale sovraccarico è stato applicato come una azione equivalente distribuita secondo quanto rappresentato nello schema grafico seguente:

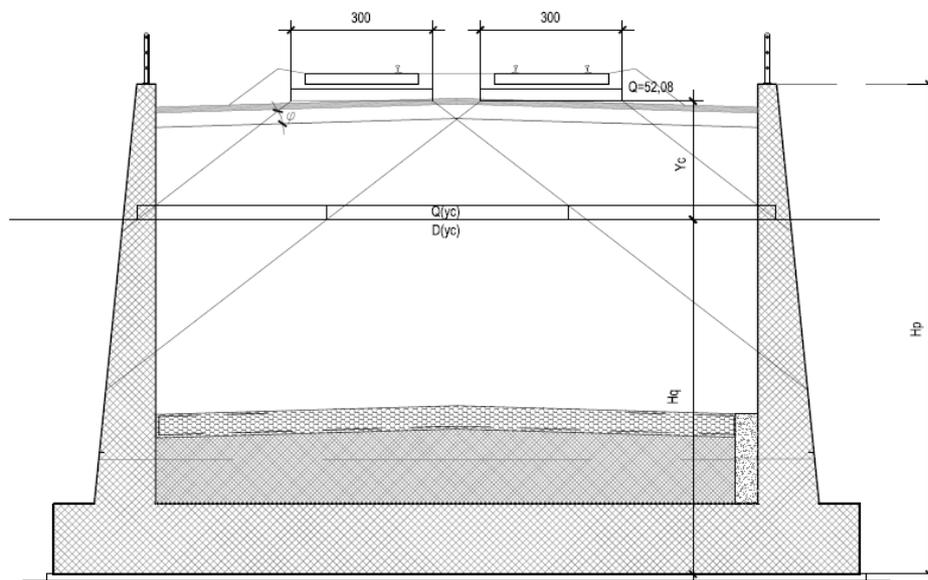


Figura 9: Schemi di Valutazione dei Sovraccarichi Variabili per la verifica dei piedritti

Nello specifico, considerando cautelativamente una diffusione dei carichi nel corpo del rilevato secondo l'angolo d'attrito del terreno, e detto  $Q_c$ , il valore convenzionale del sovraccarico accidentale da considerare sul piano limite del terrapieno a monte dell'opera di sostegno, risulta:

$$Q_c = Q(y_c) \times H_q / H_p$$

Con

$$Q(y_c) = 52.08 \times 3 / D(y_c)$$

Rimandando per le simbologie utilizzate a quanto rappresentato nei grafici precedenti

Per il caso in esame:

**VALUTAZIONE SOVRACCARICO ACCIDENTALE DI CALCOLO**



APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	21 di 64

Q c 15 kN/mq

## 7.4 AZIONE SISMICA

L'analisi in condizione sismica è eseguita con il metodo pseudo-statico, definendo l'azione sismica mediante una forza statica equivalente pari al prodotto delle masse per il coefficiente sismico. Ammettendo che il terreno di riporto sia ben costipato, si ipotizza che l'opera si muova insieme al terreno (§ 7.9.5.6.2 NTC). Di conseguenza il fattore di struttura  $q$  è posto pari ad 1 e per l'opera in esame, considerata non dissipativa, non si applicano i particolari costruttivi inerenti la duttilità degli elementi.

### Classificazione dei terreni

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, la valutazione dell'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, deve essere basata su studi specifici di risposta sismica locale esistenti nell'area di intervento. In mancanza di tali studi la normativa prevede la classificazione, riportata nella tabella seguente, basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_{s,30}$ , ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica (per terreni prevalentemente granulari), ovvero sulla coesione non drenata media  $c_u$  (per terreni prevalentemente coesivi).

Categoria di suolo di fondazione	Descrizione
Cat. A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
Cat. B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>22 di 64</b>

	graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s,30} > 800$ m/s)
Cat. S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
Cat. S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Si considera una **categoria C** di suolo di fondazione.

### Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale ( $V_N$ ), è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale delle infrastrutture ferroviarie può, di norma, assumersi come indicato nella seguente tabella.

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale (VN)
Opere nuove su infrastrutture ferroviarie progettate con le norme vigenti prima del DM14/1/2008 a velocità convenzionale $V < 250$ Km/h	50
Altre opere nuove a velocità $V < 250$ Km/h	75
Altre opere nuove a velocità $V > 250$ Km/h	100
Opere di grandi dimensioni: ponti e viadotti con campate di luce maggiore di 150 m	$\geq 100$

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale  $V_N = 75$  anni.

### Classi D'uso

Il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 prevede quattro categorie di classi d'uso riportate nel seguito:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe III o in Classe IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. PAGINA <b>B 23 di 64</b>

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

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade", e di tipo quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti o reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per l'opera in oggetto si considera una **Classe d'uso III**

### Amplificazione topografica

Per poter tenere conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella seguente tabella.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo con inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo con inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

Nel caso in esame  $S_T = 1$

### Amplificazione stratigrafica

I due coefficienti prima definiti,  $S_s$  e  $C_c$ , dipendono dalla categoria del sottosuolo come mostrato nel prospetto seguente.

Per i terreni di categoria A, entrambi i coefficienti sono pari a 1, mentre per le altre categorie i due coefficienti sono pari a:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>		
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. PAGINA
		IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B 24 di 64

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

Nel caso in esame (categoria di sottosuolo C) allo SLV risulta:

$$S_s = 1.38$$

$$C_c = 1.48$$

### Parametri sismici

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	68	0.072	2.345	0.324
SLD	113	0.092	2.351	0.335
SLV	1068	0.218	2.470	0.357
SLC	2193	0.269	2.560	0.359

Tabella 1: Valutazione dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  per i periodi di ritorno associati a ciascuno stato limite

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b> <u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>												
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b> <u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1M</td> <td>0.0.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>RI.03.00.003</td> <td>B</td> <td>25 di 64</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	25 di 64
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	25 di 64								

## 7.5 SPINTA DEL TERRENO

La spinta del terrapieno e degli eventuali carichi presenti sul piano limite dello stesso è valutata in condizione di equilibrio litostatica, distinguendo tra i due casi di fase statica e fase sismica.

Nel seguito si riportano le relative formulazioni.

### 7.5.1 Fase statica

Le spinte che il terreno esercita sui piedritti sono rappresentati come un'azione permanente non strutturale. L'entità di tale azione è stata valutata nel modo seguente:

$$\sigma'_h = \sigma'_v \cdot k_0 = \gamma' \cdot z \cdot k_0$$

ovvero nella condizione di spinta a riposo.

Il coefficiente di spinta è stato calcolato utilizzando la formula  $k_0 = 1 - \sin(\varphi')$ , assumendo come angolo d'attrito il valore di progetto:  $\phi_d = \arctan(\tan(38^\circ)/1,25) = 32^\circ$  per cui si ottiene il valore  $k_0 = 0,470$ . Il valore di  $k_0$  così ottenuto è adoperato anche per la valutazione della spinta nelle combinazioni M1 operando in tal modo a vantaggio di sicurezza.

Nella figura seguente si riporta il diagramma delle spinte del terreno agente sui piedritti.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>26 di 64</b>

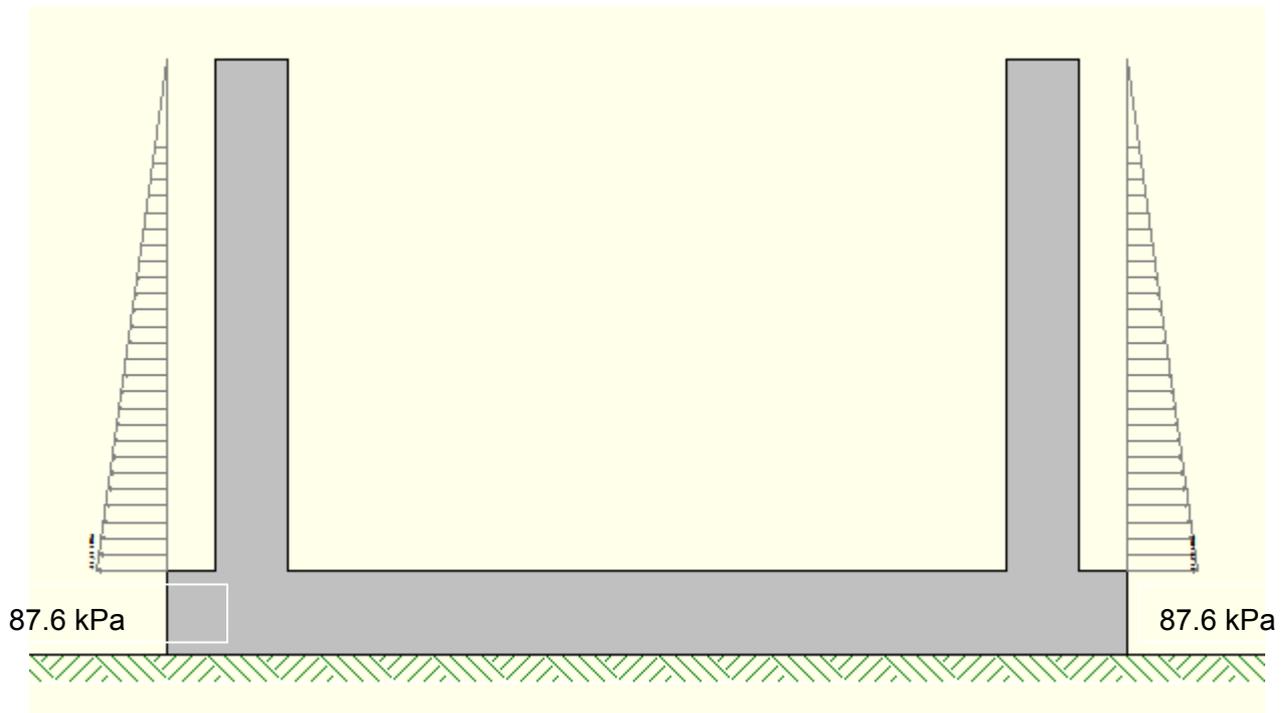


Figura 10 - Spinte del terreno

### 7.5.2 Fase sismica

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

$$\Delta P_d = \gamma \cdot k_h \cdot H^2$$

Da applicare ad una quota pari ad H/2 nel caso di muro impedito di traslare.

Nella formula:

$$k_h = \beta m \cdot a_g \cdot S$$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>27 di 64</b>

in cui:

$a_g$  è la massima accelerazione dello spettro orizzontale elastico del sito, calcolata per il 10% di probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR assegnato;

S è il coefficiente di sottosuolo pari al prodotto del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  e del coefficiente di amplificazione topografica ST (§ 3.2.3 delle NTC).

$\beta_m$  è pari ad 1 non essendo l'opera libera di traslare rispetto al terreno.

<b>Coefficiente <math>k_h</math> sismico spinta orizzontale: <math>\beta_m \cdot S_s \cdot S_T \cdot A_g / g</math></b>	<b><math>k_h</math></b>	<b>0.30</b>
---	-------------------------	-------------

Tale risultante, applicata ad un'altezza pari ad  $H/2$ , vale:

$$\Delta S_E = 0.30 \cdot 20 \cdot 9.3^2 = 518,94 \text{ kN/m}$$

Nella seguente figura si riporta la schematizzazione adottata per la modellazione della forza sismica:

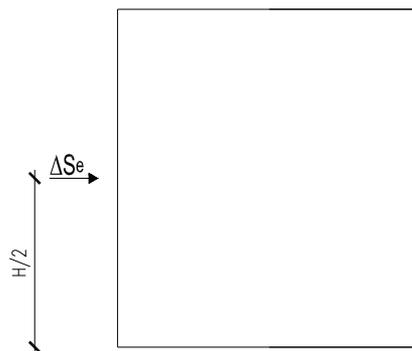


Figura 11 - Spinta sismica del terreno secondo la teoria di Wood

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	28 di 64

## 7.6 SPINTA SUI PIEDRITTI PRODOTTA DAI SOVRACCARICHI VARIABILI

Con riferimento alla valutazione delle spinte prodotte sui piedritti dal sovraccarico ferroviario, valutato come da paragrafo 7.3, si è previsto di applicare, in concomitanza ai carichi verticali sulla fondazione, anche dei carichi uniformi in direzione orizzontale secondo quanto riportato di seguito.

In particolare si è fatto riferimento a due condizioni di carico:

- caso 1) carico agente su un unico binario (denominato treno sx)
- -caso 2) entrambi i binari carichi (denominato Doppio treno)

Le pressioni orizzontali applicate sugli elementi piedritto, sono state dunque ottenute come segue:

caso 1)  $Q_h = Q \times k_0 = 15 \text{ kN/m}^2 \times 0,470 = 7,05 \text{ kN/m}^2$  agente solo sul piedritto sinistra;

caso 2)  $Q_h = Q \times k_0 = 15 \text{ kN/m}^2 \times 0,470 = 7,05 \text{ kN/m}^2$  agente su entrambi i piedritti;

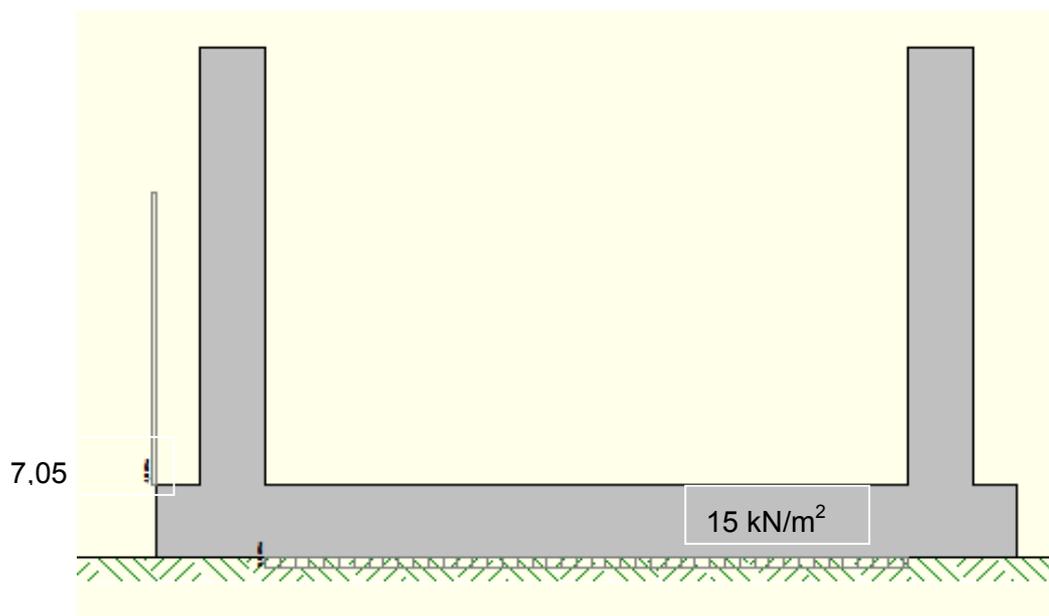


Figura 12 - Schema sovraccarico laterale (treno sx)

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 - MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>29 di 64</b>

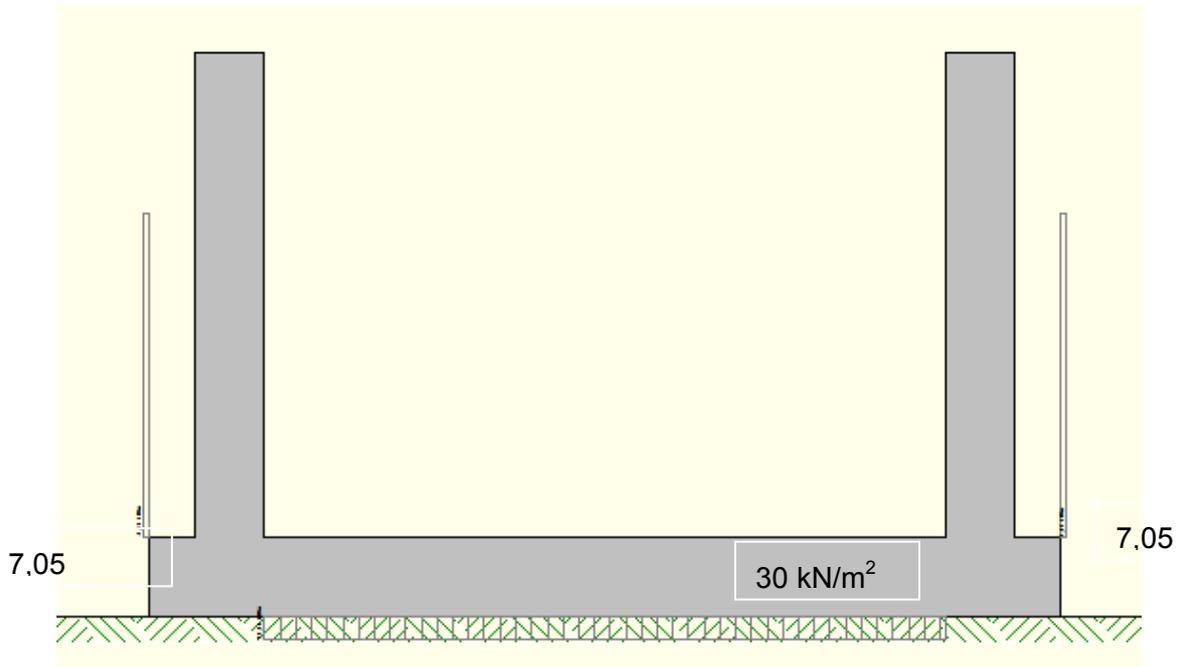


Figura 13 - Schema sovraccarico laterale (Doppio treno)

### 7.7 SPINTE DELLA FALDA

Assente

### 7.8 SOTTOSPINTA IDRAULICA SULLA SOLETTA DI FONDAZIONE

Assente

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. PAGINA <b>B 30 di 64</b>

## 7.9 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

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

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

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

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

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica a Fessurazione:

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine;

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

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

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

avendo indicato con  $E_Y$  e  $E_Z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

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

In particolare nel calcolo della struttura si è fatto riferimento alla combinazione Approccio 1 – Combinazione 1 per le verifiche strutturali ed Approccio 1 – Combinazione 2 per le verifiche geotecniche.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	31 di 64

Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_p$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

(1) Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

(2) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

(3) Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

(4) Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

(5) Aliquota di carico da traffico da considerare.

(6) 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

(7) 1,20 per effetti locali

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	32 di 64

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni.

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	$\sigma_1$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$\sigma_2$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	$\sigma_3$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$\sigma_4$	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	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI	
1	Peso proprio
2	Peso Rinterro
3	Spinta statica Rinterro
4	Treno sx
5	Doppio Treno
6	Spinta sismica Rinterro
7	Sisma destra

Tabella 1 – Riepilogo condizioni di carico

In definitiva per i vari casi di azioni variabili considerate nell'analisi dell'opera, sono stato assunti i seguenti coefficienti di partecipazione:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>33 di 64</b>

### Carichi Ferroviari (Treno sx )

$$\Psi_0 = 0.80 \quad \Psi_1 = 0.80 \quad \Psi_2 = 0.2$$

$$\Psi_0 = 0.80 \quad \Psi_1 = 0.60 \quad \Psi_2 = 0.0$$

In definitiva, sono state analizzate un totale di 14 Combinazioni di cui 6 riferite al Caso SLU statico, 4 sismiche ed 4 di SLE, secondo quando di seguito riportato:

Inoltre, si riportano le combinazioni di carico con i relativi coefficienti di combinazione  $\gamma \cdot \psi$ .

#### Combinazione n° 1 SLU (Caso A1-M1)

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Peso rinterro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Spinta statica rinterro (P.P)	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

#### Combinazione n° 2 SLU (Caso A2-M2)

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso rinterro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta statica rinterro (P.P)	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

#### Combinazione n° 3 SLU (Caso A1-M1)

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Peso rinterro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Spinta statica rinterro (P.P)	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
treno sx	Sfavorevole	1.45	1.00	1.45

#### Combinazione n° 4 SLU (Caso A2-M2)

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso rinterro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>34 di 64</b>

Spinta statica rinterro (P.P)	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
treno sx	Sfavorevole	1.25	1.00	1.25

#### Combinazione n° 5 SLU (Caso A1-M1)

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Peso rinterro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Spinta statica rinterro (P.P)	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Doppio Treno	Sfavorevole	1.45	1.00	1.45

#### Combinazione n° 6 SLU (Caso A2-M2)

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso rinterro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta statica rinterro (P.P)	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Doppio Treno	Sfavorevole	1.25	1.00	1.25

#### Combinazione n° 7 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso rinterro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta statica rinterro (P.P)	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta sismica (P.P)	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
treno sx	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

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

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso rinterro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta statica rinterro (P.P)	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta sismica (P.P)	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
treno sx	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20



APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>36 di 64</b>

### Combinazione n° 13 SLE (Frequente)

	<b>Effetto</b>	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso rinterro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta statica rinterro (P.P)	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Doppio Treno	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

### Combinazione n° 14 SLE (Rara)

	<b>Effetto</b>	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso rinterro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta statica rinterro (P.P)	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Doppio Treno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>			
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	37 di 64

## 8 CRITERI DI VERIFICA

Si espongono di seguito i criteri di verifica adottati per le verifiche degli elementi strutturali.

### 8.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

#### 8.1.1 Verifica a fessurazione

Con riferimento alle classi di esposizione delle varie parti della struttura (si veda il paragrafo relativo alle caratteristiche dei materiali impiegati), alle corrispondenti condizioni ambientali ed alla sensibilità delle armature alla corrosione (armature sensibili per gli acciai da precompresso; poco sensibili per gli acciai ordinari), si individua lo stato limite di fessurazione per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture, in accordo con il DM 14.1.2008:

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

Tabella 2: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione - Tabella 4.1.IV del DM 14.1.2008

Nella Tabella sopra riportata,  $w_1=0.2\text{mm}$ ,  $w_2=0.3\text{mm}$ ;  $w_3=0.4\text{mm}$ .

Si assume per tutti gli elementi strutturali analizzati nel presente documento:

- **Stato limite di fessurazione:  $w_d \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$  - combinazione di carico rara**

In accordo con la vigente normativa, il valore di calcolo di apertura delle fessure  $w_d$  è dato da:

$$w_d = 1,7 w_m$$

dove  $w_m$  rappresenta l'ampiezza media delle fessure calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura  $\epsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U	PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI.03.00.003	REV. B	PAGINA 38 di 64

$$W_m = \varepsilon_{sm} \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di  $\varepsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati i criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

### 8.1.2 Verifica delle tensioni in esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si verifica che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti, di seguito riportati.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,55 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_c < 0,40 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.}$$

Per l'acciaio ordinario, la tensione massima  $\sigma_s$  per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,75 f_{yk}$$

dove  $f_{yk}$  per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

## 8.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

### 8.2.1 Sollecitazioni flettenti

La verifica di resistenza (SLU) è stata condotta attraverso il calcolo dei domini di interazione N-M, ovvero il luogo dei punti rappresentativi di sollecitazioni che portano in crisi la sezione di verifica secondo i criteri di resistenza da normativa.

Nel calcolo dei domini sono state mantenute le consuete ipotesi, tra cui:

- conservazione delle sezioni piane;
- legame costitutivo del calcestruzzo parabolo-rettangolo non reagente a trazione, con plateau ad una deformazione pari a 0.002 e a rottura pari a 0.0035 ( $\sigma_{max} = 0.85 \times 0.83 \times R_{ck} / 1.5$ );

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U	PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI.03.00.003	REV. B	PAGINA 39 di 64

- legame costitutivo dell'armatura d'acciaio elastico–perfettamente plastico con deformazione limite di rottura a 0.01 ( $\sigma_{max} = f_{yk} / 1.15$ )

### 8.2.2 Sollecitazioni taglianti

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi sprovvisti di specifica armatura è stata calcolata sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

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

con:

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

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

e dove:

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

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \times d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

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

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

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" è stata calcolata con:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. PAGINA <b>B 40 di 64</b>

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

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" è stata calcolata con:

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

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

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

In cui:

- d** è l'altezza utile della sezione;
- b<sub>w</sub>** è la larghezza minima della sezione;
- σ<sub>cp</sub>** è la tensione media di compressione della sezione;
- A<sub>sw</sub>** è l'area dell'armatura trasversale;
- S** è interasse tra due armature trasversali consecutive;
- θ** è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
- f'<sub>cd</sub>** è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima (f'<sub>cd</sub>=0.5f<sub>cd</sub>);
- α** è un coefficiente maggiorativo, pari ad 1 per membrature non compresse.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. PAGINA <b>B 41 di 64</b>

## 9 MODELLO DI CALCOLO

L'analisi delle opere viene effettuata con riferimento ad una fascia di larghezza pari a 1.0 m. Il modello di calcolo è realizzato mediante il software commerciale *Straus 7.2.4*. La modellazione è stata effettuata mediante un insieme di aste.

L'opera è stata considerata vincolata alla base mediante dei vincoli cedevoli in funzione delle caratteristiche elastiche del terreno di sottofondo, per il quale è stata considerata una costante di sottofondo come descritto al § 6.2.

$$K_s = 9050 \text{ kN/m}^3$$

Di seguito è riportata una vista del modello di calcolo analizzato.



Figura 14 - Modello F.E.M

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b> <u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b> <b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>42 di 64</b>

## 10 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Di seguito è riportato l'involuppo delle sollecitazioni flettenti e taglianti dello stato limite ultimo. Le unità di misura adottate nei diagrammi seguenti sono kN–m.

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-5278	4727
	[Bm:11]	[Bm:15]

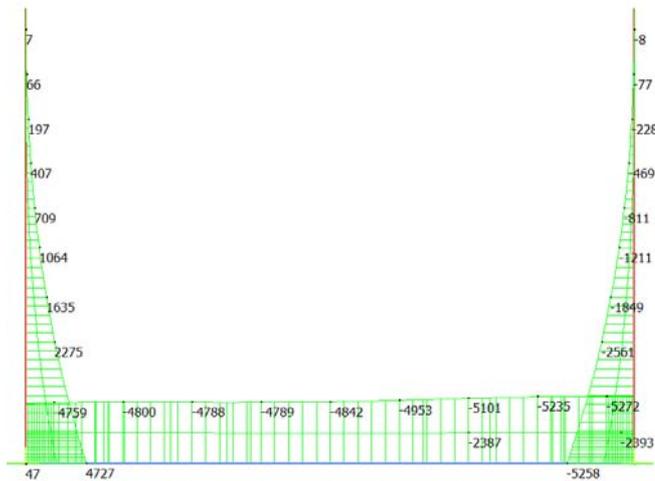


Figura 15 – Involuppo SLU/Sisma: Momenti flettenti

	MIN	MAX
SF2(kN)	-1017	1114
	[Bm:15]	[Bm:29]

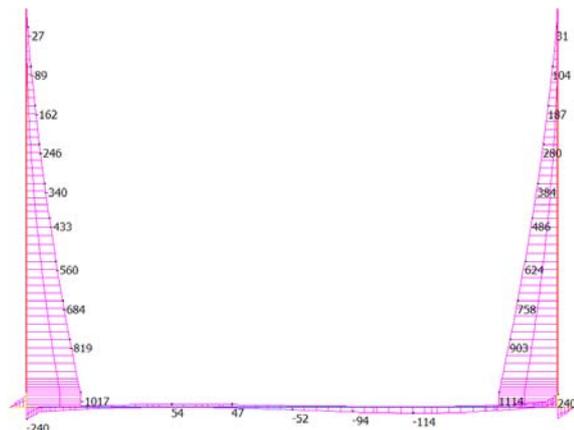


Figura 16 – Involuppo SLU/Sisma: sollecitazioni taglianti

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>43 di 64</b>

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-2146	2070
	[8m:5]	[8m:15]

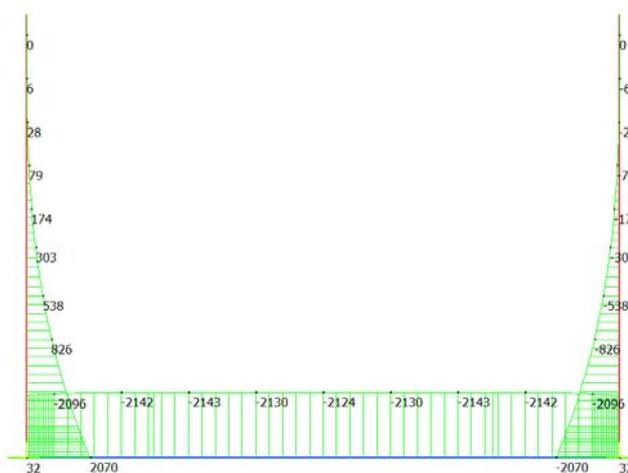


Figura 17 – SLE Rara: Momenti flettenti

Si riportano a seguire le sollecitazioni dimensionanti di verifica per il piedritto e la fondazione.

SEZIONE PIEDTRITTO 100x130

Msd\_SLE = 1865 kNm (Nsl\_Q = 325kN)

Msd\_SLU = 4835 KNm (Nslu\_Q = 325kN)

Tsd\_SLU = 1114 KN

SEZIONE FONDAZIONE 100x150

Msd\_SLE = 2146 kNm

Msd\_SLU = 5278 KNm

Tsd\_SLU = 114 KNm

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>44 di 64</b>

## 11 VERIFICHE STRUTTURALI

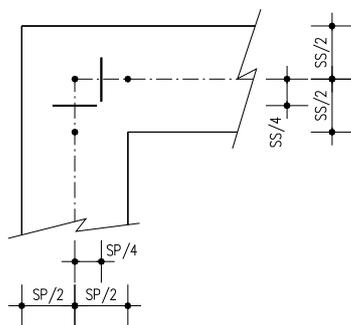
Si riassumono di seguito i risultati delle verifiche, relative all'involuppo delle combinazioni di carico.

Nelle verifiche della soletta di fondazione, cautelativamente, non si è tenuto in conto del contributo dello sforzo normale.

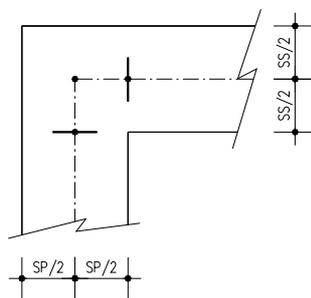
Le verifiche a flessione in corrispondenza dei nodi tra seti adiacenti sono effettuate rispettivamente:

- nella sezione ubicata a metà fra asse piedritto e sezione d'attacco piedritto-soletta nel caso delle verifiche della soletta;
- nella sezione ubicata a metà fra asse soletta e sezione d'attacco del piedritto nel caso delle verifiche del piedritto.

Le verifiche a fessurazione e a taglio sono eseguite nelle sezioni di attacco soletta-piedritto.



VERIFICHE A FLESSIONE



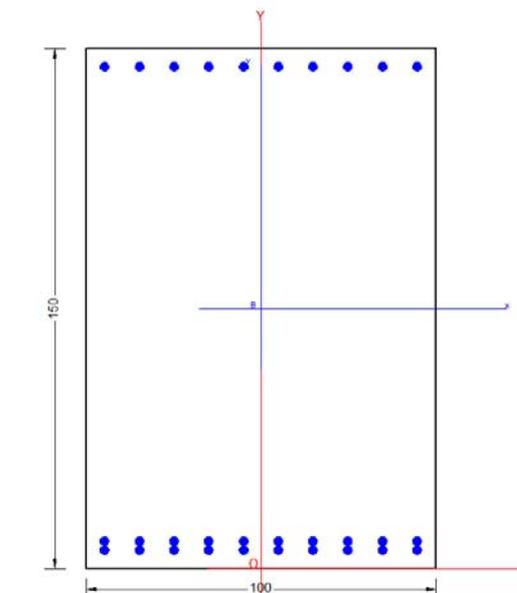
VERIFICHE A FESSURAZIONE E TAGLIO

Si riporta di seguito l'armatura prevista per gli elementi strutturali in esame

Paramento	lato terra	1+1 $\phi$ 26/10
	lato scavo	1 $\phi$ 26/10
	staffe	1 $\phi$ 12/20x40
Fondazione	superiore	1+1 $\phi$ 26/10
	inferiore	1 $\phi$ 26/10
	staffe	1 $\phi$ 12/20x40

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>  <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	45 di 64

## 11.1 FONDAZIONE



### - CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

-			
-			
-		Forma del Dominio:	Poligonale
-		Classe Conglomerato:	C32/40
-			
-	N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
-	1	-50.0	0.0
-	2	-50.0	150.0
-	3	50.0	150.0
-	4	50.0	0.0

### - DATI BARRE ISOLATE

-				
-				
-	N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
-	1	-44.7	5.3	26
-	2	-44.7	144.7	26
-	3	44.7	144.7	26
-	4	44.7	5.3	26
-	5	-44.7	7.9	26
-	6	44.7	7.9	26

### - DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

-		
-		
-	N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
-	N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 - MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA				
		<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>RI.03.00.003</b>	<b>B</b>	<b>46 di 64</b>				

- N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
- N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
- Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	26
2	5	6	8	26
3	2	3	8	26

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	5278.00	0.00	0.00	0.00

#### COMB. RARA (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	2146.00 (1693.13)	0.00 (0.00)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.3 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 - MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>				PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA		
				<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>RI.03.00.003</b>	<b>B</b>	<b>47 di 64</b>		

As Tesa Area armature [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa										
N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa	
1	S	0.00	5320.73	0.00	0.00	5730.24	0.00	1.086	106.2(25.9)	

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata											
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]											
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)											
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]											
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)											
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre											
As eff. Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure											
D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure											
Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2											
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	5.29	50.0	150.0	-157.9	-14.9	5.3	2350	106.2	2.6	1.00

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm											
Ver. Esito della verifica											
S1 Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata											
S2 Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata											
k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata											
k3 = 0.125 per flessione e presso-flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica											
Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff											
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa											
Psi = 1-Beta12*(Ssr/Ss) <sup>2</sup> = 1-Beta12*(fctm/S2) <sup>2</sup> = 1-Beta12*(Mfess/M) <sup>2</sup>											
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = 0.4*Ss/Es è tra parentesi											
srm Distanza media tra le fessure [mm]											
wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = 1.7 * e sm * srm . Valore limite tra parentesi											
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]											
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]											
Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess My fess
1	S	-3.9	0	0.125	26	40	0.3780.00032	(0.00032)	114	0.061	(0.20) 1693.13 0.00

APPALTATORE: Mandatario: <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b> Mandante: <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014												
PROGETTISTA: Mandatario: <b>SYSTRA S.A.</b> Mandante: <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 - MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	<table border="1"> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAGINA</th> </tr> <tr> <td>IF1M</td> <td>0.0.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>RI.03.00.003</td> <td>B</td> <td>48 di 64</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	48 di 64
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	48 di 64								

<b>SEZIONE</b>					
b <sub>w</sub>	=	100	cm		
h	=	150	cm		
c	=	5.3	cm		
d	=	h-c	=	144.7	cm
<b>MATERIALI</b>					
f <sub>ywd</sub>	=	391.30	MPa		
R <sub>ck</sub>	=	40	MPa		
γ <sub>c</sub>	=	1.5			
f <sub>ck</sub>	=	0.83xR <sub>ck</sub>	=	33.2	MPa
f <sub>cd</sub>	=	0.85xf <sub>ck</sub> /γ <sub>c</sub>	=	18.81	MPa
<b>ARMATURE A TAGLIO</b>					
ø <sub>st</sub>	=	12			
braccia	=	2.5			
ø <sub>st2</sub>	=	0			
braccia	=	0			
passo	=	20	cm		
(A <sub>sw</sub> / s)	=	14.137	cm <sup>2</sup> / m		
α	=	90	°	(90° staffe verticali)	
<b>ARMATURE LONGITUDINALI</b>					
ø <sub>l</sub>	=	26			
Numero	=	10			
A <sub>sl</sub>	=	53.093	cm <sup>2</sup>		
<b>TAGLIO AGENTE</b>		V <sub>Ed</sub> =	115	(KN)	
<b>SFORZO NORMALE</b>		N <sub>Ed</sub> =	0	(KN)	
		α <sub>c</sub> =	1.0000		

<b>ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO</b>	
Calcolo di cot θ	
cot(θ) =	4.00
θ =	14.03 °

<b>IPOTESI 2</b>	cot ϕ > 2,5	Si assume	ϕ = 21,8°
<b>Armatura trasversale</b>			
V <sub>Rsd</sub> =	1801.06 (KN)	$0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$	
V <sub>Rcd</sub> =	4224.24 (KN)	$0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta)$	
V <sub>Rd</sub> =	1801 (KN)	min(V <sub>Rsd</sub> , V <sub>Rcd</sub> )	



APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA				
		<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>RI.03.00.003</b>	<b>B</b>	<b>50 di 64</b>				

- N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
- N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
- N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
- Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	26
2	5	6	8	26
3	2	3	8	26

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	325.00	4835.00	0.00	0.00	0.00

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N°Comb.	N	Mx	My
1	325.00	1865.00 (1380.95)	0.00 (0.00)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.3 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 - MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA				
		<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>RI.03.00.003</b>	<b>B</b>	<b>51 di 64</b>				

Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$

As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	325.00	4698.41	-12.56	324.77	5070.67	0.00	1.049	-----

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata

Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]

Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)

Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]

Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)

Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre

As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure

Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	6.06	-50.0	130.0	-147.8	5.0	5.3	2350	106.2	2.6	1.00

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver. Esito della verifica

S1 Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata

S2 Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata

k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata

k3 = 0.125 per flessione e presso-flessione;  $= (e1 + e2) / (2 * e1)$  per trazione eccentrica

Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff

Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

Psi  $= 1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$

e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4 * Ss/Es$  è tra parentesi

srm Distanza media tra le fessure [mm]

wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e * srm$ . Valore limite tra parentesi

MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]

MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess	
1	S	-4.2	0	0.125	26	40	0.4520.00033	(0.00030)	114	0.065	(0.20)	1380.95	0.00

APPALTATORE: Mandatario: <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b> Mandante: <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>												
PROGETTISTA: Mandatario: <b>SYSTRA S.A.</b> Mandante: <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 - MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	<table border="1"> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAGINA</th> </tr> <tr> <td>IF1M</td> <td>0.0.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>RI.03.00.003</td> <td>B</td> <td>52 di 64</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	52 di 64
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	52 di 64								

<b>SEZIONE</b>					
b <sub>w</sub>	=	100	cm		
h	=	130	cm		
c	=	5.3	cm		
d	=	h-c	=	124.7	cm
<b>MATERIALI</b>					
f <sub>ywd</sub>	=	391.30	MPa		
R <sub>ck</sub>	=	40	MPa		
γ <sub>c</sub>	=	1.5			
f <sub>ck</sub>	=	0.83xR <sub>ck</sub>	=	33.2	MPa
f <sub>cd</sub>	=	0.85xf <sub>ck</sub> /γ <sub>c</sub>	=	18.81	MPa
<b>ARMATURE A TAGLIO</b>					
ø <sub>st</sub>	=	12			
braccia	=	2.5			
ø <sub>st2</sub>	=	0			
braccia	=	0			
passo	=	20	cm		
(A <sub>sw</sub> / s)	=	14.137	cm <sup>2</sup> / m		
α	=	90	°	(90° staffe verticali)	
<b>ARMATURE LONGITUDINALI</b>					
ø <sub>l</sub>	=	26			
Numero	=	10			
A <sub>sl</sub>	=	53.093	cm <sup>2</sup>		
<b>TAGLIO AGENTE</b>		V <sub>Ed</sub> =	1115	(KN)	
<b>SFORZO NORMALE</b>		N <sub>ed</sub> =	0	(KN)	
		α <sub>c</sub> =	1.0000		

<b>ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO</b>					
Calcolo di cot θ					
cot(θ) =		4.00			
θ =		14.03 °			
<b>IPOTESI 2</b>		cot ψ > 2,5	Si assume	ψ = 21,8°	
Armatura trasversale					
V <sub>Rsd</sub> =	1552.12 (KN)	$0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$			
V <sub>Rcd</sub> =	3640.38 (KN)	$0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta)$			
V <sub>Rd</sub> =	1552 (KN)	min(V <sub>Rsd</sub> , V <sub>Rcd</sub> )			

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>53 di 64</b>

## 12 VERIFICHE GEOTECNICHE

Il terreno di fondazione deve essere in grado di sopportare il carico che gli viene trasmesso dalle strutture sovrastanti senza che si verifichi rottura e senza che i cedimenti della struttura siano eccessivi.

### 12.1 VERIFICA A CARICO LIMITE

Per la valutazione del carico limite delle fondazioni dirette si utilizza il criterio di Brinch-Hansen di cui nel seguito si riporta la relativa trattazione teorica:

Dette:

- c      Coesione
- ca     Adesione lungo la base della fondazione ( $ca \leq c$ )
- V      Azione tagliante
- $\varphi$      Angolo d'attrito
- $\delta$      Angolo di attrito terreno fondazione
- $\gamma$      Peso specifico del terreno
- Kp     Coefficiente di spinta passiva espresso da  $Kp = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$
- B      Larghezza della fondazione
- L      Lunghezza della fondazione
- D      Profondità del piano di posa della fondazione
- $\eta$      inclinazione piano posa della fondazione
- P      Pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione
- qult    Carico ultimo della fondazione

Risulta:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.			IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014	
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U		PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI.03.00.003	REV. B	PAGINA 54 di 64

### Caso generale

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

### Caso di terreno puramente coesivo $\phi = 0$

$$q_{ult} = 5.14 \cdot c \cdot (1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + q$$

in cui  $d_c$ ,  $d_q$  e  $d_\gamma$  sono i fattori di profondità,  $s_c$ ,  $s_q$  e  $s_\gamma$  sono i fattori di forma,  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono i fattori di inclinazione del carico,  $b_c$ ,  $b_q$  e  $b_\gamma$  sono i fattori di inclinazione del piano di posa e  $g_c$ ,  $g_q$  e  $g_\gamma$  sono fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  sono espressi come:

$$N_q = K_p e^{\pi \cdot \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \tan \phi$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi$$

### Fattori di forma

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$s_c = 0.2 \frac{B}{L}$	$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$
	$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$
	$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$

### Fattori di profondità

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \arctg \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} > 1$$

### Fattori inclinazione del carico

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U		PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI.03.00.003	REV. PAGINA B 55 di 64

Indicando con V e H le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con Af l'area efficace della fondazione ottenuta come  $A_f = B \cdot L'$  (B' e L' sono legate alle dimensioni effettive della fondazione B, L e all'eccentricità del carico eB, eL dalle relazioni  $B' = B - 2e_B$   $L' = L - 2e_L$ ) con  $\eta$  l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ( $\eta=0$  per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$	
$i_c = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}} \right)$	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$	
	$i_q = \left( 1 - \frac{0.5H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5$	
	Per $\eta = 0$	$i_\gamma = \left( 1 - \frac{0.7H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5$
	Per $\eta > 0$	$i_\gamma = \left( 1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ)H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5$

#### Fattori inclinazione del piano di posa della fondazione

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$b_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$	$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$
	$b_q = e^{-2\eta \phi}$
	$b_\gamma = e^{-2.7\eta \phi}$

#### Fattori di inclinazione del terreno

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$	$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$
	$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5tg\beta)^\beta$

Per poter applicare la formula di Hansen devono risultare verificate le seguenti condizioni:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>  <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	56 di 64

$$H < V \operatorname{tg}(\delta) + A_f \operatorname{ca}$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_q, i_\gamma > 0$$

$$\beta + \eta \leq 90^\circ$$

Le sollecitazioni massime trasmesse al terreno nell'involuppo delle combinazioni A1 - A2 e sismiche sono riportate di seguito.

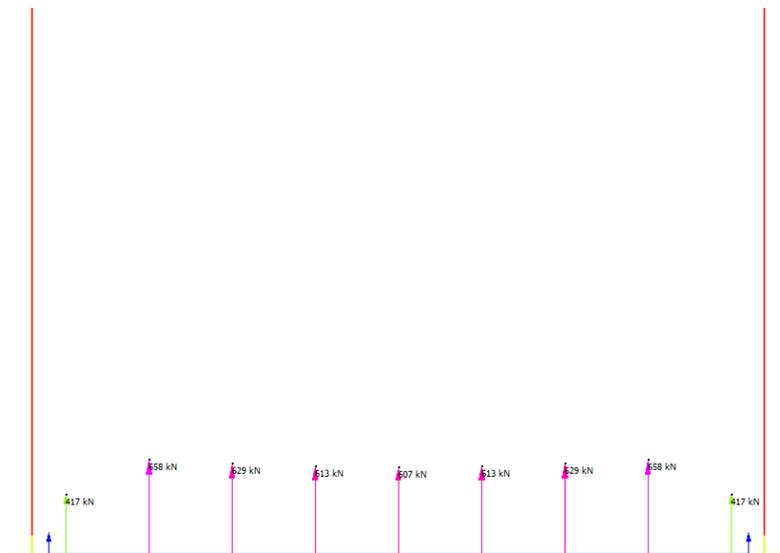
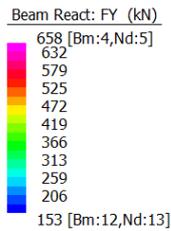


Figura 18 – Sollecitazioni trasmesse al terreno (Involuppo Combinazioni A1)

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>  <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>												
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b> <u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b> <b>ROCKSOIL S.p.A.</b>														
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1M</td> <td>0.0.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>RI.03.00.003</td> <td>B</td> <td>57 di 64</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	57 di 64
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA									
IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	57 di 64									

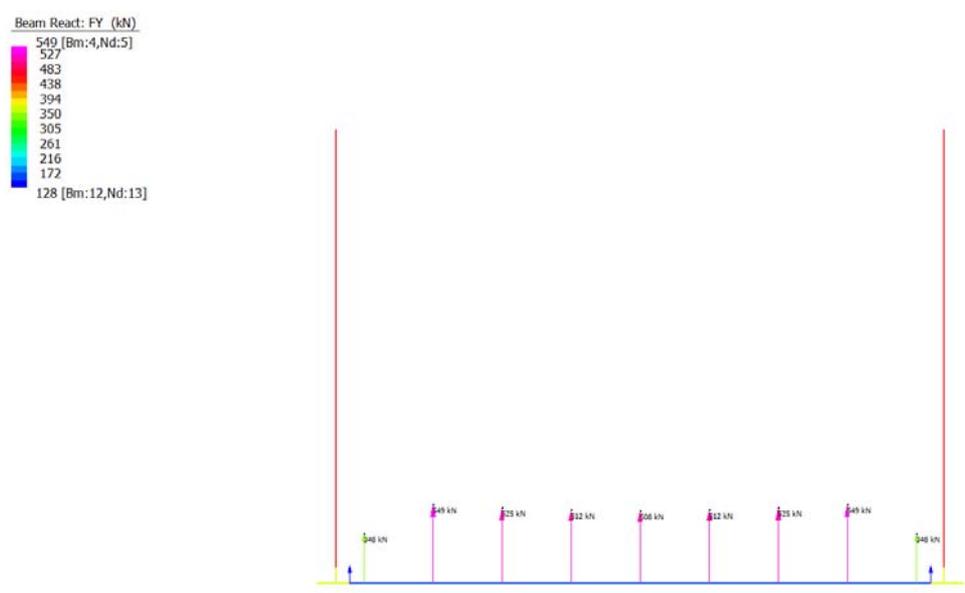


Figura 19 – Sollecitazioni trasmesse al terreno (Inviluppo Combinazioni A2)

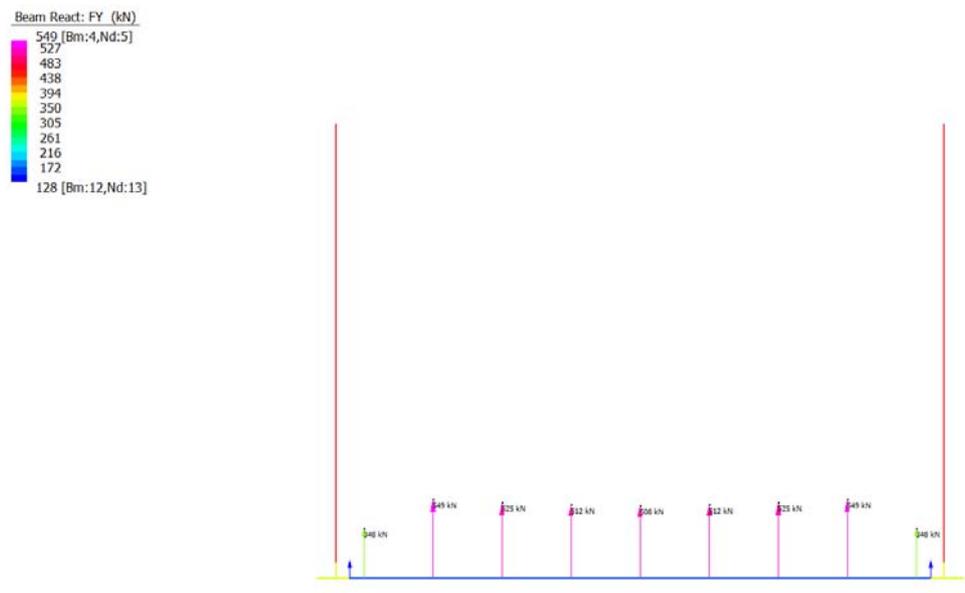


Figura 20 – Sollecitazioni trasmesse al terreno (Inviluppo Combinazioni sismiche)

Di seguito sono riportati i risultati delle verifiche di portanza. Le analisi sono state svolte per una lunghezza della fondazione di lunghezza paria 10.00m.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>			
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>58 di 64</b>

#### Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ]	N [kN]
- 1	- A1+M1+R1	- 0.00	- 61410.00
- 2	- A2+M2+R2	- 0.00	- 51280.00
- 3	- Sisma	- 0.00	- 44980.00

- CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A2+M2+R2
- Autore: HANSEN (1970)

- Carico limite [Qult] 865.72 kN/m<sup>2</sup>
- Resistenza di progetto[Rd] 480.96 kN/m<sup>2</sup>
- Tensione [Ed] 301.65 kN/m<sup>2</sup>
- Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 2.87
- Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

- COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)
- Costante di Winkler 34628.77 kN/m<sup>3</sup>

#### - **A1+M1+R1**

- Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

- 
- Fattore [Nq] 18.4
  - Fattore [Nc] 30.14
  - Fattore [Ng] 15.07
  - Fattore forma [Sc] 2.04
  - Fattore profondità [Dc] 1.05
  - Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0
  - Fattore inclinazione pendio [Gc] 1.0
  - Fattore inclinazione base [Bc] 1.0
  - Fattore forma [Sq] 1.98
  - Fattore profondità [Dq] 1.03
  - Fattore inclinazione carichi [Iq] 1.0
  - Fattore inclinazione pendio [Gq] 1.0
  - Fattore inclinazione base [Bq] 1.0
  - Fattore forma [Sg] 0.32
  - Fattore profondità [Dg] 1.0
  - Fattore inclinazione carichi [Ig] 1.0
  - Fattore inclinazione pendio [Gg] 1.0
  - Fattore inclinazione base [Bg] 1.0
  - Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1.0
  - Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1.0
  - Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0

- 
- Carico limite 1778.43 kN/m<sup>2</sup>

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>  <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	59 di 64

- Resistenza di progetto 1778.43 kN/m<sup>2</sup>

- Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

- **A2+M2+R2**

- Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

- Fattore [Nq] 10.43

- Fattore [Nc] 20.42

- Fattore [Ng] 6.53

- Fattore forma [Sc] 1.87

- Fattore profondità [Dc] 1.05

- Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0

- Fattore inclinazione pendio [Gc] 1.0

- Fattore inclinazione base [Bc] 1.0

- Fattore forma [Sq] 1.79

- Fattore profondità [Dq] 1.04

- Fattore inclinazione carichi [Iq] 1.0

- Fattore inclinazione pendio [Gq] 1.0

- Fattore inclinazione base [Bq] 1.0

- Fattore forma [Sg] 0.32

- Fattore profondità [Dg] 1.0

- Fattore inclinazione carichi [Ig] 1.0

- Fattore inclinazione pendio [Gg] 1.0

- Fattore inclinazione base [Bg] 1.0

- Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1.0

- Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1.0

- Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0

- Carico limite 865.72 kN/m<sup>2</sup>

- Resistenza di progetto 480.96 kN/m<sup>2</sup>

- Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

- **Sisma**

- Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

- Fattore [Nq] 10.43

- Fattore [Nc] 20.42

- Fattore [Ng] 6.53

- Fattore forma [Sc] 1.87

- Fattore profondità [Dc] 1.05

- Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0

- Fattore inclinazione pendio [Gc] 1.0

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>			
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	60 di 64

- Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
- Fattore forma [Sq]	1.79
- Fattore profondità [Dq]	1.04
- Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
- Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
- Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
- Fattore forma [Sg]	0.32
- Fattore profondità [Dg]	1.0
- Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
- Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
- Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
- Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
- Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
- Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0
=====	
- Carico limite	865.72 kN/m <sup>2</sup>
- Resistenza di progetto	480.96 kN/m <sup>2</sup>
-	
- Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
=====	

## 12.2 VERIFICHE A SCORRIMENTO

La verifica allo scorrimento sul piano di posa della Fondazione è condotta rispetto alle combinazioni di SLU del gruppo A2-M2-R2 in condizione statica e 1-M2-R2 in condizione sismica; in particolare è stato verificato il rispetto della seguente condizione:

$$F_s = (c' \times B + N_x \tan \mu) / H > 1.0$$

Dove:

N = Risultante delle azioni ortogonali al piano di scorrimento

H = Risultante delle azioni parallele al piano di scorrimento

c' = coesione efficace, posta generalmente pari a zero, salvo particolari condizioni che ne consentano di tenerne conto.

B = Dimensione della Fondazione sul piano di scorrimento.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014					
PROGETTO ESECUTIVO RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	
	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	61 di 64	

$\mu$  = Coefficiente di attrito fondazione - terreno , posto pari a  $\varphi$

**Non significativa per l'opera in oggetto.**

### 12.3 Verifiche a ribaltamento

La verifica al ribaltamento rispetto al vertice esterno della fondazione è viene trattata secondo la normativa come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), utilizzando i relativi coefficienti sulle azioni di cui alla tabella 2.6.I delle NTC, adoperando i coefficienti parziali del gruppo (M2) per il calcolo delle spinte.

Nella fattispecie, per ciascuna delle combinazioni di Verifica allo SLU statico e sismico rispetto alle quali è prescritta la verifica al ribaltamento, è stata verificata il rispetto della seguente condizione:

$$FS = \frac{M_{STA}}{M_{RIB}} \geq F_{S_{\min}}$$

essendo

$M_{RIB}$  = Risultante momenti ribaltanti

$M_{STA}$  = Risultante momenti stabilizzanti

**Non significativa per l'opera in oggetto.**

### 12.4 Verifiche dei cedimenti

Si riporta la configurazione deformata con i valori degli spostamenti verticali ottenuti considerando il modello di carico LM71 con il relativo incremento dinamico e con il coefficiente  $\alpha$ .

<b>APPALTATORE:</b> <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
<b>PROGETTISTA:</b> <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>			
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR. 9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>		<b>PROGETTO</b> <b>IF1M</b>	<b>LOTTO</b> <b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CODIFICA</b> <b>CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>RI.03.00.003</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>PAGINA</b> <b>62 di 64</b>

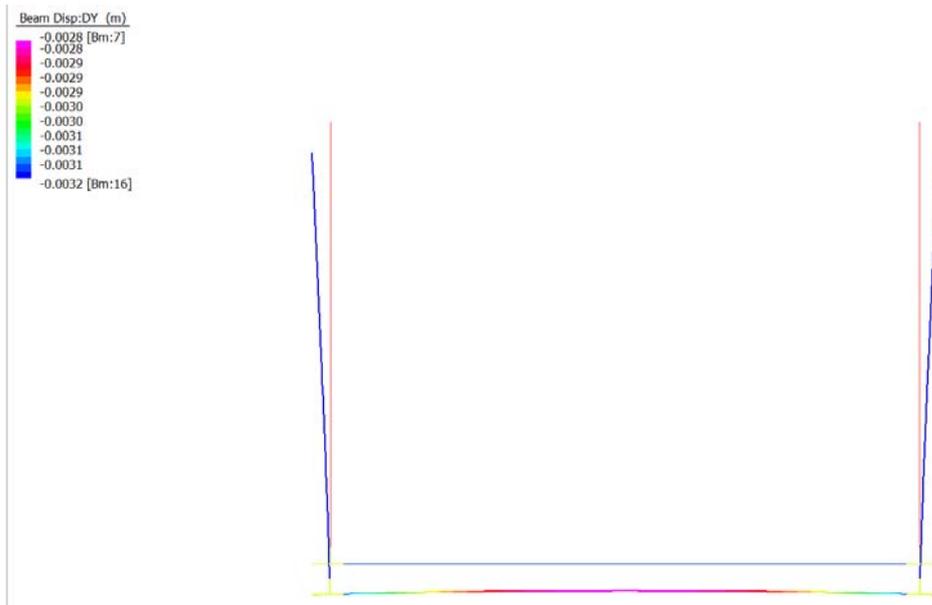


Figura 21 – Deformata (Carico accidentale)

Si riporta la configurazione deformata con i valori degli spostamenti verticali relativi alla combinazione SLE Rara. Il massimo spostamento relativo risulta inferiore al centimetro.

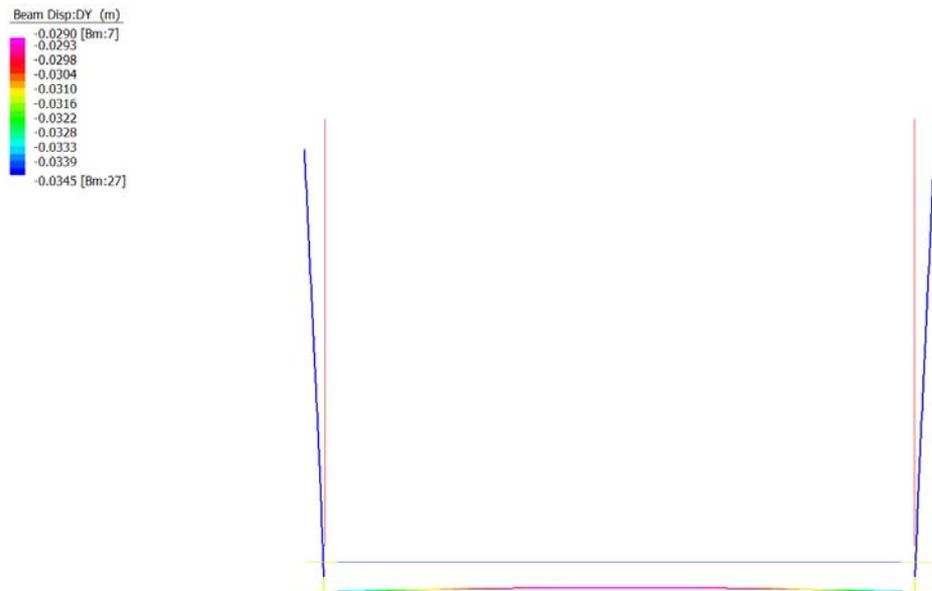


Figura 22 – Deformata (SLE Rara)

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b> <u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>  <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>												
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b> <u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>PAGINA</td> </tr> <tr> <td>IF1M</td> <td>0.0.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>RI.03.00.003</td> <td>B</td> <td>63 di 64</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	63 di 64
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
IF1M	0.0.E.ZZ	CL	RI.03.00.003	B	63 di 64								

### 13 INCIDENZE

Di seguito si esplicita l'incidenza relativa all'opera di sostegno in esame:

	Elemento	Spessore [m]	Armatura longitudinale				Armatura trasversale				Spilli				Sommano [kg]	Incidenza di progetto [kg/m <sup>3</sup> ]
			Lato	Diametro [mm]	N°	Peso [kg/m]	Lato	Diametro [mm]	N°	Peso [kg/m]	Diametro [mm]	Maglia [cmxcm]	N°	Peso [kg/m]		
MURI DI SOSTEGNO RI.02 MURO AD U	Fondazione	1.50	LATO A	16	5	7.89	LATO A	26	20	83.36	12	20x40	12.5	11.1	151.92	110
			LATO B	16	5	7.89	LATO B	26	10	41.68						
	Elevazione	1.35	LATO A	16	5	7.89	LATO A	26	20	83.36	12	20x40	12.5	11.1	151.92	160
			LATO B	16	5	7.89	LATO B	26	10	41.68						

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>						
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>						
PROGETTO ESECUTIVO <b>RI03 – MURO DI SOSTEGNO IN SX TRA PROGR. 8+926.80 E PROGR.</b> <b>9+529.59 - Relazione di calcolo muro ad U</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI.03.00.003</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>64 di 64</b>		

## 14 INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Sezione tipologica .....	4
Figura 2 – Pianta .....	5
Figura 3 – Profilo longitudinale .....	5
Figura 4 - Stralcio profilo geotecnico .....	12
Figura 5 – LM71 .....	15
Figura 6 – Schema di carico quota pf.....	16
Figura 7 – Schema di carico per effetto della diffusione.....	17
Figura 8 – Schema di carico per effetto della diffusione considerando $\alpha$ .....	18
Figura 9: Schemi di Valutazione dei Sovraccarichi Variabili per la verifica dei piedritti .....	19
Figura 10 - Spinte del terreno.....	26
Figura 11 - Spinta sismica del terreno secondo la teoria di Wood .....	27
Figura 12 - Schema sovraccarico laterale (treno sx).....	28
Figura 13 - Schema sovraccarico laterale (Doppio treno) .....	29
Figura 14 - Modello F.E.M.....	41
Figura 15 – Inviluppo SLU/Sisma: Momenti flettenti.....	42
Figura 16 – Inviluppo SLU/Sisma: sollecitazioni taglianti .....	42
Figura 17 – SLE Rara: Momenti flettenti .....	43
Figura 18 – Sollecitazioni trasmesse al terreno (Inviluppo Combinazioni A1).....	56
Figura 19 – Sollecitazioni trasmesse al terreno (Inviluppo Combinazioni A2).....	57
Figura 20 – Sollecitazioni trasmesse al terreno (Inviluppo Combinazioni sismiche) .....	57
Figura 21 – Deformata (Carico accidentale).....	62
Figura 22 – Deformata (SLE Rara) .....	62