

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 RILEVATI**

RI02 - RILEVATO DAL KM 5+300 AL KM 6+621

MURI DI PROTEZIONE PILE ASSE MEDIANO AL KM 5+570.00 (OC03)

### RELAZIONE DI CALCOLO

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	O	C	0	3	0	0	0	0	1	B	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE	DI PLACIDO	14/06/18	MARTUSCELLI	15/06/18	D'ANGELO	15/06/18	MARTUSCELLI	
B	EMISSIONE PER RdV	DI PLACIDO	10/09/18	MARTUSCELLI	11/09/18	D'ANGELO	11/09/18	MARTUSCELLI	
									12/09/2018

File: IF1M .0.0.E.ZZ.CL.OC.03.0.0.001-B.DOC

n. Elab.:

APPALTATORE: <i>Mandatario:</i> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<i>Mandante:</i> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b>									
PROGETTISTA: <i>Mandatario:</i> SYSTRA S.A.		<i>Mandante:</i> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		<b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA				
		IF1M	0.0.E.ZZ	CL	OC.03.00.001	B	2 di 38				

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'OPERA .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>MATERIALI .....</b>	<b>7</b>
4.1	CALCESTRUZZO C32/40 (MURI E FONDAZIONE) .....	7
4.2	ACCIAIO B450C.....	7
4.3	ACCIAIO DA CARPENTERIA S355 .....	8
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....</b>	<b>9</b>
5.1	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	9
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI.....</b>	<b>12</b>
7.1	VERIFICHE SLE.....	13
7.1.1	Verifiche alle tensioni.....	13
7.1.2	Verifiche a fessurazione.....	14
7.2	VERIFICHE ALLO SLU .....	16
7.2.1	Pressoflessione .....	16
7.2.2	Taglio.....	16
<b>8</b>	<b>ANALISI E VERIFICA DELLA STRUTTURA SCATOLARE.....</b>	<b>19</b>
8.1	ANALISI DEI CARICHI .....	19
8.1.1	Peso propri strutturali e non strutturali .....	19
8.1.2	Carichi ferroviari da deragliamento.....	19

---

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>3 di 38</b>

<b>8.1.3</b>	<b><i>Azioni sismiche</i></b> .....	<b>20</b>
<b>8.2</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....	<b>20</b>
<b>8.3</b>	<b>MODELLAZIONE ADOTTATA</b> .....	<b>23</b>
<b>8.4</b>	<b>ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI</b> .....	<b>24</b>
<b>8.5</b>	<b>VERIFICHE</b> .....	<b>27</b>
<b>8.5.1</b>	<b><i>Verifiche agli Stati Limite Ultimi</i></b> .....	<b>27</b>
<b>8.6</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE</b> .....	<b>32</b>
<b>8.6.1</b>	<b><i>Verifica a carico limite verticale dei micropali</i></b> .....	<b>34</b>
<b>8.6.2</b>	<b><i>Verifica a carico limite orizzontale dei micropali</i></b> .....	<b>35</b>
<b>8.6.3</b>	<b><i>Verifica di resistenza dei micropali</i></b> .....	<b>37</b>
<b>8.7</b>	<b>INCIDENZA ARMATURE</b> .....	<b>37</b>
<b>8.7.1</b>	<b><i>Parete sp.=160cm</i></b> .....	<b>37</b>
<b>8.7.2</b>	<b><i>Fondazione h=100cm</i></b> .....	<b>38</b>

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>											
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>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>							
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	<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>					
		<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>OC.03.00.001</b>	<b>B</b>	<b>4 di 38</b>						

## **1   PREMESSA**

Il presente documento fa parte degli elaborati tecnici a corredo della “Progettazione esecutiva della Linea Ferroviaria Napoli-Bari, tratta Napoli-Cancello, in variante tra le PK. 0+000 e PK 15+585”.

L’opera oggetto delle analisi riportate nei paragrafi seguenti rientra fra quelle di protezione pile asse mediano (Muri di protezione pile asse mediano al Km 5+570,00).

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento delle strutture è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza e deformabilità richiesti all’opera.

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. PAGINA <b>B 5 di 38</b>

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

I muri presentano uno spessore di 160cm e sono collegati ad una platea da 100cm. La fondazione di quest'ultima è rappresentata da micropali Ø300 L=10,00m disposti ad un interasse di 50cm a quinconce.

Detta platea risulta interrotta in corrispondenza della pila preesistente; in tale zona il muro superiore continua collegando i due tratti di fondazione.

Si riportano una vista planimetrica e una sezione tipologica della struttura.

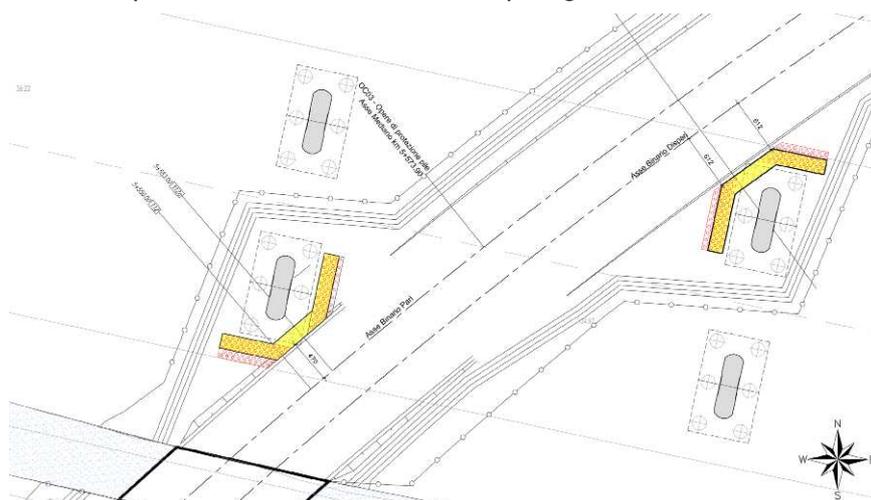


Figura 1 – Muri di protezione – Vista Planimetrica

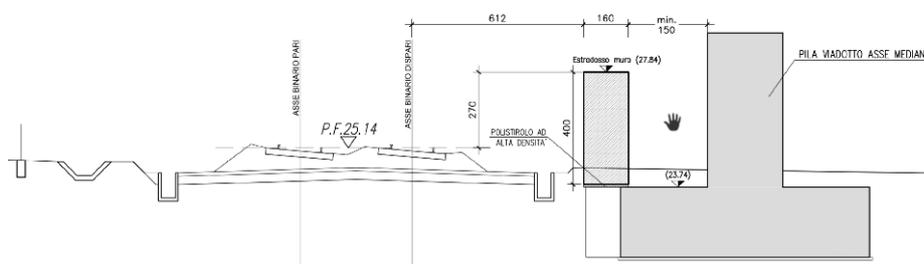


Figura 2 – Muri di protezione – Sezione Tipologica

Per ulteriori dettagli geometrici si rimanda agli elaborati progettuali specifici.

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>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</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		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
<b>Relazione di calcolo</b>		<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>OC.03.00.001</b>	<b>B</b>	<b>6 di 38</b>

### **3    *NORMATIVA DI RIFERIMENTO***

- 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;
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008);
- Circolare applicativa delle NTC2008 n.617 del 02/02/2009: Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea;
- RFI- Manuale di progettazione delle opere civili. Codifica: RFI DTC SI MA IFS 001 A.
- UNI EN 1992-1-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo”
- UNI EN 206-1-2001: Calcestruzzo. “Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- Eurocodice EN 1991-2:2003/AC:2010 “Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti”.

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>									
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>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA				
		IF1M	0.0.E.ZZ	CL	OC.03.00.001	B	7 di 38				

## 4 MATERIALI

Il calcestruzzo adottato corrisponde alla Classe C32/40, mentre l'acciaio in barre ad aderenza migliorata corrisponde alla classe B450C. Di seguito vengono elencate le specifiche.

### 4.1 CALCESTRUZZO C32/40 (muri e fondazione)

Modulo di elasticità longitudinale	$E_C = 33643$	[MPa]
Coefficiente di dilatazione termica	$\alpha = 10 \times 10^{-6}$	[C-1]
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.20$	[-]
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_c = 1.50$	[-]
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc} = 0.85$	[-]
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck} = 40.0$	[MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck} = 33.2$	[MPa]
Resistenza media cilindrica a compressione	$f_{cm} = 41.2$	[MPa]
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 3.10$	[MPa]
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk} = 2.17$	[MPa]
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 3.72$	[MPa]
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctk} = 2.60$	[MPa]
Resistenza caratteristica tangenziale per aderenza	$f_{bk} = 4.88$	[MPa]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 18.8$	[MPa]
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctd} = 1.45$	[MPa]
Resistenza di calcolo a trazione per flessione	$f_{ctd} = 1.74$	[MPa]
Resistenza di calcolo tangenziale per aderenza	$f_{bd} = 3.25$	[MPa]

### 4.2 ACCIAIO B450C

Modulo di elasticità longitudinale	$E_s = 210000$	[MPa]
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$	[-]
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450$	[MPa]
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 540$	[MPa]

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>8 di 38</b>

Allungamento

$$A_{gt,k} \geq 7.50\% \quad [-]$$

Resistenza di calcolo

$$f_{yd} = 391.3 \quad [\text{MPa}]$$

### 4.3 ACCIAIO DA CARPENTERIA S355

Modulo di elasticità longitudinale

$$E_s = 210000 \quad [\text{MPa}]$$

Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_s = 1.05 \quad [-]$$

Tensione caratteristica di snervamento

$$f_{yk} = 355 \quad [\text{MPa}]$$

Tensione caratteristica di rottura

$$f_{tk} = 510 \quad [\text{MPa}]$$

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. PAGINA <b>B 9 di 38</b>

## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Nei paragrafi seguenti si riporta il dettaglio del modello geotecnico alla base delle Analisi.

### 5.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Le caratteristiche geotecniche del volume di terreno che interagisce con l'opera sono state desunte dalla relazione geotecnica; da quest'ultimo documento è tratto in particolare la caratterizzazione fisico-meccanica dei diversi litipi presenti lungo il tracciato.

In corrispondenza dell'opera in esame, la successione stratigrafica, è in particolare quella di seguito rappresentata, riferita nello specifico alla pk 5+534 circa (proiezione dell'opera sul profilo d'asse):

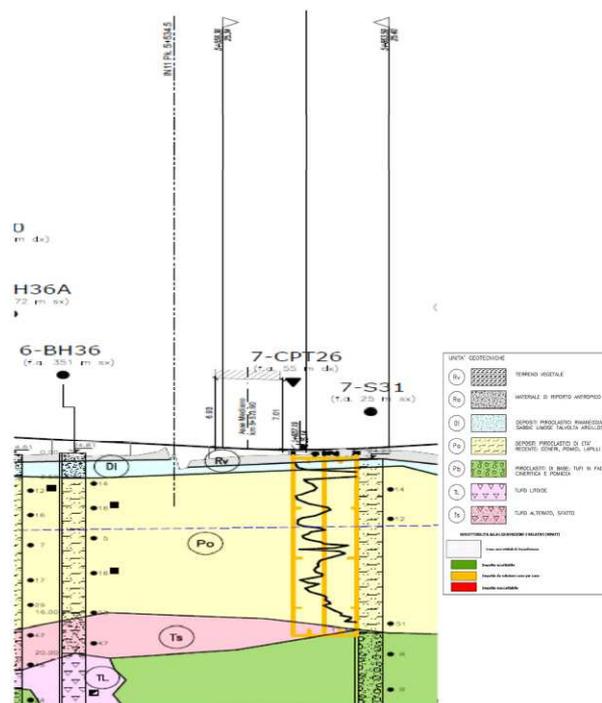


Figura 3 - Stralcio profilo geotecnico  
**Figura 3 – Stralcio profilo geotecnico**

In considerazione della quota di posa del piano di fondazione dell'opera è possibile considerare, ai fini delle analisi e verifiche geotecniche, 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>					
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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>10 di 38</b>

▪ **Unità DI – Piroclastiti rimaneggiati sabbioso limose**

$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 30 \div 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$k = 7E-09 \div 1.5 E-04 \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$V_s = 160 \div 270 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_0 = 40 \div 120 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_0 = 100 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>11 di 38</b>

## 6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Il valore dell'accelerazione orizzontale massima in condizioni sismiche è stato definito in accordo alla normativa NTC2008.

Ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 14/01/2008, risultando per l'opera in progetto una vita nominale  $VN \geq 75$  anni ed una classe d'uso  $C_u = III$ , si ottiene un periodo di riferimento  $VR = VN \cdot C_u = 75 \cdot 1.5 = 112.5$  anni. A seguito di tale assunzione si ha allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari ad  $a_g = 0.188$  g.

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	68	0,072	2,349	0,325
SLD	113	0,092	2,359	0,337
SLV	1068	0,216	2,466	0,363
SLC	2193	0,266	2,555	0,366

**Tabella 1 - Parametri sismici**

Ai fini dell'analisi della risposta sismica locale, inoltre occorre definire la Categoria del Suolo di Fondazione, secondo quanto specificato al par. "3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE" del DM 14.01.08.

La categoria di suolo di fondazione viene definita, in base al riferimento normativo citato, sulla base della conoscenza di  $V_{s30}$ , ricavato dalle indagini sismiche eseguite nelle campagne geognostiche.

In particolare, nel caso in esame, è possibile considerare ai fini progettuali una categoria di suolo di tipo C: "Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille mediamente consistenti, con spessori variabili da diverse decine di metri fino a centinaia di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi fra 180 m/s e 360 m/s (ovvero resistenza penetrometrica NSPT < 50 o coesione non drenata  $70 < c_u < 250$  kPa).

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	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
<b>Relazione di calcolo</b>		<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>OC.03.00.001</b>	<b>B</b>	<b>12 di 38</b>

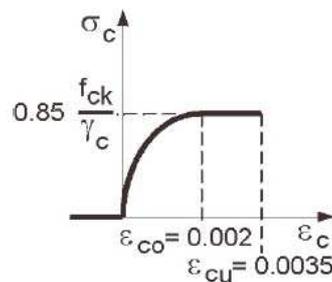
## **7 VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI**

La corretta progettazione di un elemento strutturale deve essere sviluppata considerando tutti gli aspetti dai quali potrebbe dipendere il raggiungimento della crisi (SLU) o che non garantiscano il soddisfacimento di particolari requisiti funzionali (SLE). Appare quindi importante disporre di adeguate regole progettuali che, riferendosi a tutte le eventualità che potrebbero prodursi durante la vita di progetto, conducano ad un'attenta analisi di tutte le parti dell'elemento strutturale, ciascuna delle quali dovrà essere progettata con lo stesso grado di accuratezza.

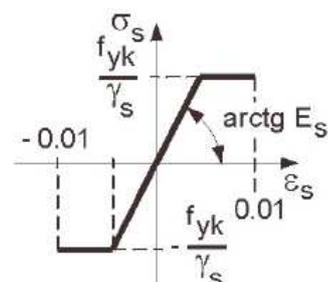
Il calcolo delle caratteristiche della sollecitazione interna e le verifiche di resistenza negli elementi strutturali sono eseguiti con i metodi della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni, basati sulle seguenti ipotesi:

1. planarità delle sezioni (ipotesi di Bernoulli);
2. resistenza a trazione del calcestruzzo trascurabile (solo per c.a.);
3. il conglomerato cementizio soggetto a compressione si comporta, nel campo delle tensioni di esercizio, come un materiale elastico, isotropo ed omogeneo (validità della Legge di Hooke);
4. perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo;
5. rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
6. rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima;
7. utilizzo di modelli rappresentativi del legame costitutivo ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) dei materiali

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		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. PAGINA
<b>Relazione di calcolo</b>		<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>OC.03.00.001</b>	<b>B 13 di 38</b>



Legame costitutivo cls



Legame costitutivo acciaio

8. nella valutazione delle piccole deformazioni, si fa riferimento alla totale sezione di conglomerato, adottando il modulo elastico  $E_c$  del conglomerato compresso;
9. l'acciaio, sia teso che compresso, nel campo delle tensioni di esercizio, è in campo elastico, ossia si ammette anche per esso la validità della Legge di Hooke.

Il metodo di verifica adottato è quello agli Stati Limite Ultimo (SLU) ed agli Stati Limite di Esercizio (SLE), secondo quanto previsto dal D.M. del 14 gennaio 2008.

## 7.1 VERIFICHE SLE

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

### 7.1.1 Verifiche alle tensioni

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

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>									
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>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA				
		<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>OC.03.00.001</b>	<b>B</b>	<b>14 di 38</b>				

### Tensioni di compressione del calcestruzzo

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

- Per combinazione di carico caratteristica (rara):  $0.55 f_{ck}$ ;
- Per combinazioni di carico quasi permanente:  $0.40 f_{ck}$ ;
- Per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

### Tensioni di trazione nell'acciaio

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

Per il caso in esame risulta in particolare:

#### CALCESTRUZZO

$$\sigma_{cmax\ QP} = (0.40 f_{ck}) = 13.28 \text{ MPa} \quad \text{(Combinazione di Carico Quasi Permanente)}$$

$$\sigma_{cmax\ R} = (0.55 f_{ck}) = 18.26 \text{ MPa} \quad \text{(Combinazione di Carico Caratteristica - Rara)}$$

#### ACCIAIO

$$\sigma_{s\ max} = (0.75 f_{yk}) = 338 \text{ MPa} \quad \text{Combinazione di Carico Caratteristica(Rara)}$$

### **7.1.2 Verifiche a fessurazione**

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

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

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>15 di 38</b>

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

**Tabella 2 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali - Tabella 4.1.IV**

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

**Tabella 3 –Descrizione delle condizioni ambientali Tabella 4.1.III**

Risultando:

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

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

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

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

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 14.1.2008, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

- Combinazione Caratteristica (Rara)  $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>16 di 38</b>

## 7.2 VERIFICHE ALLO SLU

### 7.2.1 Pressoflessione

Allo Stato Limite Ultimo le verifiche per tensioni normali vengono condotte confrontando per ogni sezione le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza secondo la nota relazione:

$$M_{rd} (N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove:

$M_{rd}$  = è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;

$N_{Ed}$  = è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

$M_{Ed}$  = è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

Il momento resistente  $M_{rd}$  è valutato adottando per i materiali i modelli tensionali  $\sigma - \epsilon$ .

### 7.2.2 Taglio

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  della membratura priva di armatura specifica risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_w d$$

dove:

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

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

$$\rho_1 = A_{sw}/(b_w \cdot d)$$

$d$  = altezza utile per piedritti soletta superiore ed inferiore;

$b_w$  = 1000 mm larghezza utile della sezione ai fini del taglio.

In presenza di armatura, invece, la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  è il minimo tra la resistenza a taglio trazione  $V_{Rsd}$  e la resistenza a taglio compressione  $V_{Rcd}$

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		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
<b>Relazione di calcolo</b>		<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>OC.03.00.001</b>	<b>B</b>
						PAGINA <b>17 di 38</b>

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

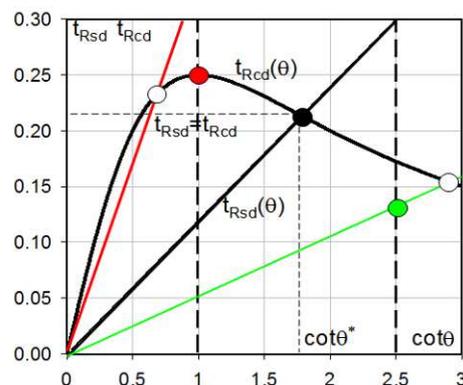
$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{(\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta)}{(1 + \operatorname{ctg}^2 \theta)}$$

essendo:

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

Per quanto riguarda in particolare le verifiche a taglio per elementi armati a taglio, si è fatto riferimento al metodo del traliccio ad inclinazione variabile, in accordo a quanto prescritto al punto 4.1.2.1.3 delle NTC08, considerando ai fini delle verifiche, un angolo  $\theta$  di inclinazione delle bielle compresse del traliccio resistente tale da rispettare la condizione.

$$1 \leq \operatorname{cotg} \theta \leq 2.5 \quad 45^\circ \geq \theta \geq 21.8^\circ$$



L'angolo effettivo di inclinazione delle bielle ( $\theta$ ) assunto nelle verifiche è stato in particolare valutato, nell'ambito di un problema di verifica, tenendo conto di quanto di seguito indicato :

$$\operatorname{cot} \theta^* = \sqrt{\frac{v \cdot \alpha_c}{\omega_{sw}} - 1}$$

( $\theta^*$  angolo di inclinazione delle bielle cui corrisponde la crisi contemporanea di bielle compresse ed armature)

dove:

$$v = f'_{cd} / f_{cd} = 0.5$$

$f'_{cd}$  = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>18 di 38</b>

$f_{cd}$  = resistenza a compressione di calcolo del calcestruzzo d'anima

$\alpha_c$  coefficiente maggiorativo pari a

1 per membrature non compresse

$1 + \sigma_p/f_{cd}$  per  $0 \leq \sigma_{cp} \leq 0.25 f_{cd}$

1.25 per  $0.25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.5 f_{cd}$

$2.5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$  per  $0.5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

$\omega_{sw}$ : percentuale meccanica di armatura trasversale.

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_{yd}}{b s f_{cd}}$$

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>19 di 38</b>

## 8 ANALISI E VERIFICA DELLA STRUTTURA SCATOLARE

### 8.1 ANALISI DEI CARICHI

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

I pesi dei materiali da costruzione e del terreno sono indicati nella tabella seguente:

Materiali	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
calcestruzzo armato	25

**Tabella 4 - Caratteristiche materiali e terreno**

#### 8.1.1 *Peso propri strutturali e non strutturali*

Il peso proprio di muri e platea viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ .

#### 8.1.2 *Carichi ferroviari da deragliamento*

Secondo quanto riportato al 5.2.2.9.3 delle specifiche RFI per il caso di deragliamento al di sotto del ponte si rimanda al 3.6.3.4 del DM 14/01/2008.

All'occorrenza di un deragliamento può verificarsi il rischio di collisione fra i veicoli deragliati e le strutture adiacenti la ferrovia. Queste ultime dovranno essere progettate in modo da resistere alle azioni conseguenti ad una tale evenienza.

Dette azioni devono determinarsi sulla base di una specifica analisi di rischio, tenendo conto della presenza di eventuali elementi protettivi o sacrificali (respingenti) ovvero di condizioni di impianto che possano ridurre il rischio di accadimento dell'evento (marciapiedi, controrotaie, ecc.).

In mancanza di specifiche analisi di rischio possono assumersi le seguenti azioni statiche equivalenti, in funzione della distanza  $d$  degli elementi esposti dall'asse del binario. Nel caso in esame si considera, per  $d \leq 5 \text{ m}$ :

- 4000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>20 di 38</b>

- 1500 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;

Queste forze dovranno essere applicate a 1,80 m dal piano del ferro e non dovranno essere considerate agenti simultaneamente.

### 8.1.3 Azioni sismiche

Per l'opera in oggetto l'azione sismica non risulta dimensionante in quanto tenuto conto della massa dell'opera (paramento e fondazione, valore totale pari a circa 6900 kN) le azioni sismiche complessive distribuite uniformemente su tutta l'opera sono pari a circa 2000 kN avendo considerato una accelerazione sismica pari a 0.3g. I valori delle azioni da deragliamento come riportato nel 8.1.2. sono pari a 4000 kN in direzione longitudinale e 1500 kN in direzione trasversale.

## 8.2 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:

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

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>21 di 38</b>

Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. §3.6):

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

		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

**Tabella 5 - NTC Tabella 5.2.V delle NTC – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica- Ponti ferroviari**

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{e1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

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

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. PAGINA <b>B 22 di 38</b>

(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) 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna (4) 1,20 per effetti locali

**Tabella 6 - NTC Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU- Ponti stradali**

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	gr <sub>1</sub>	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr <sub>2</sub>	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr <sub>3</sub>	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr <sub>4</sub>	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	F <sub>Wk</sub>	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 <sub>k</sub>	0,60	0,60	0,50

**Tabella 7- Tabella 5.2.VI delle NTC- Coefficienti di combinazione y delle azioni- Ponti ferroviari**

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	---	0,75	0,0
Vento $q_s$	Vento a ponte scarico			
	SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	---	0,0
Neve $q_s$	Vento a ponte carico	0,6		
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Temperatura	esecuzione	0,8	0,6	0,5
	T <sub>k</sub>	0,6	0,6	0,5

**Tabella 8- NTC Tabella 5.1.VI delle NTC - Coefficienti di combinazione y delle azioni - Ponti stradali e pedonali**

Sono state adottate n.3 differenti combinazioni, ovvero, azioni eccezionale agente in direzione ortogonale alla parete e azione eccezionale agente in direzione parallela (con segno positivo e negativo).

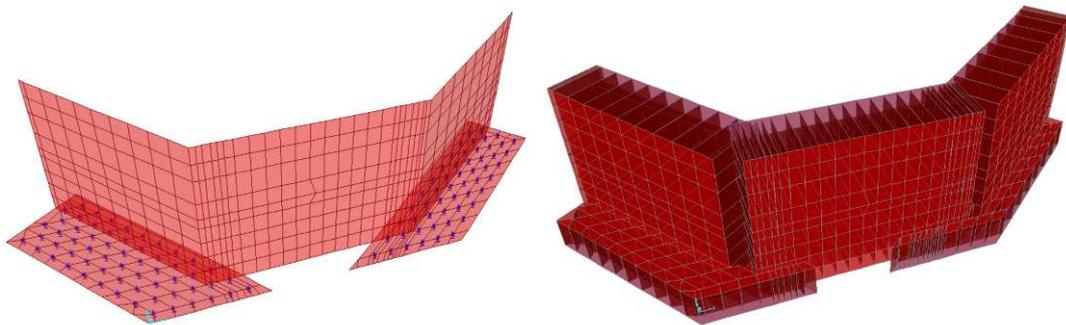
APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE 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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV.    PAGINA <b>B        23 di 38</b>

### 8.3 MODELLAZIONE ADOTTATA

Il modello di calcolo 3D agli elementi finiti attraverso il quale è stata schematizzata la struttura è quello a piastra.

Sia la fondazione che il muro vengono simulati con elementi bidimensionali di tipo "Shell". I micropali, invece, sono schematizzati come molle elastiche poste in collegamento con i nodi della piastra di fondazione. Il programma di calcolo utilizzato è il software commerciale *Sap2000 Advanced*.

Si riportano di seguito alcune immagini rappresentative della modellazione dello scatolare.



**Figura 4 – Muro di protezione – Vista unifilare ed estrusa del modello agli elementi finiti**

Gli scenari di sollecitazione analizzati sono i più gravosi, ovvero quelli relativi all'applicazione della forza d'urto concentrata (sia longitudinale che trasversale) in mezzeria della parte di parete che non presenta fondazione e nell'estremità finale del paramento laterale che presenta la fondazione.

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA			
		<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>OC.03.00.001</b>	<b>B</b>	<b>24 di 38</b>			

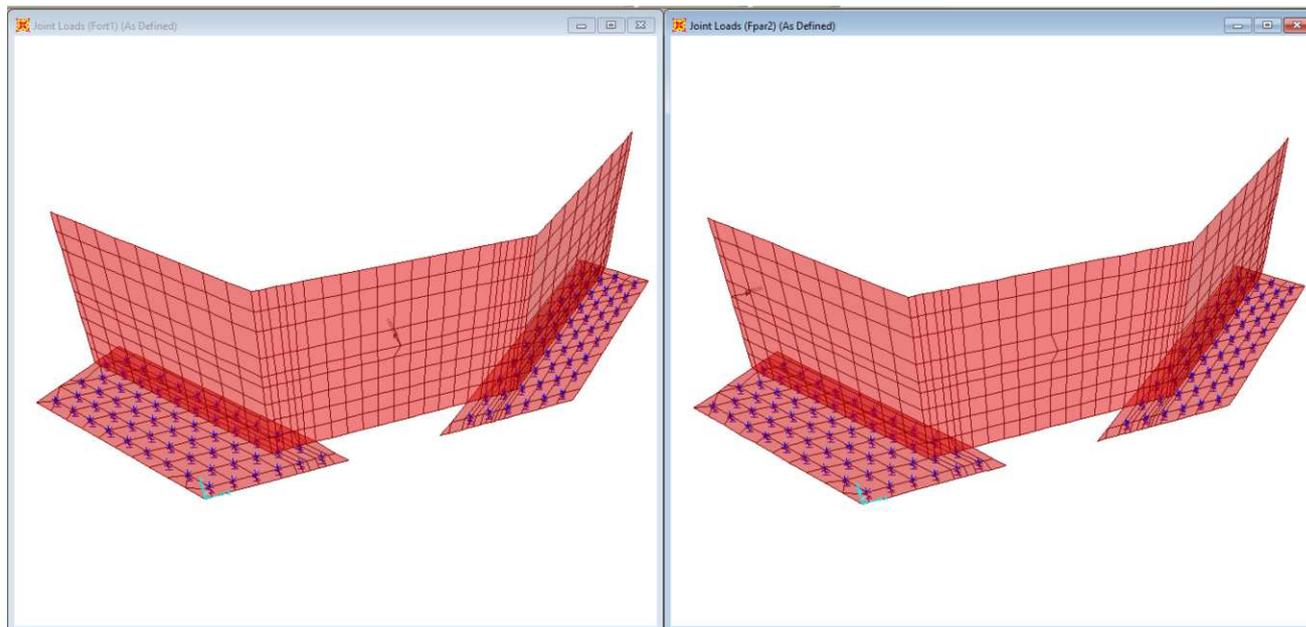


Figura 5 – Punti di applicazione delle forze

#### 8.4 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Si riportano, di seguito, i diagrammi delle caratteristiche delle sollecitazioni: in particolare, per maggiore chiarezza, di tutte le combinazioni analizzate si riportano quelle che sono risultate maggiormente gravose, ovvero il caso in cui l'urto avviene ortogonalmente alla porzioni di parete centrale e il caso in cui l'urto avviene parallelamente ad uno degli estremi:

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV.     PAGINA <b>B        25 di 38</b>

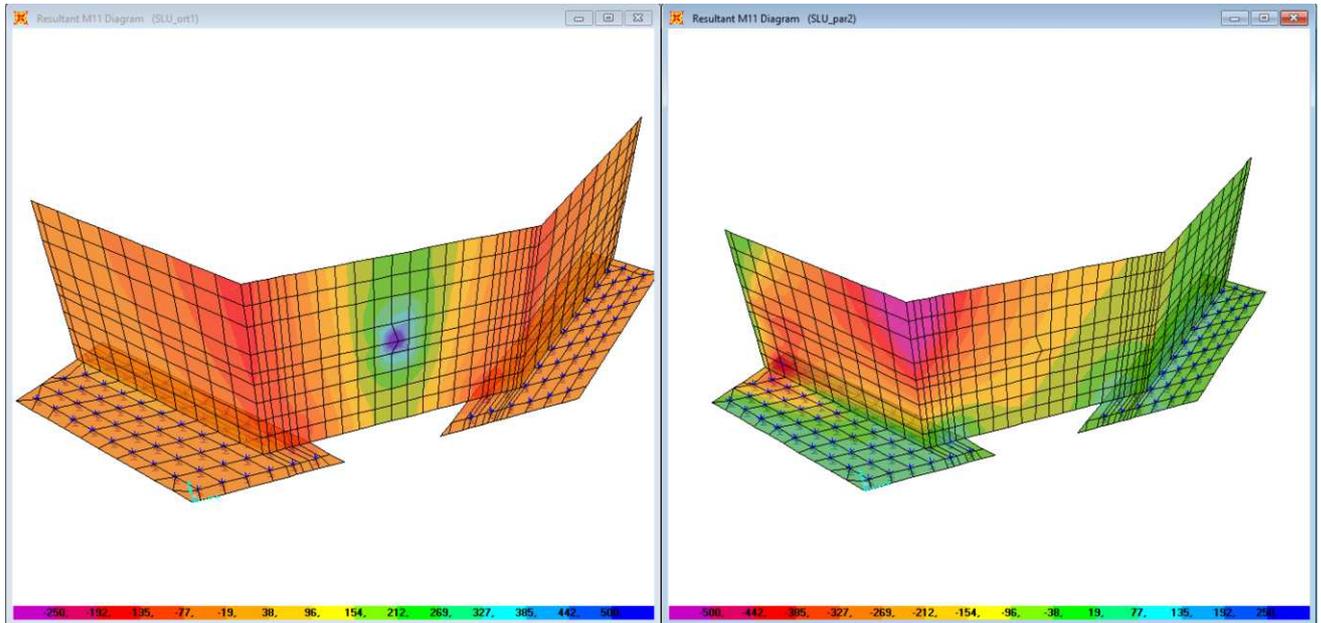


Figura 6 - Muro di protezione – Diagramma del momento M11 [kNm-m]

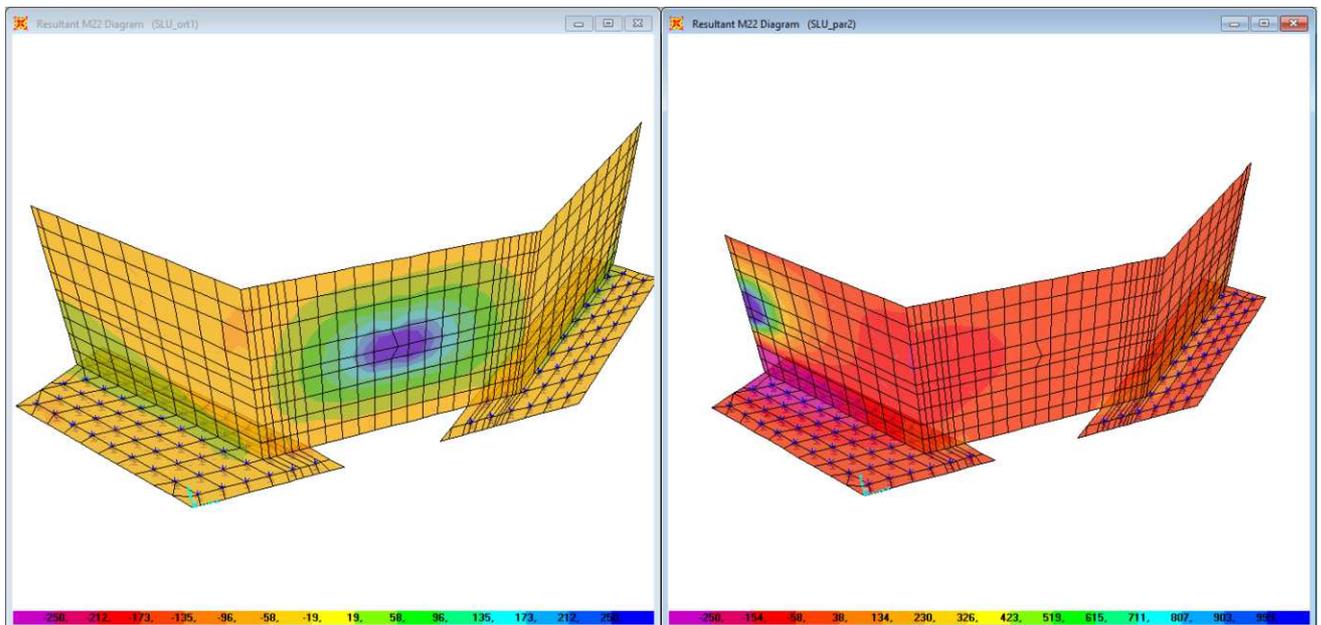
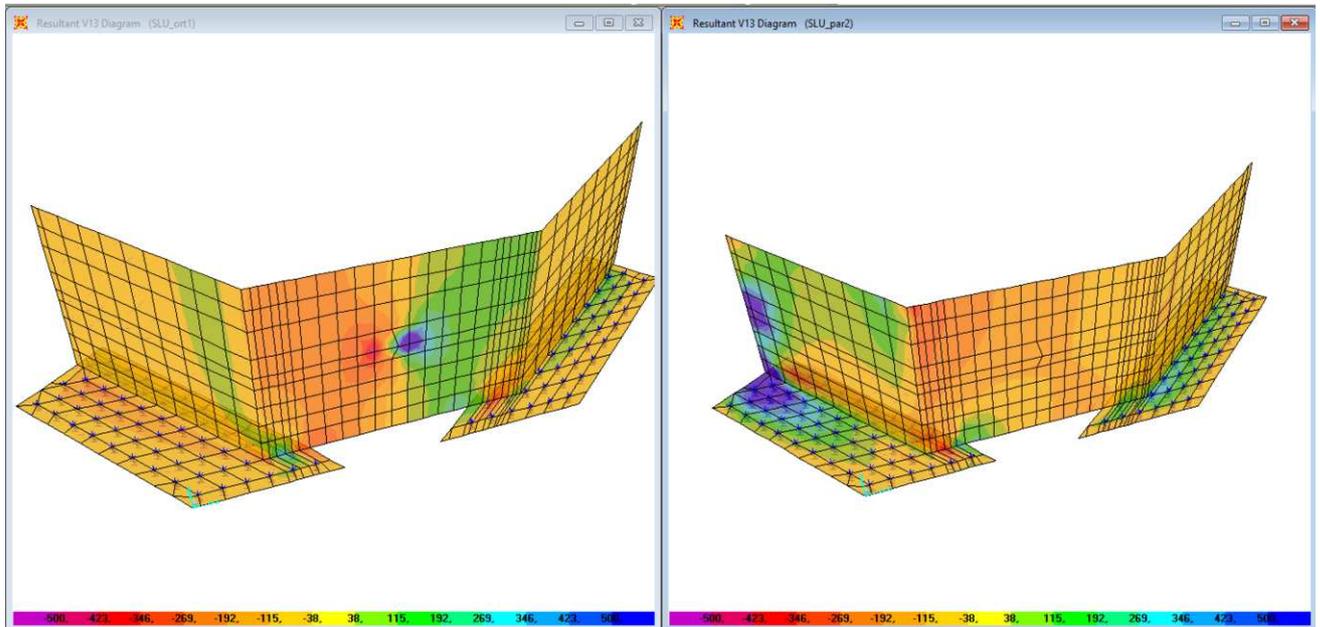
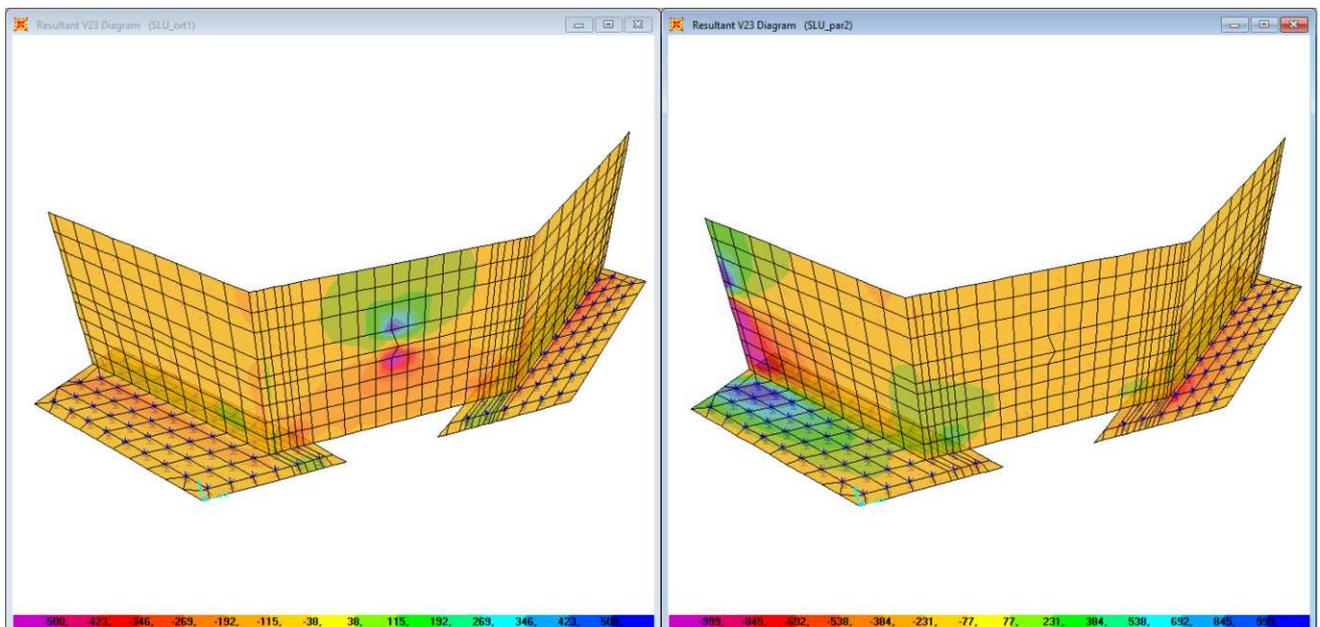


Figura 7 - Muro di protezione – Diagramma del momento M22 [kNm-m]

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> <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>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>26 di 38</b>
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di calcolo</b>								



**Figura 8 - Muro di protezione – Diagramma del taglio V13 [kN-m]**



**Figura 9 - Muro di protezione – Diagramma del taglio V23 [kN-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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b> PAGINA <b>27 di 38</b>

## 8.5 VERIFICHE

Si riportano di seguito, i risultati delle verifiche più gravose agli SLU e SLE dei principali elementi strutturali, condotte nelle sezioni maggiormente sollecitate con i criteri di verifica precedentemente riportati.

### 8.5.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi

#### 8.5.1.1 Verifica a flessione

##### Paramento muro sp.=160cm – Armature verticali

Ai fini della verifica a flessione sul muro si prevede l'utilizzo a m di n.10 $\phi$ 24 interni ed esterni. I momenti flettenti massimi sono pari a  $M_{sd}=+1868,00$  kNm (azione d'urto applicata all'estremità in direzione parallela al senso di marcia) e  $M_{sd}=-753,00$  kNm (azione d'urto applicata all'estremità in direzione parallela al senso di marcia) con sforzi normali pari, rispettivamente, a  $N_{sd}=-1527,00$  kN e  $N_{sd}=-6,00$  kN, che si trascurano a vantaggio di sicurezza. Il copriferro minimo adottato è pari a 5cm, per cui l'armatura verticale interna presenta un copriferro pari a 7,4cm. Nel seguito il dettaglio della verifica.

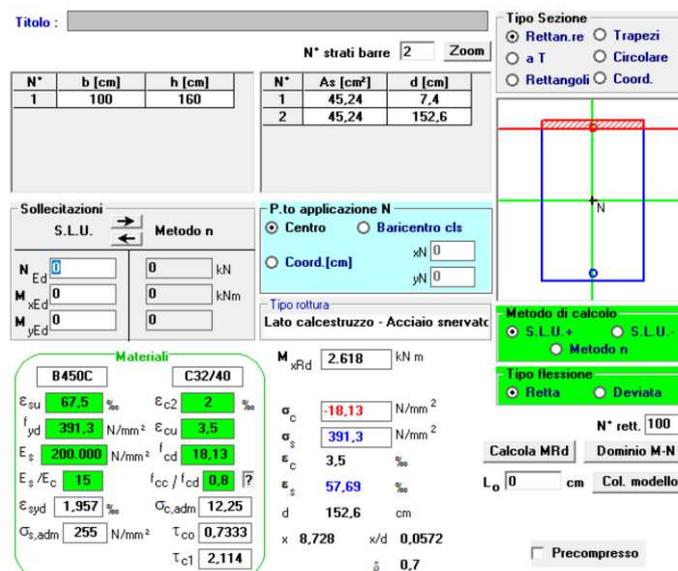


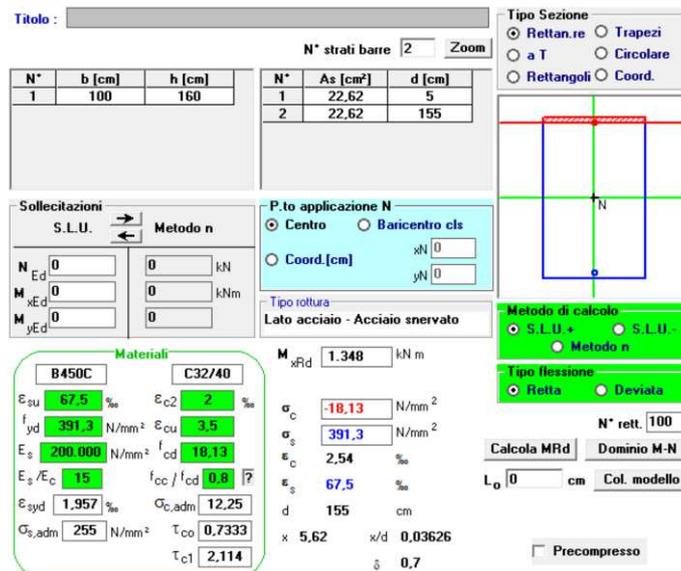
Figura 10 - Verifica a flessione muro sp.=160cm

I coefficienti di sicurezza risultanti sono pari, rispettivamente, a SF=1,40 e SF=3,48.

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b> PAGINA <b>28 di 38</b>

### Paramento muro sp.=160cm – Armature orizzontali

Ai fini della verifica a flessione sul muro si prevede l'utilizzo a m di n.5 $\phi$ 24 interni ed esterni. I momenti flettenti massimi sono pari a  $M_{Sd}=+711,00$  kNm (azione d'urto applicata in mezzeria in direzione ortogonale al senso di marcia) e  $M_{Sd}=-740,00$  kNm (azione d'urto applicata all'estremità in direzione parallela al senso di marcia) con sforzi normali pari, rispettivamente, a  $N_{Sd}=-204,00$  kN e  $N_{Sd}=-778,00$  kN, che si trascurano a vantaggio di sicurezza. Il copriferro minimo adottato è pari a 5cm.



**Figura 11 - Verifica a flessione muro sp.=160cm**

I coefficienti di sicurezza risultanti, sono pari, rispettivamente a SF=1,89 e SF=1,82.

### Fondazione h=100cm

Ai fini della verifica a flessione sulla fondazione si prevede l'utilizzo a m di n.10 $\phi$ 24 superiori ed inferiori. Il momento flettente massimo assoluto è pari a  $M_{Sd}=-507,00$  kNm (azione d'urto applicata all'estremità in direzione parallela al senso di marcia). Il copriferro minimo adottato è pari a 5cm, per cui l'armatura più interna presenta un copriferro pari a 7,4cm. Nel seguito il dettaglio della verifica.

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.</b> <b>ROCKSOIL S.p.A.</b>	PROGETTO    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    PAGINA <b>IF1M</b> <b>0.0.E.ZZ</b> <b>CL</b> <b>OC.03.00.001</b> <b>B</b> <b>29 di 38</b>
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di calcolo</b>	

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

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	45,24	7,4
			2	45,24	92,6

Sollecitazioni

S.L.U.    Metodo n

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

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

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.     Metodo n

Tipo flessione  
 Retta     Deviata

N° rett.

Calcola MRd    Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>  cm    Col. modello

Precompresso

Materiali

**B450C**    **C32/40**

E<sub>su</sub>  %    E<sub>c2</sub>  %  
f<sub>yd</sub>  N/mm<sup>2</sup>    E<sub>cu</sub>  %  
E<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup>    f<sub>cd</sub>  %  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>     f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
E<sub>syd</sub>  %    σ<sub>c,adm</sub>   
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm<sup>2</sup>    τ<sub>co</sub>   
τ<sub>c1</sub>

M<sub>xRd</sub>  kN m  
σ<sub>c</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub>  %  
ε<sub>s</sub>  %  
d  cm  
x     x/d   
δ

Figura 12 - Verifica a flessione fondazione

Il coefficienti di sicurezza risultante, è pari a SF=3,07.

### 8.5.1.2 Verifica a taglio

Si riportano le verifiche più gravose sul muro e sulla fondazione.

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>30 di 38</b>				

### Muro sp.=160cm

Ai fini della verifica a taglio sul muro si prevede l'utilizzo di staffe  $\phi 16/30 \times 30$ . Nel seguito il dettaglio della verifica.

<b>Parete sp.=160cm</b>	
<b>V<sub>Sd</sub></b>	<b>1760,00 kN</b>
<b>R<sub>ck</sub></b>	<b>35,00 MPa</b>
<b>d</b>	<b>1530,00 mm</b>
<b>k</b>	<b>1,36</b>
<b>A<sub>sl</sub></b>	<b>4523,90 mm<sup>2</sup></b>
<b>b</b>	<b>1000,00 mm</b>
<b><math>\rho_l</math></b>	<b>0,00296</b>
<b>f<sub>ck</sub></b>	<b>29,05 MPa</b>
<b><math>\gamma_c</math></b>	<b>1,50</b>
<b>v<sub>min</sub></b>	<b>0,30 MPa</b>
<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>511,95 kN-m</b>
<b>SF</b>	<b>0,29</b>
<b>V<sub>RSd</sub></b>	<b>3009,35 kN</b>
<b>V<sub>RCd</sub></b>	<b>3908,23 kN</b>
<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>3009,35 kN</b>
<b>SF</b>	<b>1,71</b>

**Figura 13 - Verifica a taglio muro**

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>31 di 38</b>

### Fondazione h=100cm

Ai fini della verifica a taglio sulla fondazione si prevede l'utilizzo di staffe  $\phi 16/30 \times 30$ . Nel seguito il dettaglio della verifica.

<b>Platea h=100cm</b>	
<b>V<sub>Sd</sub></b>	<b>1316,00 kN</b>
<b>R<sub>ck</sub></b>	<b>35,00 MPa</b>
<b>d</b>	<b>930,00 mm</b>
<b>k</b>	<b>1,46</b>
<b>A<sub>sl</sub></b>	<b>4523,90 mm<sup>2</sup></b>
<b>b</b>	<b>1000,00 mm</b>
<b><math>\rho_l</math></b>	<b>0,00486</b>
<b>f<sub>ck</sub></b>	<b>29,05 MPa</b>
<b><math>\gamma_c</math></b>	<b>1,50</b>
<b>v<sub>min</sub></b>	<b>0,33 MPa</b>
<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>394,93 kN-m</b>
<b>SF</b>	<b>0,30</b>
<b>V<sub>RSd</sub></b>	<b>1829,21 kN</b>
<b>V<sub>RCd</sub></b>	<b>2375,59 kN</b>
<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>1829,21 kN</b>
<b>SF</b>	<b>1,39</b>

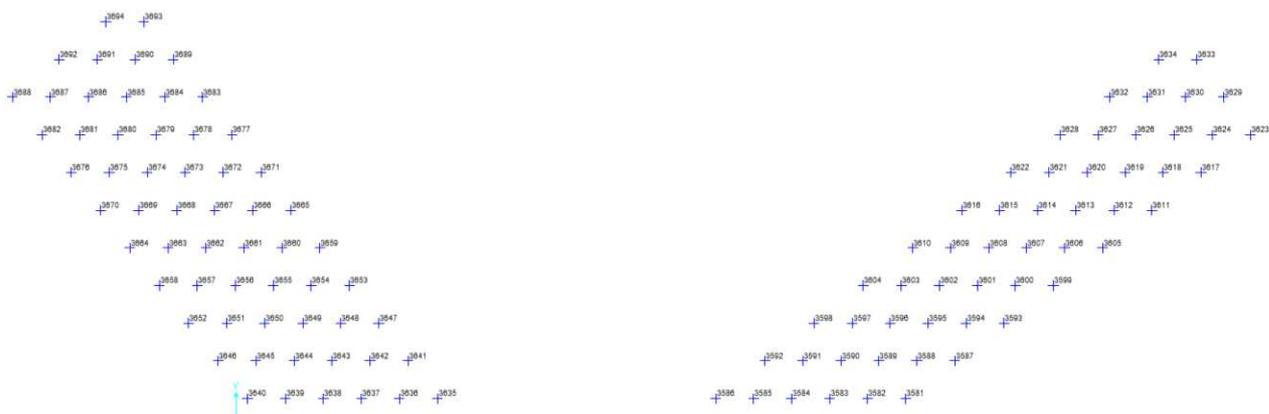
**Figura 14 - Verifica a taglio fondazione**

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>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>32 di 38</b>
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di calcolo</b>								

## 8.6 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.

Di seguito si riporta la numerazione relativa ai pali di fondazione nel modello strutturale e i valori di involuppo (massimo e minimo) per ciascuno di essi risultanti dalle analisi.



**Figura 15 – Pali di fondazione – Assegnazione numerazione nodi**

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>Relazione di calcolo</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>33 di 38</b>

TABLE: Joint Reactions		TABLE: Joint Reactions		TABLE: Joint Reactions		TABLE: Joint Reactions		TABLE: Joint Reactions	
Joint	F3	Joint	F3	Joint	F3	Joint	F3	Joint	F3
Text	KN	Text	KN	Text	KN	Text	KN	Text	KN
3581	77,67	3595	66,88	3609	86,27	3623	53,27	3637	84,02
3581	-33,92	3595	9,75	3609	37,69	3623	-224,43	3637	-0,87
3582	83,54	3596	70,48	3610	110,13	3624	51,18	3638	75,75
3582	-20,16	3596	24,92	3610	43,36	3624	-130,21	3638	-7,03
3583	88,52	3597	69,36	3611	51,49	3625	54,36	3639	66,34
3583	-9,51	3597	35,13	3611	-136,95	3625	-40,86	3639	-14,53
3584	91,32	3598	73,00	3612	52,04	3626	83,72	3640	54,88
3584	-0,73	3598	42,86	3612	-64,59	3626	25,85	3640	-29,40
3585	92,78	3599	58,18	3613	52,55	3627	121,43	3641	84,39
3585	7,54	3599	-72,44	3613	-1,80	3627	33,14	3641	23,20
3586	93,65	3600	59,39	3614	58,25	3628	179,29	3642	81,25
3586	15,24	3600	-23,20	3614	27,71	3628	30,45	3642	16,82
3587	69,35	3601	60,57	3615	98,07	3629	65,72	3643	76,98
3587	-31,50	3601	16,21	3615	37,60	3629	-71,79	3643	10,05
3588	71,97	3602	60,69	3616	131,87	3630	101,69	3644	68,63
3588	-13,09	3602	27,45	3616	40,55	3630	24,52	3644	1,55
3589	77,43	3603	74,42	3617	50,68	3631	145,31	3645	58,20
3589	1,17	3603	36,91	3617	-177,53	3631	28,71	3645	-10,22
3590	82,01	3604	89,81	3618	50,26	3632	201,47	3646	47,06
3590	12,06	3604	43,99	3618	-93,50	3632	26,14	3646	-38,58
3591	83,22	3605	54,29	3619	50,23	3633	174,51	3647	72,06
3591	20,14	3605	-101,97	3619	-17,70	3633	25,48	3647	36,32
3592	84,63	3606	55,20	3620	69,81	3634	216,46	3648	71,05
3592	27,34	3606	-41,52	3620	27,00	3634	22,75	3648	28,97
3593	63,12	3607	55,97	3621	109,57	3635	92,36	3649	68,35
3593	-48,43	3607	9,44	3621	36,94	3635	11,67	3649	18,36
3594	64,88	3608	55,49	3622	155,13	3636	88,77	3650	61,20
3594	-9,48	3608	27,91	3622	35,33	3636	5,16	3650	8,01

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>Relazione di calcolo</b>		PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b> PAGINA <b>34 di 38</b>

TABLE: Joint Reactions		TABLE: Joint Reactions		TABLE: Joint Reactions	
Joint	F3	Joint	F3	Joint	F3
Text	KN	Text	KN	Text	KN
3651	51,27	3665	129,50	3679	59,79
3651	-17,98	3665	42,17	3679	22,99
3652	40,99	3666	90,45	3680	42,81
3652	-51,52	3666	33,58	3680	-38,93
3653	86,70	3667	50,02	3681	33,93
3653	41,25	3667	22,60	3681	-106,03
3654	68,07	3668	45,17	3682	28,16
3654	31,33	3668	-9,86	3682	-172,58
3655	60,75	3669	37,90	3683	206,36
3655	20,43	3669	-60,44	3683	32,61
3656	54,58	3670	30,27	3684	122,50
3656	6,94	3670	-113,70	3684	33,46
3657	45,66	3671	153,61	3685	71,09
3657	-28,84	3671	39,47	3685	22,87
3658	36,37	3672	101,85	3686	49,63
3658	-68,51	3672	33,84	3686	-59,85
3659	107,18	3673	50,69	3687	40,30
3659	42,75	3673	22,94	3687	-135,67
3660	79,15	3674	41,93	3688	30,50
3660	32,82	3674	-22,55	3688	-208,86
3661	54,72	3675	35,38	3689	231,58
3661	21,82	3675	-81,35	3689	29,13
3662	49,31	3676	28,59	3690	128,68
3662	-0,17	3676	-141,36	3690	30,20
3663	41,29	3677	179,49	3691	85,46
3663	-42,99	3677	36,65	3691	11,41
3664	32,88	3678	112,90	3692	59,19
3664	-89,35	3678	33,76	3692	-86,86

TABLE: Joint Reactions	
Joint	F3
Text	KN
3693	250,73
3693	26,48
3694	145,75
3694	27,62

### 8.6.1 Verifica a carico limite verticale dei micropali

Per il calcolo del carico limite verticale dei micropali si è fatto riferimento alle indicazioni contenute in letteratura ("*Fondazioni*" di Carlo Viggiani); adottando la formulazione:

$$Q_{lim} = P + S = P + \pi \cdot d_s \cdot L_s \cdot s$$

Facendo riferimento a pali tipo IRS dalla quota -5,00m in poi in terreni sabbiosi si adottano valori di  $s=0,15\text{MPa}$ ,  $\alpha=1,40$  e  $L_s=10000-5000=5000\text{mm}$ , dai quali risulta un valore di  $S=989,60\text{ kN}$ ; per la resistenza alla punta si assume una resistenza pari al 15% di quella laterale, ovvero  $P=148,44\text{ kN}$ .

Nella combinazione A1+M1+R3, in assenza di indicazioni specifiche, a vantaggio di sicurezza si adottano coefficienti riduttivi della resistenza laterale, alla punta per

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>Relazione di calcolo</b>	PROGETTO <b>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>35 di 38</b>

compressione ed alla punta per trazione pari, rispettivamente, a  $\gamma_{rt}=1,15$ ,  $\gamma_{rp}=1,35$ ,  $\gamma_{rt}=1,25$  e  $\xi=1,70$ .

Il carico limite a compressione risulta essere pari a  $Q_{lim,comp.}=536,24$  kN e quello a trazione  $Q_{lim,comp.}=500,33$  kN; poichè le azioni assiali massime sollecitanti risultano essere pari a  $N_{Sd}= +250,73$  kN e  $N_{Sd}=-224,43$ , le verifiche risultano rispettate, rispettivamente, con coefficienti di sicurezza pari a  $SF_1=2,14$  e  $SF_2=2,23$ .

### **8.6.2 Verifica a carico limite orizzontale dei micropali**

La verifica a carico limite orizzontale è stata condotta tenendo conto dei tre diversi tipi di rottura (palo corto, palo lungo e palo intermedio) e adottando la minore delle tre, ridotta ulteriormente dai coefficienti riportati nelle NTC, in riferimento all'approccio A1+M1+R3.

Si riporta di seguito un quadro riepilogativo dei dati di input e dei valori ricavati.

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.    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>Relazione di calcolo</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	<b>IF1M</b>	<b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>OC.03.00.001</b>	<b>B</b>	<b>36 di 38</b>

$\gamma$	16,00	$kN/m^3$		
$\Phi_{(ridotto)}$	30,00	°		
$c'$	0,00	$kN/m^2$		
<b>Combinazione A1+M1+R3</b>				
$\gamma_{\phi}$	1,00			
$\gamma_{c'}$	1,00			
$\phi_d$	30,00	°		
$c'_d$	0,00	$kN/m^2$		
$\gamma_{b(R3)}$	1,35	<i>Base</i>		
$\gamma_{s(R3)}$	1,15	<i>Laterale in compressione</i>		
$\gamma_{st(R3)}$	1,25	<i>Laterale in trazione</i>		
<b>Verticali indagate (n.1)</b>				
$\xi_{S3}$	1,70			
<b>CARICO LIMITE ORIZZONTALE</b>				
$\gamma_{T(R3)}$	1,30			
<b>Pali a rotazione impedita</b>				
$k_p$	3,00			
$\gamma$	16,00	$kN/m^3$		
$d$	0,30	<i>m</i>		
$L$	10,00	<i>m</i>		
<b>Palo corto</b>				
$H_{PC}$	2160,02	<i>kN</i>		
$M_{max}$	14400,16	<i>kNm</i>		
<b>Palo intermedio</b>				
$M_y$	138,99	<i>kNm</i>	<i>(Ø193,7x12,5mm)</i>	
$H_{PI}$	733,91	<i>kN</i>		
<b>Palo lungo</b>				
$H_{PL}$	155,49	<i>kN</i>		
<b>Carico limite</b>				
$H_{lim}$	70,36	<i>kN</i>		
$V_{Sd}$	35,09	<i>kN</i>		
$SF$	2,01	<i>kN</i>		

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.	<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 Relazione di calcolo	PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO OC.03.00.001	REV. B	PAGINA 37 di 38

Come riportato in precedenza, il carico limite orizzontale risulta essere pari a  $H_{lim}=70,36$  kN; poiché il carico orizzontale massimo è pari a  $V_{sd}=35,09$  kN la verifica risulta rispettata.

### 8.6.3 Verifica di resistenza dei micropali

Si riporta di seguito un quadro riepilogativo delle sollecitazioni massime agenti sui micropali e le rispettive azioni resistenti, facendo riferimento ad un'armatura con tubolari  $\varnothing 197,3 \times 12,5$  mm.

Sollecitazioni massime			
$M_{Sd}$	43,43	kNm	
$V_{Sd}$	35,09	kN	
$N_{Sd}$	250,73	kN	
<b><math>\varnothing 193,7 \times 12,5</math> mm</b>			
A	7120,00	mm <sup>2</sup>	
$W_{pl}$	411100,00	mm <sup>3</sup>	
$A_v$	4532,72	mm <sup>2</sup>	
$f_{yk}$	355,00	MPa	
$\gamma_{m0}$	1,05		
$M_{Rd}$	138,99	kNm	SF= 3,20
$V_{Rd}$	884,78	kN	SF= 25,22
$N_{Rd}$	2407,24	kN	SF= 9,60

## 8.7 INCIDENZA ARMATURE

### 8.7.1 Parete sp.=160cm

Nella parete di spessore pari a 160cm sono presenti  $\varnothing 24/10''$  interni ed esterni verticali e  $\varnothing 24/20''$  interni ed esterni orizzontali, con spille  $\varnothing 16/30 \times 30''$ .

Le armature verticali e orizzontali hanno un'incidenza volumetrica pari a  $inc_1=66,6$  Kg/mc, mentre le spille hanno un'incidenza pari a  $inc_2=17,0$  Kg/mc; considerando la sovrapposizione e la piegatura delle armature correnti mediante una maggiorazione dell'incidenza di  $\frac{1}{4}$  si ottiene una incidenza complessiva pari a  $inc_{tot}=66,6 \times 1,25 + 17 = 100,25$ , arrotondata a  $inc_{tot}=105$  Kg/mc.

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>IF1M</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>OC.03.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>38 di 38</b>
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di calcolo</b>								

### **8.7.2 Fondazione h=100cm**

Nella fondazione di altezza pari a 100cm sono presenti Ø24/10x10" superiori ed inferiori con spille Ø16/30x30".

Le armature orizzontali hanno un'incidenza volumetrica pari a  $inc_1=142,1$  Kg/mc, mentre le spille hanno un'incidenza pari a  $inc_2=17,2$  Kg/mc; considerando la sovrapposizione e la piegatura delle armature correnti mediante una maggiorazione dell'incidenza di  $\frac{1}{4}$  si ottiene una incidenza complessiva pari a  $inc_{tot}=142,1 \times 1,25 + 17,2 = 194,93$ , arrotondata a  $inc_{tot}=195$  Kg/mc.