

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

MANDATARIA:

MANDANTE:



Costruzioni  
Linee  
Ferroviarie  
s.p.a.



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



PROJECT  
ingegneria integrata ®



Lombardi Ingegneria S.r.l.  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



## PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

# DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA

IN – INTERFERENZE VIARIE E IDRAULICHE

IN20 - E

Relazione di calcolo scatolare

APPALTATORE	PROGETTAZIONE		
DIRETTORE TECNICO Ing. G. Parisi	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE Ing.G. TANZI		

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

R	S	3	9	1	0	V	Z	Z	C	L	I	N	2	0	0	0	0	0	9	B	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Ricci	08/2023	C. Beltrami	08/2023	G.Tanzi	08/2023	Ing. G. Tanzi
B	EMISSIONE A SEGUITO RDV 00000000443	F. Ricci	11/2023	C. Beltrami	11/2023	G.Tanzi	11/2023	
								Novembre 2023
File: RS39-10-V-ZZ-CL-IN2000-009_B.doc								n. Elab.:

APPALTATORE: Mandatario: <span style="margin-left: 100px;">Mandante:</span>     	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <span style="margin-left: 100px;">Mandante:</span>    													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">PROGETTO</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>2 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	2 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	2 di 51								

## INDICE

<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 UTILIZZATI</b> .....	<b>7</b>
4.1	Calcestruzzo .....	7
4.2	Acciaio .....	7
<b>5</b>	<b>DURABILITÀ</b> .....	<b>8</b>
5.1.1	Ambiente di riferimento .....	8
5.1.2	Copriferro di progetto .....	8
5.1.3	Valori limiti delle tensioni .....	8
5.1.4	Limiti fessurativi .....	9
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</b> .....	<b>10</b>
6.1	Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto .....	10
6.2	Interazione terreno-struttura .....	10
6.3	Classificazione sismica .....	11
<b>7</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b> .....	<b>12</b>
7.1	Peso proprio della struttura (condizione PP) .....	12
7.2	Sovraccarico permanente (condizione PERM) .....	12
7.2.1	Spinta del terreno (condizioni SPTSX e SPTDX) .....	13
7.3	Carichi variabili .....	14
7.3.1	Carichi variabili da traffico .....	14
7.3.2	Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCX/SPACCDX) .....	16
7.3.3	Frenatura .....	17
7.4	Azioni climatiche .....	17
7.4.1	Azioni termiche .....	17
7.4.2	Ritiro .....	17
7.5	Azioni sismiche .....	17
7.5.1	Forze d'inerzia .....	21

APPALTATORE: Mandatario:  Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario:  Mandante:  													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>3 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	3 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	3 di 51								

7.5.2	Spinta sismica terreno .....	23
7.5.3	Sovrappinta orizzontale falda in condizioni sismiche.....	24
<b>8</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>25</b>
8.1	Combinazione fondamentale (STR e GEO) .....	27
8.2	Combinazione sismica.....	28
8.3	Combinazione rara.....	29
8.4	Combinazione frequente.....	29
8.5	Combinazione quasi permanente.....	29
<b>9</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI .....</b>	<b>32</b>
<b>11</b>	<b>VERIFICHE SLU .....</b>	<b>39</b>
11.1	Verifiche a pressoflessione.....	40
11.2	Verifiche a taglio.....	44
<b>12</b>	<b>VERIFICHE SLE .....</b>	<b>46</b>
12.1	Stato limite fessurativo.....	47
12.2	Analisi tensionale .....	49
<b>13</b>	<b>SCHEMA ARMATURA .....</b>	<b>51</b>

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<p style="text-align: center;"><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b></p>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> <small>Ingegneria Integrata</small> <small>Lombardi Ingegneria S.r.l. Lombardi SA Ingegneri Consulenti</small> <small>ETECO Ingegneria S.r.l.</small>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>I.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>4 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	4 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	4 di 51								

## 1 PREMESSA

La presente relazione riguarda la Progettazione Esecutiva di manufatti relativi al superamento della viabilità interferita dalla realizzazione del nuovo collegamento ferroviario veloce tra Palermo e Catania. Tale collegamento riguarda il raddoppio della linea tra la stazione di Catania Bicocca (inclusa) e quella di Catenanuova (inclusa), con un'estensione pari a 38,290 km, da realizzare in affiancamento all'esistente semplice binario e, in alcuni tratti, costruendo un nuovo doppio binario. Tale intervento consentirà il miglioramento del servizio tra Enna e Catania sia con un incremento delle frequenze dei servizi sia con una riduzione dei tempi di percorrenza tra i due capoluoghi di provincia. Lungo il tracciato sono presenti corsi d'acqua principali superati in viadotto e/o ponti e corsi d'acqua secondari in corrispondenza dei quali è prevista la realizzazione di opere di attraversamento costituite da tombini circolari e/o scatolari, con modalità realizzativa a spinta, in opera in fase unica o in due fasi.

Nella presente relazione si riportano le verifiche strutturali e geotecniche del manufatto **IN20**.

L'opera oggetto delle analisi riportate nei paragrafi seguenti rientra fra quelle inserite nella categoria denominata *"INTERFERENZE VIARIE E IDRAULICHE"*.

Si rimanda agli elaborati grafici per ulteriori dettagli.

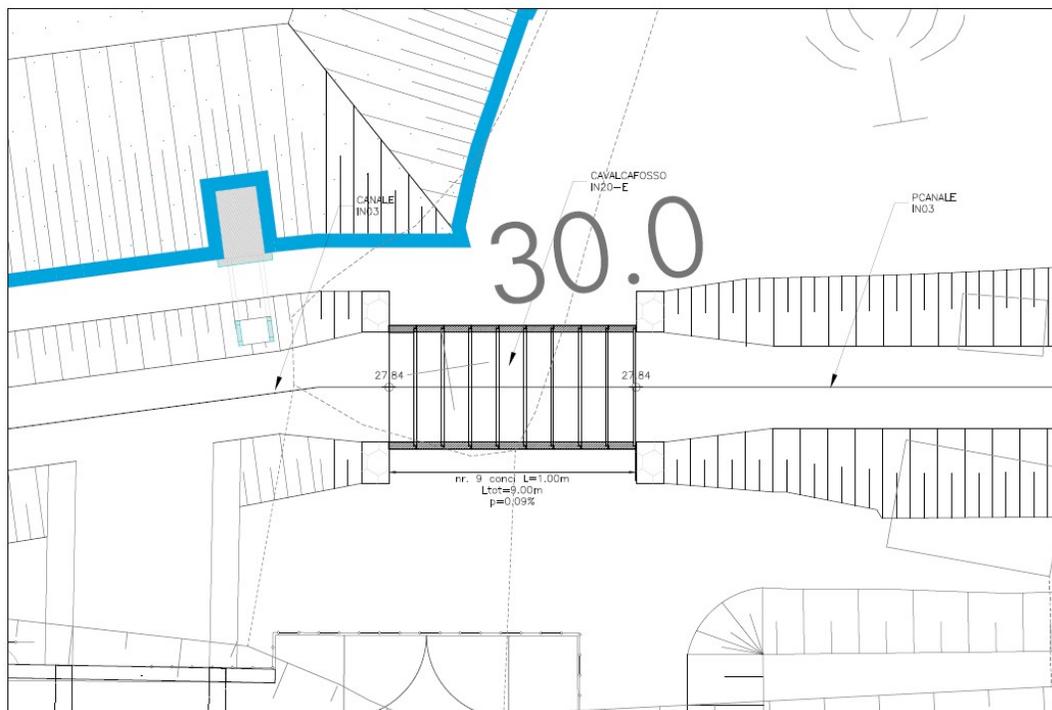


Figura 1 - Pianta tombino

APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>ingegneria Integrata</b> Mandante: <b>Lombardi</b> <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b> <b>ETECO</b> <b>ingegneria s.r.l.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>5 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	5 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	5 di 51								

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La presente relazione ha per oggetto le analisi e le verifiche dell'interferenza **IN20**, con sviluppo planimetrico complessivo pari a 9 m.

Il manufatto è costituito da una struttura scatolare di tipo classico, di dimensioni interne nette 2.50x4.00m, che planimetricamente si sviluppa per una lunghezza di 9.0 m. I piedritti e le solette hanno uno spessore pari a 0.25 m. Inoltre, è previsto un getto di calcestruzzo magro come sottofondazione, avente uno spessore di 15 cm.

Si riporta nel seguito le sezioni dello scatolare prefabbricato. Si rimanda agli elaborati grafici per ulteriori dettagli.

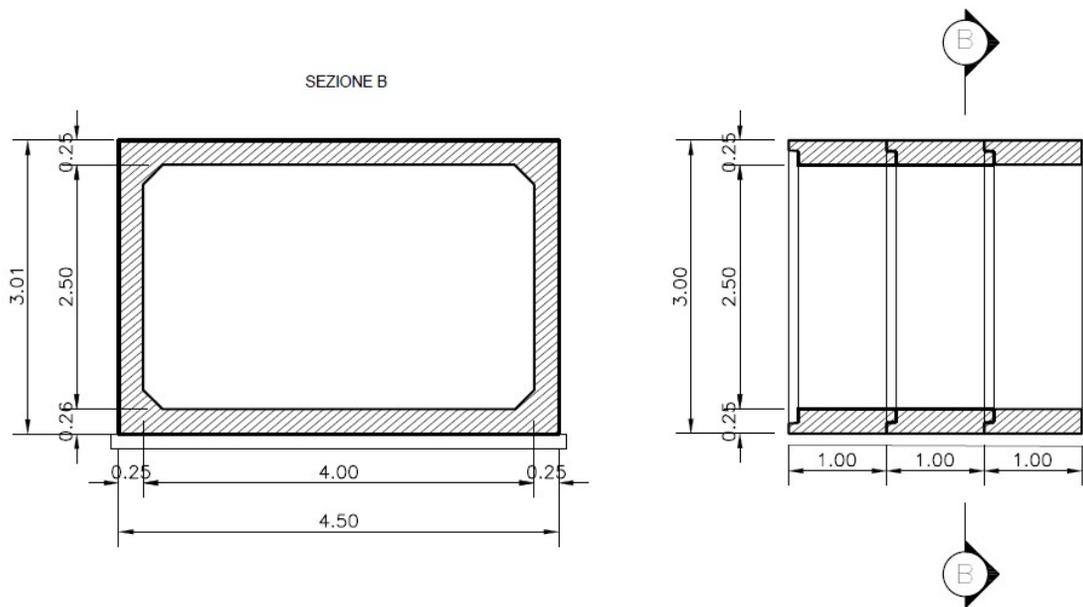


Figura 2 - Sezione dell'opera

APPALTATORE: Mandatario: <span style="float: right;">Mandante:</span>     	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <span style="float: right;">Mandante:</span>    													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">PROGETTO</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS39</td> <td>I.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>6 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	6 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	6 di 51								

### 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta tenendo in conto la seguente normativa tecnica:

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Legge 5 novembre 1971 n. 1086</i></li> <li>▪ <i>Circ. Min. LL.PP.14 Febbraio 1974, n. 11951</i></li> <li>▪ <i>Legge 2 febbraio 1974 n. 64</i></li> <li>▪ <i>D.M.Min. II. TT. del 14 gennaio 2008</i></li> <li>▪ <i>Circolare 2 febbraio 2009, n. 617</i></li> <li>▪ <i>UNI ENV 1998-5 – Gennaio 2005</i></li> <li>▪ <i>UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005</i></li> <li>▪ <i>RFI DTC INC PO SP IFS 001 A</i></li> <li>▪ <i>RFI DTC INC CS SP IFS 001 A</i></li> <li>▪ <i>RFI DTC INC PO SP IFS 003 A</i></li> <li>▪ <i>RFI DTC INC CS LG IFS 001 A</i></li> <li>▪ <i>RFI DTC INC PO SP IFS 002 A</i></li> <li>▪ <i>RFI DTC INC PO SP IFS 004 A</i></li> <li>▪ <i>RFI DTC INC PO SP IFS 005 A</i></li> <li>▪ <i>STI 2014</i></li> </ul> | <p>Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica</p> <p>Applicazione della L. 5 novembre 1971, n. 1086</p> <p>Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche</p> <p>Norme tecniche per le costruzioni</p> <p>Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008</p> <p>Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici</p> <p>-</p> <p>Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario</p> <p>Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie</p> <p>Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari</p> <p>Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra</p> <p>Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria</p> <p>Specifica per la progettazione e l'esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo</p> <p>Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia</p> <p>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</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b>  	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b>   Mandante: <b>Lombardi</b> 													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">PROGETTO</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>7 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	7 di 51								

## 4 MATERIALI UTILIZZATI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali utilizzati per il calcolo dell'opera.

### 4.1 Calcestruzzo

#### Calcestruzzo per magrone

Classe del calcestruzzo		C12/15	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	15.00	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	12.45	N/mm <sup>2</sup>

#### Calcestruzzo per tombini prefabbricati – C45/55

Classe di resistenza		C45/55	
Classe di esposizione		XA1	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	55.00	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	45.00	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza cilindrica a compressione di progetto	$f_{cd}$	25.87	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione	$f_{ctm}$	3.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctfm}$	4.71	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione di progetto	$f_{ctd}$	1.83	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico istantaneo medio (secante)	$E_{cm}$	36416	N/mm <sup>2</sup>

### 4.2 Acciaio

#### Acciaio in barre ad aderenza migliorata B450 C

Classe di acciaio		B450	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	$f_{yd}$	391.3	N/mm <sup>2</sup>
Sovra-resistenza	$f_{tk} / f_{yk}$	≥1.15	-
Modulo di elasticità	$E_s$	210000	N/mm <sup>2</sup>

APPALTATORE: Mandataria:  Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria:  Mandante:  													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>8 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	8 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	8 di 51								

## 5 DURABILITÀ

### 5.1.1 Ambiente di riferimento

Le condizioni ambientali, ai fini della valutazione della durabilità delle strutture in calcestruzzo, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella tabella seguente:

CONDIZIONI AMBIENTALI	DESCRIZIONE
Ordinarie	Tutte le sollecitazioni escluse le successive
Aggressive	Ambiente aggressivo per cause naturali, caratterizzato da elevata umidità, scarso o nullo soleggiamento.
Molto aggressive	Ambiente molto aggressivo per cause antropiche, caratterizzato da presenza di liquidi o di aeriformi particolarmente corrosivi, ambiente marino.

Nel caso in esame, le condizioni sono aggressive.

### 5.1.2 Copriferro di progetto

Secondo quanto previsto da FF. SS – Specifica *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” – i valori minimi di copriferro ( $c_{min}$ ) previsti da tale norma sono:

– Solettoni di fondazione, fondazioni armate	$c_{min}$	40	mm
– Cunette, canalette e cordoli	$c_{min}$	40	mm
– Solette (getto in opera)	$c_{min}$	35	mm

### 5.1.3 Valori limiti delle tensioni

Secondo quanto previsto da FF. SS – Specifica *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” – i valori limite delle tensioni sono:

#### Strutture in c.a.

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

- Per combinazioni di carico caratteristica (rara):  $0,55 f_{ck}$ ;



APPALTATORE: Mandatario: <span style="float: right;">Mandante:</span>     	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <span style="float: right;">Mandante:</span>    													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scaturale	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">PROGETTO</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>10 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	10 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	10 di 51								

## 6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

### 6.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Le caratteristiche geotecniche del volume di terreno che interagisce con l'opera sono state desunte dalle schede geotecniche e sono riportate di seguito.

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$ $\varphi' = 23^\circ$ $c' = 5 \text{ kPa}$ $E = 100 \text{ MPa}$	peso di volume naturale peso di volume naturale coesione drenata modulo in compressione vergine
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

La falda non influenza il regime delle spinte presenti sulla struttura.

### 6.2 Interazione terreno-struttura

Di seguito sono trattati gli aspetti di natura geotecnica riguardanti l'interazione terreno-struttura relativamente all'opera in esame.

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;

L = lato maggiore della fondazione;

$c_t$  = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960:

$$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L / B) \quad \text{rettangolare con } L / B \leq 10$$

$$c_t = 2 + 0.0089(L / B) \quad \text{rettangolare con } L / B > 10$$

q = pressione media agente sul terreno;

$\sigma_{v0}$  = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;

$\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;

E = modulo elastico medio del terreno sottostante il tombino (media su una altezza pari a 2 B).

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

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b>  	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b>   <b>Lombardi</b> 													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">PROGETTO</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">PAGINA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">RS39</td> <td style="text-align: center;">1.0.V.ZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">IN.20.00.009</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">11 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	11 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	11 di 51								

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

Per l'opera in esame, il modulo elastico operativo è posto pari a 1/3-1/5 del modulo E, e risulta pari a:

$$E = 24 \text{ MPa,}$$

dal quale risulta, secondo le formulazioni sopra riportate, un valore della costante di sottofondo pari a:

B	L	L/B	ct	E	v	kw
[m]	[m]	[-]	[-]	[kPa]	[-]	[Kn/m <sup>3</sup> ]
3.5	9	2.571	1.357	24000	0.3	5552

### 6.3 Classificazione sismica

Il valore dell'accelerazione orizzontale massima in condizioni sismiche è stato definito in accordo alle Nuove Norme Tecniche.

La categoria di suolo di fondazione viene definita sulla base della conoscenza di  $c_{u,30}$ . In particolare, nel caso in esame si considera una categoria di suolo di tipo 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  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).”*

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b>  	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH</b>  <b>Lombardi</b>  													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>PAGINA</td> </tr> <tr> <td>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>12 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	12 di 51								

## 7 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche del tombino prefabbricato:

Dimensioni interne	B x H =	2,50 x 4,00 m
Spessore	$S_i =$	0,25 m

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 ai lati dello scatolare sono indicati nella seguente tabella.

	$\gamma$ [ kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]
Calcestruzzo	25.00	-
Pavimentazione	20.00	-
Massetto delle pendenze	24.00	-
Terreno ai lati dello scatolare	19.00	38

### 7.1 Peso proprio della struttura (condizione PP)

Il *peso proprio* delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo  $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$ .

Peso soletta superiore:  $P_{ss} = 0,25 \cdot 25 \cdot 1 = \mathbf{6,25 \text{ kN/m}}$

Peso soletta inferiore:  $P_{si} = 0,25 \cdot 25 \cdot 1 = \mathbf{6,25 \text{ kN/m}}$

Peso piedritti:  $P_p = 0,25 \cdot 25 \cdot 1 = \mathbf{6,25 \text{ kN/m}}$

### 7.2 Sovraccarico permanente (condizione PERM)

*Peso permanenti* portati soletta superiore:

Sul solettone superiore si considera uno spessore di ricoprimento in misto stabilizzato medio di 0.43 m con peso per unità di volume  $\gamma_{ric} = 20.00 \text{ kN/m}^3$ .

$h_r$	$\gamma_r$	$P_{per}$
[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
0.43	20.00	8.60

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> Mandante: <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>13 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	13 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	13 di 51								

### 7.2.1 Spinta del terreno (condizioni SPTSX e SPTDX)

La struttura è stata analizzata nella condizione di spinta a riposo. Il coefficiente di spinta è stato calcolato utilizzando la formula  $K_0 = 1 - \sin\Phi'$ , per cui si ottiene il valore  $K_0 = 0.384$ .

La pressione del terreno è stata calcolata come:

$$P = (P_{per} + h_{variabile} * \gamma_{\text{terreno\_piedritto}}) * K_0$$

per cui risulta:

$$\text{Pressione estradosso soletta superiore} \quad P_1 = P_b * K_0$$

$$\text{Pressione in asse soletta superiore} \quad P_2 = P_1 + (s_{sol}/2 * \gamma_r) * K_0$$

$$\text{Pressione in asse soletta inferiore} \quad P_3 = P_2 + (h_{modello}/2 * \gamma_r) * K_0$$

$$\text{Pressione intradosso soletta inferiore} \quad P_4 = P_3 + (s_{fondazione}/2 * \gamma_r) * K_0$$

Nella figura seguente si riporta il diagramma di spinta del terreno agente sui piedritti.

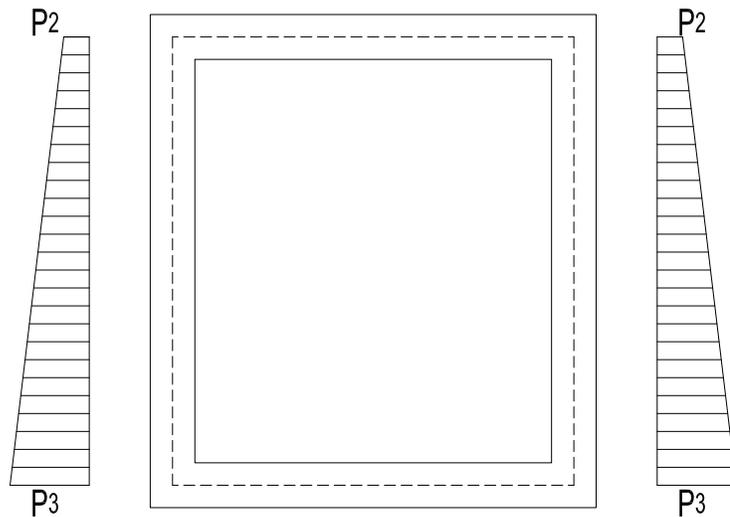


Figura 3 - Spinte del terreno

Alle spinte rappresentate dai diagrammi indicati in figura sono stati aggiunti, come carichi concentrati nei nodi 1 e 3 (per la SPTSX) oppure 2 e 4 (per la SPTDX), i contributi delle spinte del terreno esercitate su metà spessore della soletta di copertura e di fondazione.

**Spinta semi spessore sol. sup.**  $1/2 * (P_1 + P_2) * (s_{sol} / 2)$

**Spinta semi spessore sol. inf.**  $1/2 * (P_3 + P_4) * (s_{fond} / 2)$

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> Mandante: <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b>	
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatorale	

$\phi$	$k_0$	$s$	$h$ modello	P1	P2	P3	P4
[°]	[-]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
35.000	0.426	0.25	2.75	3.67	4.69	24.92	25.93

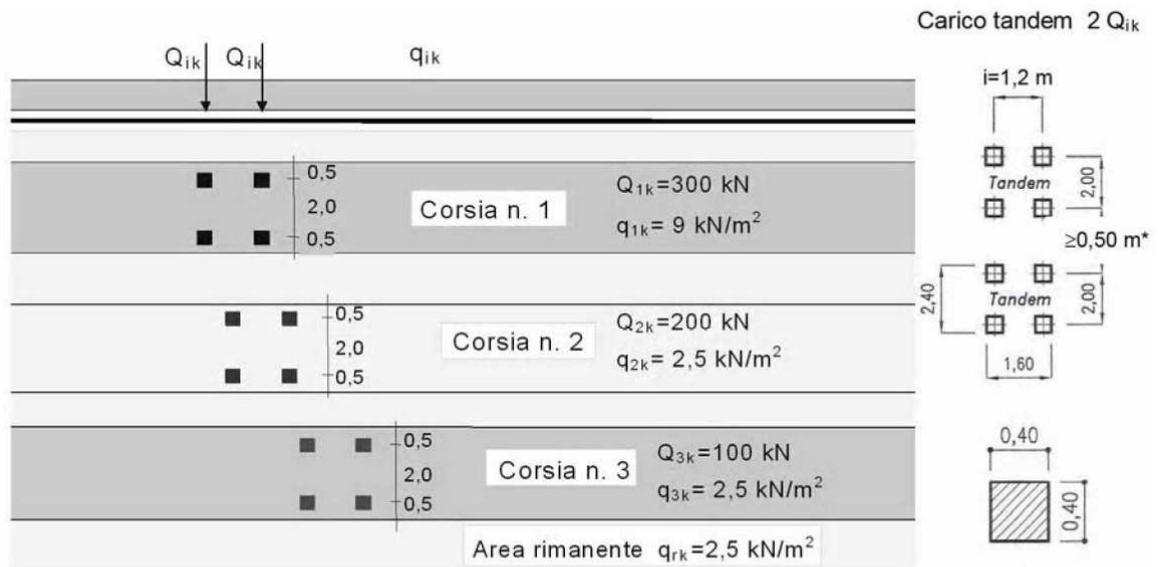
Azioni modello			
P2	P3	P12	P34
[kN/m]	[kN/m]	[kN]	[kN]
4.69	24.92	0.52	3.18

### 7.3 Carichi variabili

#### 7.3.1 Carichi variabili da traffico

Con riferimento alle norme vigenti (paragrafi 5.1.3. del D.M. 14.01.2008), come azioni variabili da traffico gravante sulla soletta superiore e sulla fondazione, si assume lo schema di carico 1.

Schema di carico 1: è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in Figura.



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

\*per  $w_1 \leq 2,90$  m

Figura 4 – Carichi veicolari sulle corsie

APPALTATORE: Mandatario:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>15 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	15 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	15 di 51								

Il numero delle colonne di carichi mobili e la loro disposizione sono quelli massimi compatibili con la larghezza della carreggiata considerata, per i ponti di 1<sup>a</sup> Categoria.

Posizione	Carico asse $Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia Numero 1	300	9
Corsia Numero 2	200	2,5
Corsia Numero 3	100	2,5
Altre corsie	0,00	2,50

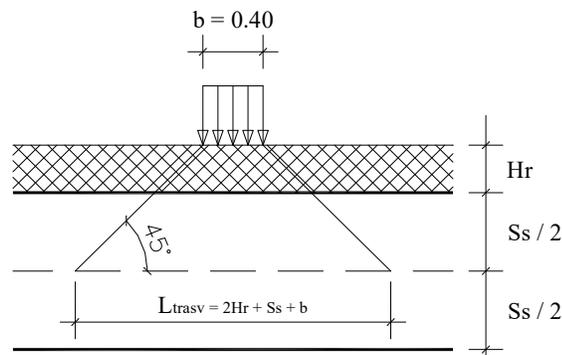
Le azioni variabili del traffico definite nello Schema di Carico 1 sono costituite da:

- Carichi concentrati  $Q_{Ik} = 300$  kN con interasse  $i = 1,20$  lungo il senso di marcia e di larghezza 2,40 m (comprese le impronte);
- Carico ripartito  $q_{Ik} = 9$  kN/m<sup>2</sup>.

Schema di carico 1: è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in Figura.

Si precisa che secondo il Nuovo Testo Unico del 14 gennaio 2008, i carichi mobili includono gli effetti dinamici.

Il carichi concentrati si assumono uniformemente distribuiti sulla superficie della rispettiva impronta. La diffusione attraverso la pavimentazione, lo spessore della soletta e nel rilevato stradale si considera avvenire nei rapporti indicati di seguito:



Rilevato	$H_r$	0.18	3	2
Soletta	$S_s$	0.25	1	1
Pavimentazione	$S_p$	0,20	1	1
Massetto	$S_m$	0.05	1	1

APPALTATORE: Mandataria:  Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria:  Mandante:  													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>16 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	16 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	16 di 51								

### Diffusione trasversale

Considerando lo schema di carico 1, gli assi da 150 kN vengono ripartiti e trasmessi sulla soletta considerando una diffusione attraverso la pavimentazione, il terreno e la soletta. Si calcola la larghezza di ripartizione in senso longitudinale. Il ricoprimento medio è di circa 0.18 m.

$$L_{\text{long}} = 0.40 + 2 \times (H_r * b_r/a_r) + 2 \times (s_s / 2 * b_s/a_s) + 2 \times (s_p * s_p/a_p)$$

Poiché  $L_{\text{long}} > 1.20$  m, le impronte di carico si sovrappongono in senso longitudinale. Si assume quindi:

$$L^*_{\text{long}} = 2 \times (H_r * b_r/a_r) + 2 \times (s_s / 2) + 0.40 + 1.20$$

In senso trasversale:

$$L_{\text{trasv}} = 2 \times (H_r * b_r/a_r) + 2 \times (s_s / 2) + 2 \times (s_p * s_p/a_p) + 0.4$$

Poiché  $L_{\text{trasv}} < 2.00$  m, le impronte di carico non si sovrappongono in senso trasversale.

Pertanto, il carico relativo a ciascuna coppia di impronte da 150 kN risulta pari a:

$$Q_{1a} = 2 \times 150 \text{ kN} / (L^*_{\text{long}} \times L_{\text{trasv}})$$

Il carico distribuito  $q_{1b}$  è pari a 9 kN/m<sup>2</sup> e va applicato lungo tutta la striscia di carico, riportato a ml di struttura:

$$q'_{1b} = 9 \text{ kN/m}$$

$h_r$	$h_{\text{pav, strad}}$	$h_m$	$h_s$	$b_r/a_r$	$b_s/a_s$	$b_p/a_p$	$b_m/a_m$	$L^*_{\text{long}}$	$L_{\text{trasv}}$	$Q_{1a}$	$q_{1b}$
[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]
0.18	0.20	0.05	0.25	0.67	1.00	1.00	1.00	2.60	1.40	82.4	9.00

### 7.3.2 Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCX/SPACCDX)

Il carico veicolare sul rilevato a ridosso del piedritto ha intensità pari a:

$$[2 \times 150 \text{ kN} / (L^*_{\text{long}} \times L_{\text{trasv}})] * K_0$$

la spinta prodotta dal carico ripartito vale:

$$q = (91.4) * K_0 = 91.4 \times 0.426 = 38.94 \text{ kN/m}$$

Tali carichi sono introdotti nel modello come carichi uniformemente distribuiti sui piedritti.

Oltre ai carichi suddetti, sono aggiunti, come carichi concentrati nei nodi 1 e 2 per la spinta sul piedritto sinistro e 3 e 4 per la spinta sul piedritto destro, la parte di sopra spinta dei carichi esercitata su ½ spessore della soletta superiore e su ½ spessore della soletta inferiore, di valore pari a:

$$Q = 38.94 \times 0.125 = 4.87 \text{ kN}$$

APPALTATORE: Mandatario: <span style="float: right;">Mandante:</span>     	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <span style="float: right;">Mandante:</span>    													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">PROGETTO</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">PAGINA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">RS39</td> <td style="text-align: center;">1.0.V.ZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">IN.20.00.009</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">17 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	17 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	17 di 51								

### 7.3.3 Frenatura

Per quanto riguarda l'azione di frenatura, definita al paragrafo 5.1.3.5. del *D.M.14/01/08*, è funzione del carico agente sulla corsia convenzionale n.1:

$$180kN \leq q_3 = 0.6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900kN$$

dove

$w_1$  è la larghezza della corsia

$L$  è la lunghezza della zona caricata. Nella seguente tabella è riportato come  $B$ .

$$Q_{frenatura} = q_3 / L_{trav} * B_{modello}$$

L'azione della frenatura è stata diffusa a 45° partendo dalla larghezza della corsia, fino ad arrivare all'estremità opposta dello scatolare. Pertanto, la larghezza di diffusione trasversale risulta pari a 6.5 m.

FRENATURA					
$Q_{ik}$	$q_{ik}$	$B$	$B_{modello}$	$q_3$	$Q_{frenatura}$
[kN/m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[kN]	[kN/m]
150	9	3.50	3.25	369.45	17.5

## 7.4 Azioni climatiche

### 7.4.1 Azioni termiche

Alla soletta superiore si è applicata una variazione termica uniforme pari a  $\Delta T = 15^\circ C$ , adottando un coefficiente di dilatazione termica  $\alpha = 10 \times 10^{-6}$ . Si considera una variazione termica differenziale  $\Delta T = 5^\circ C$  sulla soletta superiore, adottando un coefficiente di dilatazione termica  $\alpha = 10 \times 10^{-6}$ .

### 7.4.2 Ritiro

I fenomeni di ritiro sono stati considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente pari a:  $\Delta T_{ritiro} = -8.12^\circ C$ . Il calcolo viene condotto secondo le indicazioni nell'EUROCODICE 2-UNI EN992-1-1 Novembre 2005 e D.M. 14-01-2008.

## 7.5 Azioni sismiche

In ottemperanza al D.M. del 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni), le verifiche sono state condotte con il metodo semi-probabilistico agli stati limite.

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

- nei confronti degli stati limite di esercizio siano rispettate le verifiche relative allo Stato Limite di Danno;

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b>  	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b>  													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>18 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	18 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	18 di 51								

- nei confronti degli stati limite ultimi siano rispettate le verifiche relative allo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni che l'opera a realizzarsi deve assolvere durante un evento sismico; nel caso di specie per la funzione che l'opera deve espletare nella sua vita utile, è significativo calcolare lo Stato Limite di Danno (SLD) per l'esercizio e lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per lo stato limite ultimo.

In merito alle opere scatolari di cui trattasi, nel rispetto del punto §7.9.2. delle NTC, assimilando l'opera scatolare alla categoria delle spalle da ponte, rientrando tra le opere che si muovono con il terreno (§ 7.9.2.1), si può ritenere che la struttura debba mantenere sotto l'azione sismica il comportamento elastico; queste categorie di opere che si muovono con il terreno non subiscono le amplificazioni dell'accelerazione del suolo.

Per la definizione dell'azione sismica, occorre definire il periodo di riferimento PVR in funzione dello stato limite considerato:

- la vita nominale ( $V_N$ ) dell'opera.
- la classe d'uso.
- il periodo di riferimento ( $V_R$ ) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso.

La pericolosità sismica di base è stata definita sulla base delle coordinate geografiche del sito di realizzazione dell'opera:

- Longitudine: 15.035908°
- Latitudine: 37.456399°

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

- Classe d'uso: III
- Coefficiente d'uso  $C_U$ : 1.5
- Vita nominale  $V_N$ : 75anni
- Categoria di suolo: C
- Condizione topografica: T1
- Fattore di struttura q: 1

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b> <b>ingegneria Integrata</b> Mandante: <b>Lombardi</b> <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b> <b>ETECO</b> <b>ingegneria s.r.l.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scotolare</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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>19 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	19 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	19 di 51								

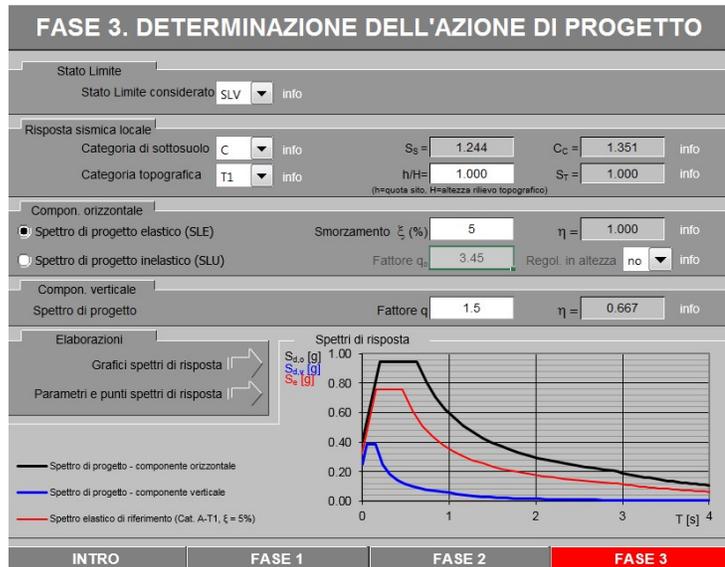


Figura 5 Pericolosità sismica del sito



Figura 6 Vita di progetto della costruzione

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> Mandante: <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatorale</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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>20 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	20 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	20 di 51								



#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.322 g
$F_0$	2.358
$T_C$	0.466 s
$S_B$	1.244
$C_C$	1.351
$S_T$	1.000
$q$	1.000

#### Parametri dipendenti

$S$	1.244
$\eta$	1.000
$T_B$	0.210 s
$T_C$	0.630 s
$T_D$	2.889 s

Figura 7 Parametri dello spettro di risposta orizzontale allo SLV

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH</b> <b>PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> <small>ingegneria integrata</small> <small>Lombardi Ingegneria S.r.l. Lombardi SA Ingegneri Consulenti</small> <small>ingegneria s.r.l.</small>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scolare	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>21 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	21 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	21 di 51								

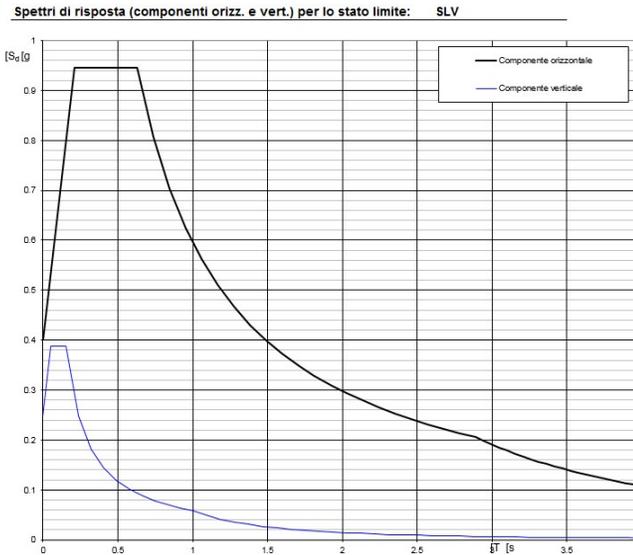


Figura 8 Grafici spettri di risposta orizzontale e verticale allo SLV

### 7.5.1 *Forze d'inerzia*

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ .

Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

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

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

I coefficienti sismici orizzontale ( $k_h$ ) e verticale ( $k_v$ ) vengono valutati mediante le seguenti espressioni, in accordo con quanto esposto come esposto al paragrafo 7.11.6 delle NTC08, assumendo il coefficiente  $\beta_m$  unitario, essendo lo scolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno:

$$k_h = \beta_m \cdot a_{\max} / g$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

I parametri sismici nel caso in esame sono:

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>											
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  												
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>22 di 51</td> </tr> </table>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	22 di 51								

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	68	0.080	2.493	0.281
SLD	113	0.103	2.502	0.290
SLV	1068	0.322	2.358	0.466
SLC	2193	0.461	2.353	0.526

Tabella 1 Parametri azione sismica

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è pari a:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1,244 \cdot 1 \cdot 0,322g = 0,401g$$

dove:

$S_S=1,245$  Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T=1,00$  Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$k_h = a_{max}/g = \mathbf{0,401}$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h = \mathbf{0,20}$$

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

$$G_1 + G_2 + \psi_2 Q_{kj}$$

Pertanto, avremo che:

Massa associata alla soletta superiore:  $G_1$

Massa associata al carico permanente  $G_2$

Massa treno  $Q_k$

$$\psi_{2j} = 0$$

AZIONE SISMICA			
G1+G2	F'h	F''h	F''v
[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
14.87	5.96	2.51	2.981

APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> Mandante: <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>23 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	23 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	23 di 51								

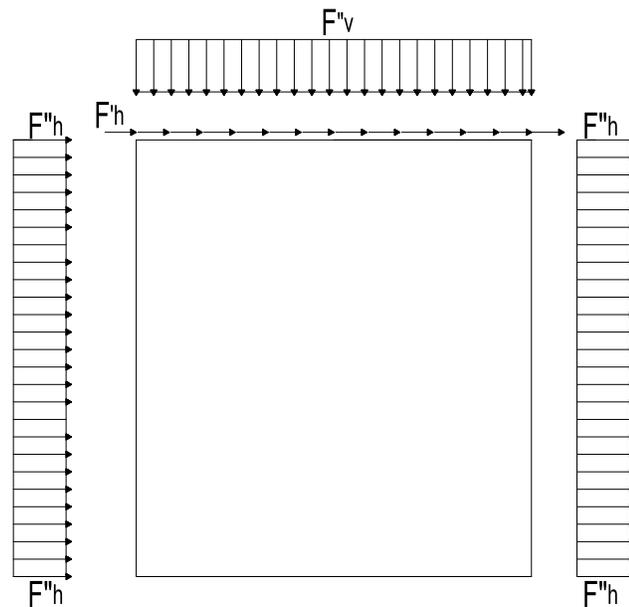


Figura 9 – Forze sismiche agenti sulla struttura

### 7.5.2 *Spinta sismica terreno*

Le spinte delle terre, considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti (par. 7.11.6.2.1 D.M. 14.01.08), 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:

$$\Delta S_e = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot H^2$$

e va a sommarsi alle condizioni statiche valutate in condizioni di spinta a riposo.

Tale risultante, applicata ad un'altezza pari ad H/2, si è considerata agente su uno solo dei piedritti dell'opera.

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> <small>ingegneria integrata</small> <small>Lombardi Ingegneria S.r.l. Lombardi SA Ingegneri Consulenti</small> <small>ingegneria s.r.l.</small>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>24 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	24 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	24 di 51								

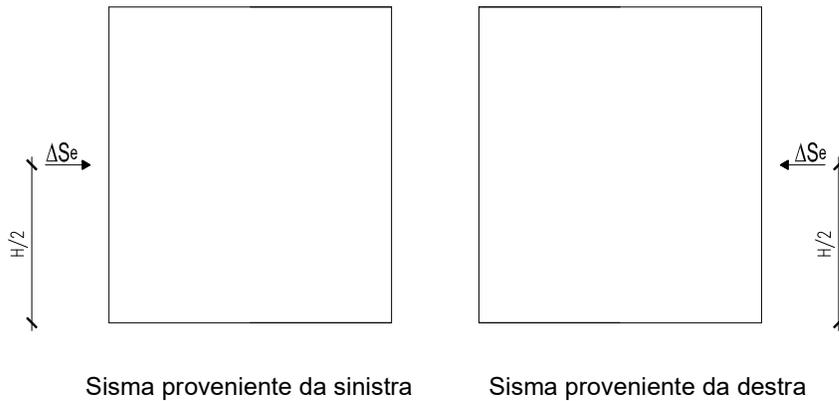


Figura 10 - Spinta sismica del terreno secondo la teoria di Wood

nel modello di calcolo, nella condizione SPSSX e SPSPDX, si è applicato il valore della forza sismica per unità di superficie agente su un piedritto, pari a:

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) \cdot \gamma \cdot H = 0.401 \times 19 \times 3.43 = 26.13 \text{ kN/m}^2$$

con H pari all'altezza dal piano di progetto alla fondazione dello scatolare.

Oltre ai carichi suddetti, sono aggiunti, come carichi concentrati nei nodi 1 e 2 la parte di sovraspinta esercitata su ½ spessore della soletta superiore e su ½ spessore della soletta inferiore, pari a:

$$\Delta S_E = 26.13 \times 0.125 = 3.27 \text{ kN}$$

### 7.5.3 Sovrappinta orizzontale falda in condizioni sismiche

Assente.

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>				
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	PROGETTO RS39	LOTTO 1.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN.20.00.009	REV. B	PAGINA 25 di 51

## 8 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico, utilizzate per condurre le verifiche agli stati limite ultimi e agli stati limite di esercizio, sono state originate in ottemperanza con quanto prescritto dalla vigente normativa.

Per le verifiche agli stati limite si adottano i valori dei coefficienti parziali riportati in tabella 5.1.V e i coefficienti di combinazione  $\psi$  riportati in tabella 5.1.VI.

**Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU**

		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

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> 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.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

**Tabella 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali**

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
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve $q_s$	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	$T_k$	0,6	0,6	0,5

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b>  	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b>  Mandante: <b>Lombardi</b> 													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">PROGETTO</td> <td style="width: 15%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 10%;">REV.</td> <td style="width: 10%;">PAGINA</td> </tr> <tr> <td>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>26 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	26 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	26 di 51								

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al cap.2 delle NTC.

Gli stati limiti ultimi delle opere interraste si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico sono combinate con un coefficiente  $\psi_2 = 0$  (punto 3.2.4 del DM 14/01/2008) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico. Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

Peso proprio	PP
Carichi permanenti (ricoprimento + massetto)	PERM
Spinta del terreno sui piedritti	SPTSX - SPTDX
Carichi variabili verticali (veicolare)	ACCM
Spinta del carico accidentale sulla parete SX	SP <sub>ACCSX</sub>
Spinta del carico accidentale sulla parete DX	SP <sub>ACCDX</sub>
Frenatura	AVV
Variazione termica	TERM
Ritiro	RIT.
Azione sismica orizzontale con sisma proveniente da sinistra	SISMA H Sx
Azione sismica orizzontale con sisma proveniente da destra	SISMA H Dx
Azione sismica Verticale	SISVER
Incremento sismico della spinta del terreno sinistra	SPSSX
Incremento sismico della spinta del terreno destra	SPSDX

Tabella 2– Riepilogo condizioni di carico

Si riportano di seguito le combinazioni allo SLU di carico ritenute più significative.

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>											
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  												
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>27 di 51</td> </tr> </table>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	27 di 51								

## 8.1 Combinazione fondamentale (STR e GEO)

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

	PP	PERM	SPTSX	SPTDX	ACC	SPACCSX	SPACCDX	AVV	TERM	RIT
STR1	1.35	1.5	1	1	1.35		1.35			
STR2	1.35	1.5	1	1	1.35				0.9	1.2
STR3	1.35	1.5	1	1	1.35					
STR4	1.35	1.5	1	1.35	1.35		1.35			
STR5	1.35	1.5	1.35	1.35	1.35		1.35			
STR6	1.35	1.5	1.35	1.35			1.35			
STR7	1.35	1.5	1	1.35	1.35		1.35		0.9	1.2
STR8	1	1	1	1.35			1.35			
STR9	1.35	1.5	1	1.35	1.35		1.35		0.9	1.2
STR10	1.35	1.5	1.35	1	1.35	1.35			0.9	1.2
STR11	1.35	1.5	1.35	1	1.012		1.012		1.5	1.2
STR12	1.35	1.5	1.35	1	1.012		1.012		1.5	1.2
STR13	1.35	1.5	1.35	1	1.012		1.012	1.35	0.9	1.2
GEO1	1	1.3	1	1	1.15		1.15			
GEO2	1	1.3	1	1	1.15				0.78	1
GEO3	1	1.3	1	1	1.15					
GEO4	1	1.3	1	1	1.15		1.15			
GEO5	1	1.3	1	1	1.15		1.15			
GEO6	1	1.3	1	1			1.15			
GEO7	1	1.3	1	1	1.15		1.15		0.78	1
GEO8	1	1	1	1			1.15			
GEO9	1	1.3	1	1	1.15		1.15		0.78	1
GEO10	1	1.3	1	1	1.15	1.15			0.78	1
GEO11	1	1.3	1	1	0.86		0.86		1.3	1
GEO12	1	1.3	1	1	0.86		0.86		1.3	1
GEO13	1	1.3	1	1	0.86		0.86	1.15	0.78	1

Tabella 3 - Combinazioni di carico SLU (non sismiche)

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare		<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>28 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	28 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA									
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	28 di 51									

## 8.2 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:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.30 \times E_Z \quad \text{oppure} \quad E = \pm 0.30 \times E_Y \pm 1.00 \times E_Z$$

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

	PP	PERM	SPTSX	SPTDX	ACC	SPACCSX	SPACCDX	AVV	TERM	RIT.	SSX	SDX	SPSSX	SPSDX	SVZ
SLV1	1	1	1	1					0.5			1		1	0.3
SLV2	1	1	1	1					0.5			1		1	-0.3
SLV3	1	1	1	1					0.5			1	1		0.3
SLV4	1	1	1	1					0.5			1	1		-0.3
SLV5	1	1	1	1					0.5			0.3		0.3	-1
SLV6	1	1	1	1					0.5			0.3		0.3	1
SLV7	1	1	1	1					0.5			0.3	0.3		-1
SLV8	1	1	1	1					0.5			0.3	0.3		1
SLV9	1	1	1	1					0.5		1		1		0.3
SLV10	1	1	1	1					0.5		1		1		-0.3
SLV11	1	1	1	1					0.5		1			1	0.3
SLV12	1	1	1	1					0.5		1			1	-0.3
SLV13	1	1	1	1					0.5		0.3		0.3		-1
SLV14	1	1	1	1					0.5		0.3		0.3		1
SLV15	1	1	1	1					0.5		0.3			0.3	-1
SLV16	1	1	1	1					0.5		0.3			0.3	1

Tabella 4 - Combinazioni di carico sismiche

Si riportano infine, le combinazioni di carico agli stati limite di esercizio SLE ritenute più significative ed utilizzate per le verifiche a fessurazione.

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatoiare			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>PAGINA</td> </tr> <tr> <td>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>29 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA									
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	29 di 51									

### 8.3 Combinazione rara

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

	PP	PERM	SPTSX	SPTDX	ACC	SPACCSX	SPACCDX	AVV	TERM	RIT
SLE1	1	1	1	1	1	1	1		0.6	
SLE2	1	1	1	1	1	1	1		0.6	1
SLE2	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	1	0.6	1

Tabella 5–Combinazioni di carico SLE – rara

### 8.4 Combinazione frequente

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

	PP	PERM	SPTSX	SPTDX	ACC	SPACCSX	SPACCDX	AVV	TERM	RIT
SLE Fr	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75		0.6	1

Tabella 6–Combinazioni di carico SLE – frequente

### 8.5 Combinazione quasi permanente

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

	PP	PERM	SPTSX	SPTDX	ACC	SPACCSX	SPACCDX	AVV	TERM	RIT
SLE QP	1	1	1	1					0.5	1

Tabella 7–Combinazioni di carico SLE – quasi permanente

APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> <small>ingegneria integrata s.p.a.</small> <small>Lombardi Ingegneria S.r.l. Lombardi SA Ingegneri Consulenti</small> <small>ingegneria s.p.a.</small>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>30 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	30 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	30 di 51								

## 9 MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo attraverso il quale è stata schematizzata la struttura è quello di telaio chiuso su letto di molle alla Winkler. Il programma di calcolo utilizzato è un programma ad elementi finiti, il Midas Civil 2021, v. 1.2, sviluppato dalla società MIDAS Information Technology Co., Ltd. (Seongnam, Gyeonggi-do, 463-824, Korea).

Le caratteristiche delle aste modellate con elementi frame sono le seguenti:

Soletta di copertura = Sezione 100 x 25 cm

Piedritti = Sezione 100 x 25 cm

Soletta di fondazione = Sezione 100 x 25 cm

La modellazione dei piedritti è stata effettuata mediante un insieme di aste; la discretizzazione adottata ha consentito un calcolo più preciso delle caratteristiche delle sollecitazioni indotte dai carichi di forma trapezia (o triangolare) rappresentati dalle spinte del terreno.

L'opera è stata considerata vincolata alla base mediante dei vincoli cedevoli in funzione delle caratteristiche elastiche del terreno di sottofondo.

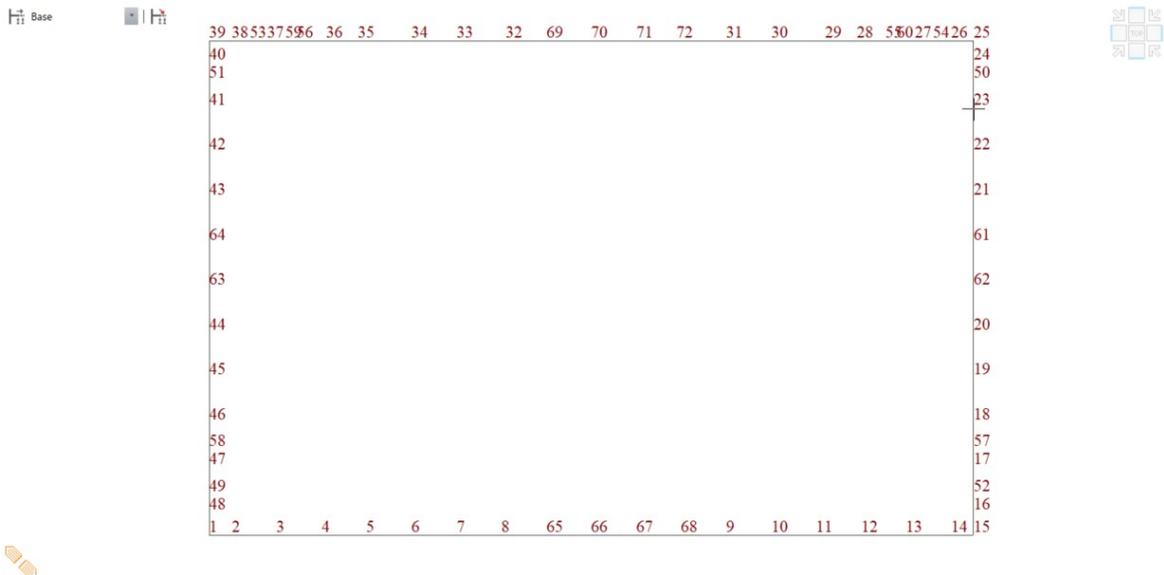


Figura 11 - Modello F.E.M struttura - numerazione nodi

APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> Mandante: <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>31 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	31 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	31 di 51								

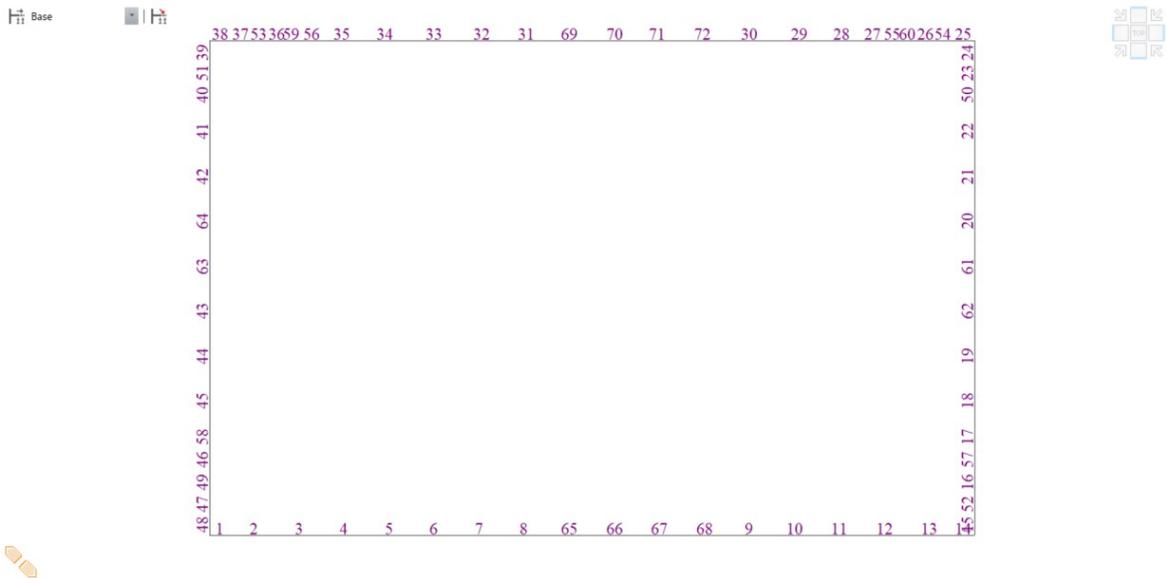


Figura 12 – Modello F.E.M. struttura – numerazione elementi

La soletta di sottofondo è divisa in 18 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno-struttura. Come indicato nel paragrafo 5.2, la costante di sottofondo è pari a:

$$k_w = 5552 \text{ kN/m}^3.$$

Considerando un numero fisso e pari a 15 molle elastiche, si ricavano i valori delle singole molle, da inserire nel modello.

Per le molle centrali (dal nodo 14 al nodo 27), il valore della singola molla è pari a:

$$k_{\text{centrale}} = k_w * (s_p/2 + L_{\text{int}} + s_p/2)/10$$

I valori delle molle di spigolo (nodo 1 e 2) si ottengono con la seguente formulazione:

$$k_{\text{spigolo}} = 2 * k_w * (s_p/2 + L_{\text{int}} + s_p/2)/10/2 + (s_p/2)$$

ed infine i valori delle molle nei nodi 5, 13, 23, 6, come da letteratura si assumono:

$$k = 1.5 * k_{\text{centrale}}$$

Al fine di rimuovere la labilità strutturale, vengono disposte in corrispondenza di tutti i nodi della soletta inferiore delle molle orizzontali di rigidezza pari a 1/3 della rigidezza verticale delle molle verticali corrispondenti.

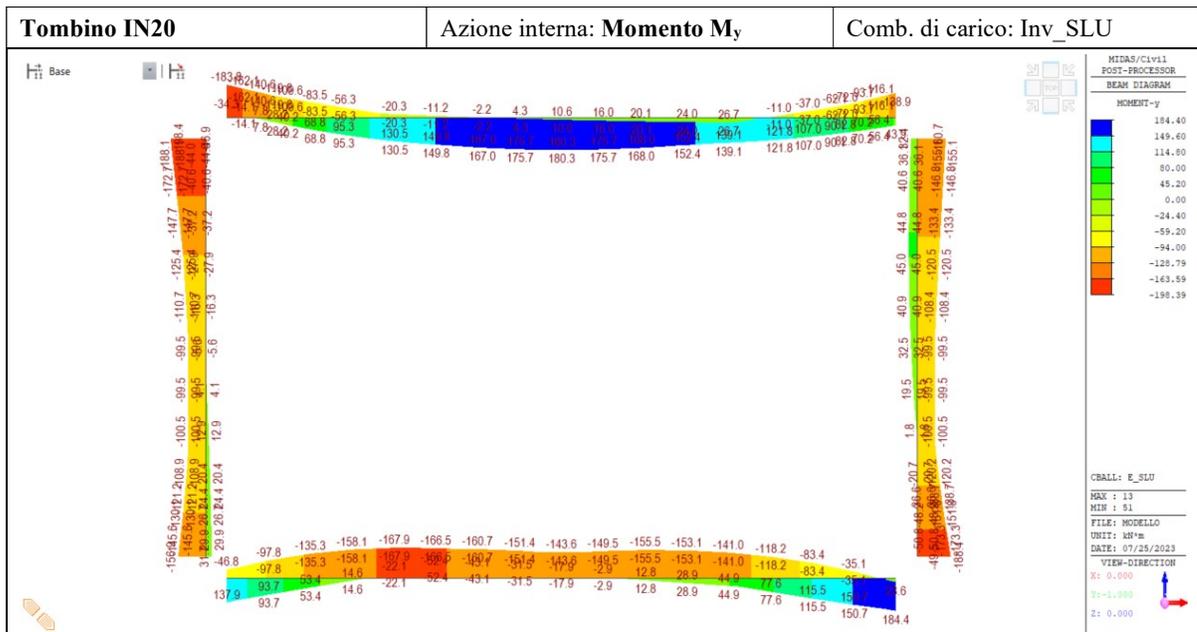
APPALTATORE: Mandatario: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">     </div>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scotolare	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>32 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	32 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	32 di 51								

## 10 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

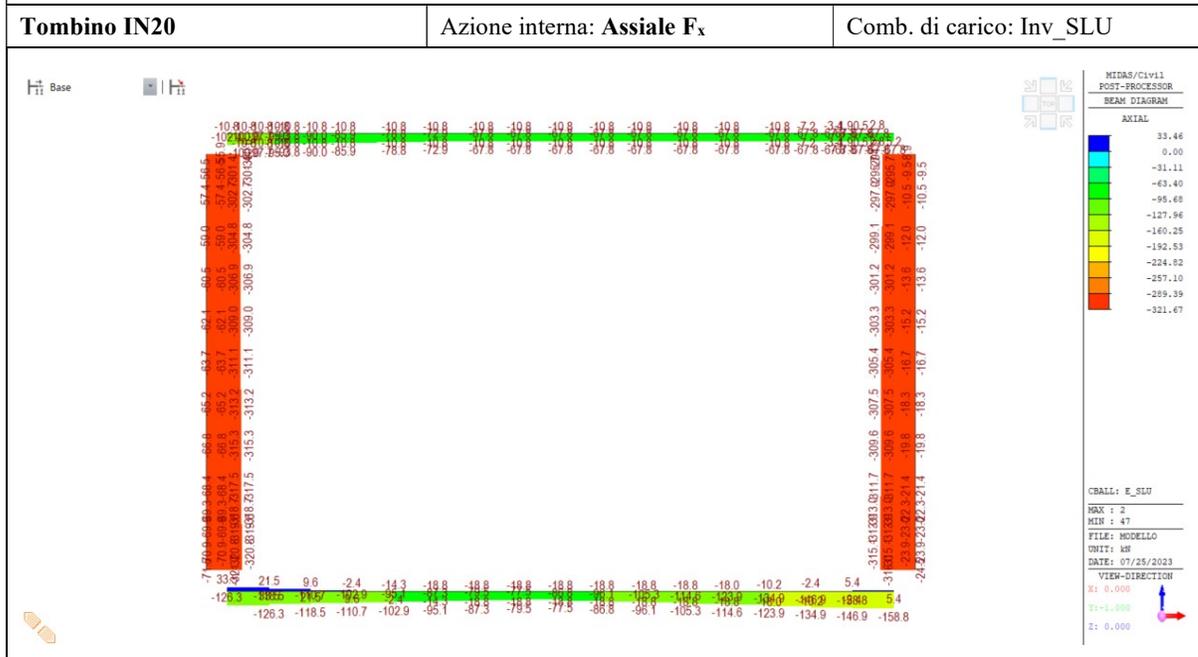
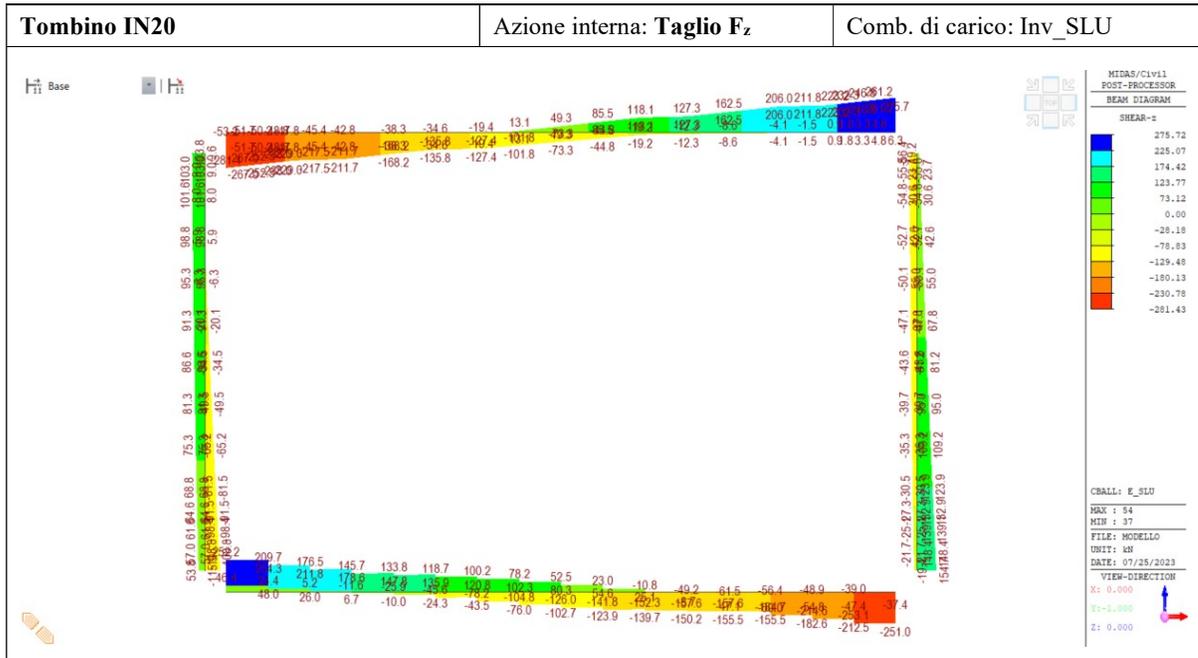
Di seguito si riportano i diagrammi di involuppo delle caratteristiche delle sollecitazioni di Flessione, e Taglio, ottenuti rispettivamente per:

- le combinazioni delle azioni per le verifiche agli SLU (Inv\_SLU)
- le combinazioni delle azioni in presenza di sisma, con  $E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.30 \times E_Z$  (Inv\_Sh)
- le combinazioni delle azioni per le verifiche agli SLE Rara, Frequente e Q-Perm

Come precisato nel paragrafo 9, il modello numerico è sviluppato considerando l'asse degli elementi strutturali.



APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> Mandante: <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegnery Consulenti</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>I.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>33 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	33 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	33 di 51								



APPALTATORE:  
Mandatario: **salini impregilo**

Mandante: **ASTALDI** **Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.** **S.I.F.E.L.**

---

APPALTATORE:  
Mandatario: **TECH PROJECT** **ingegneria Integrata**

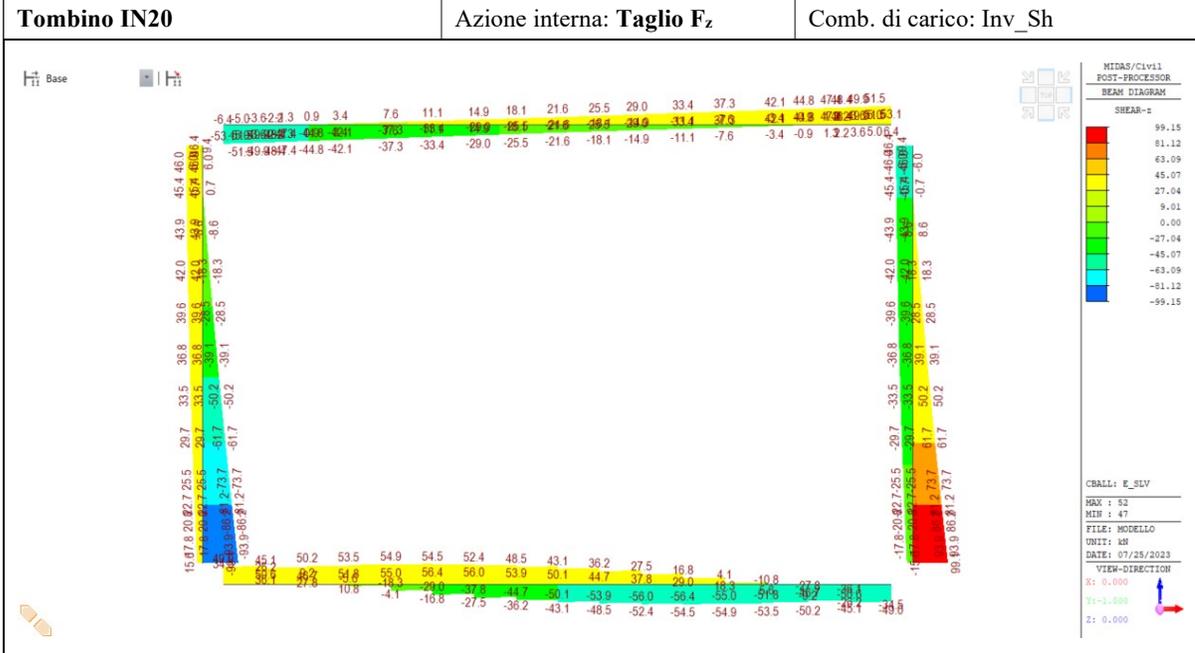
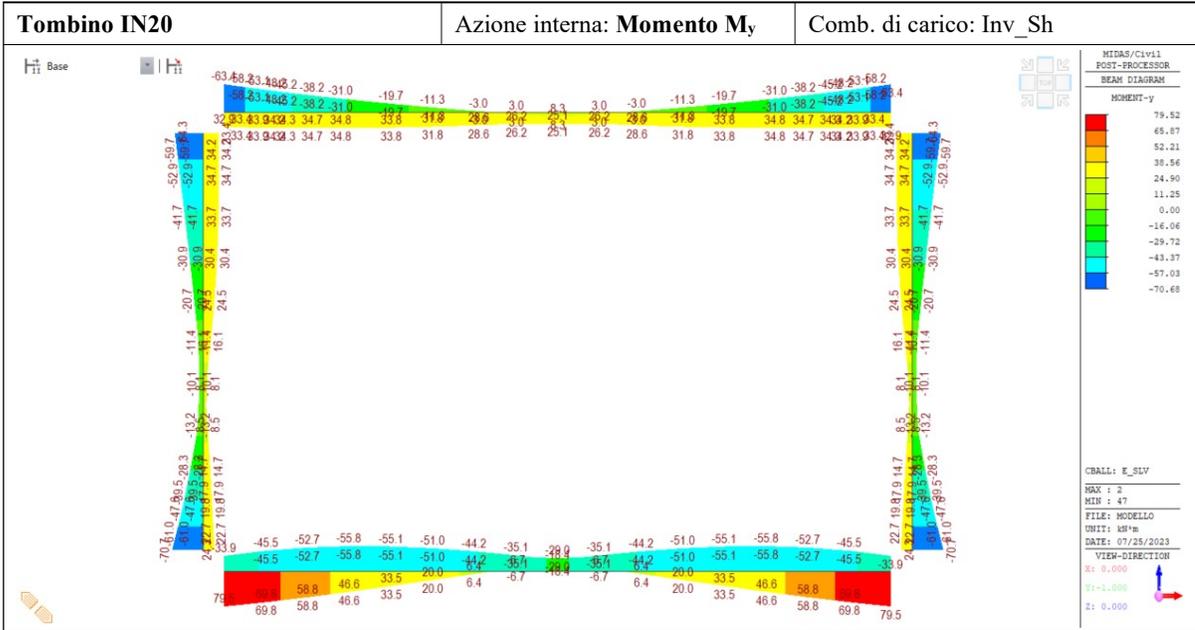
Mandante: **Lombardi** **Lombardi Ingegneria S.r.l.** **Lombardi SA Ingegnery Consulenti** **GETECO** **ingegneria s.r.l.**

---

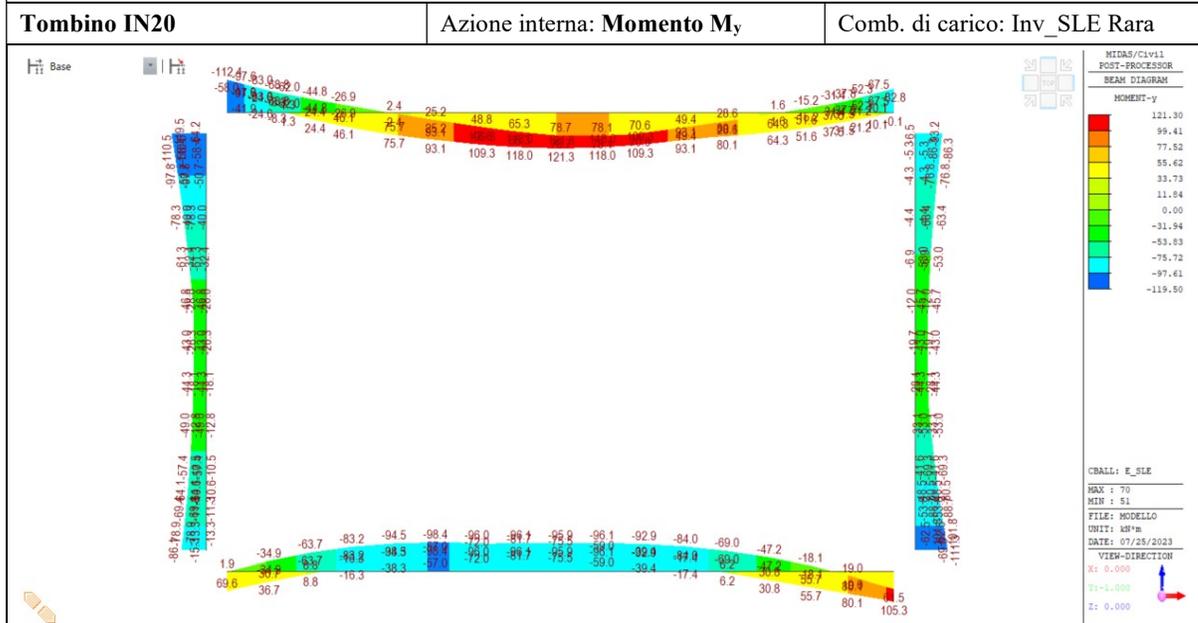
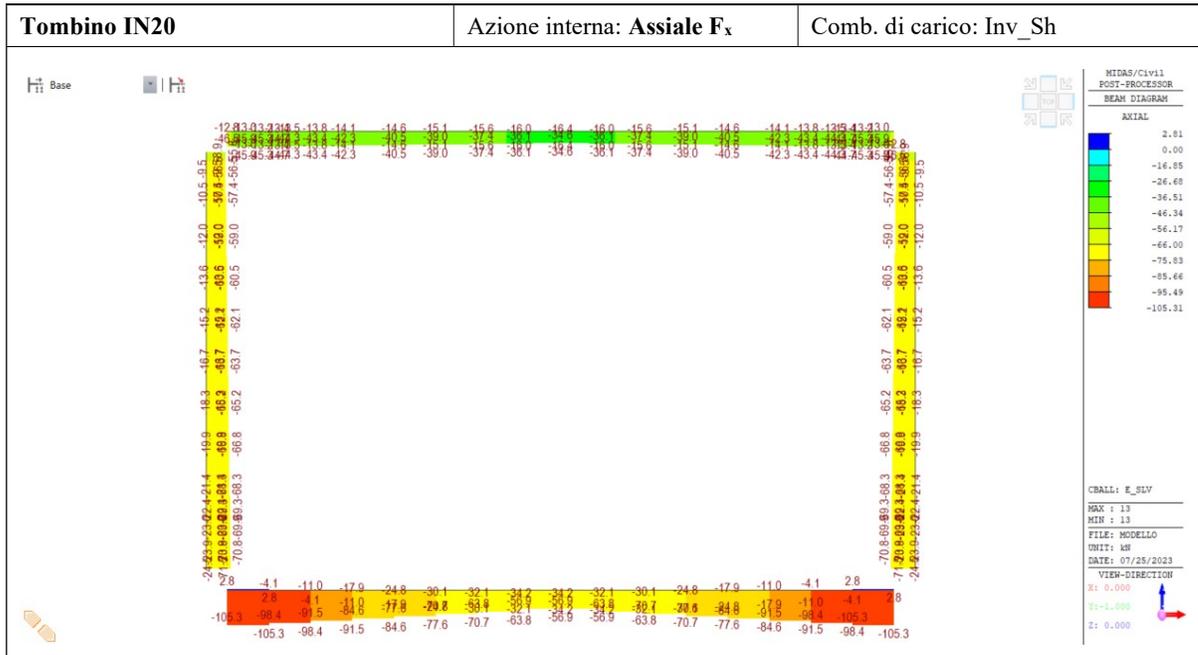
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE  
**IN20 - E - Relazione di calcolo scatolare**

**DIRETTRICE FERROVIARIA  
MESSINA - CATANIA - PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO  
PALERMO - CATANIA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA  
BICOCCA - CATENANUOVA**

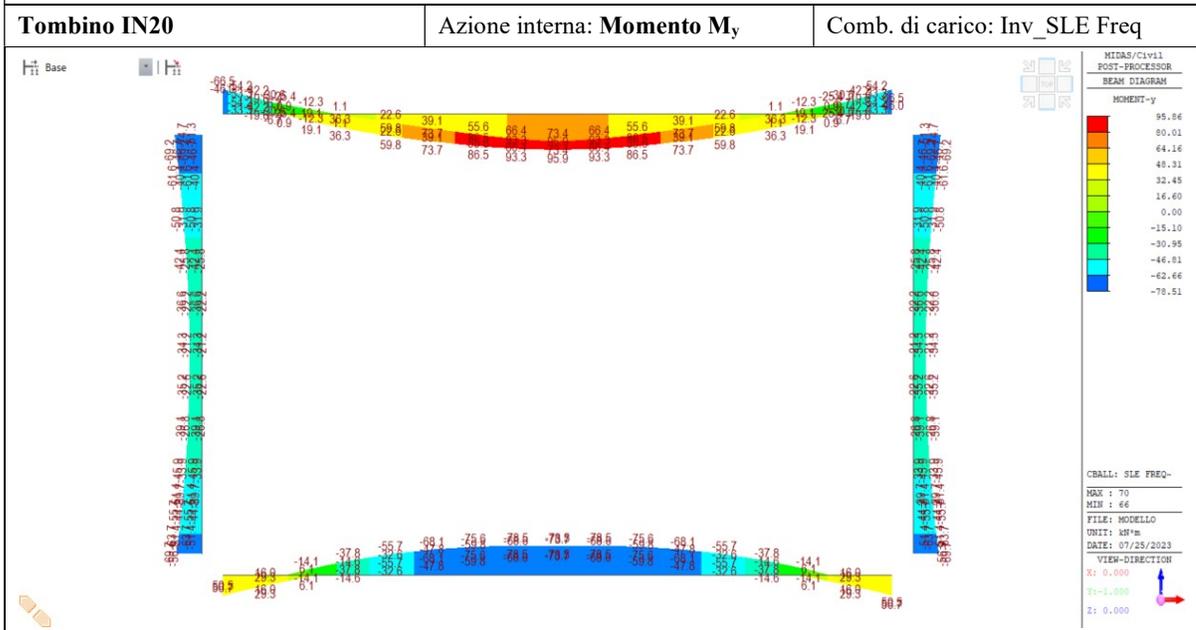
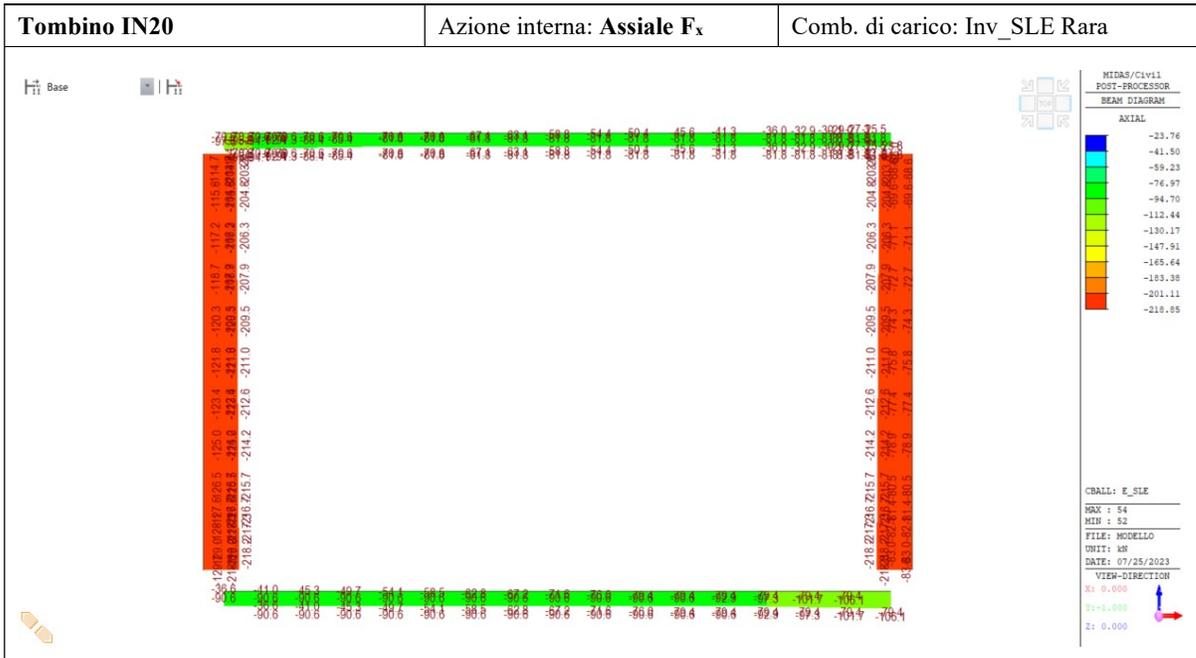
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	34 di 51



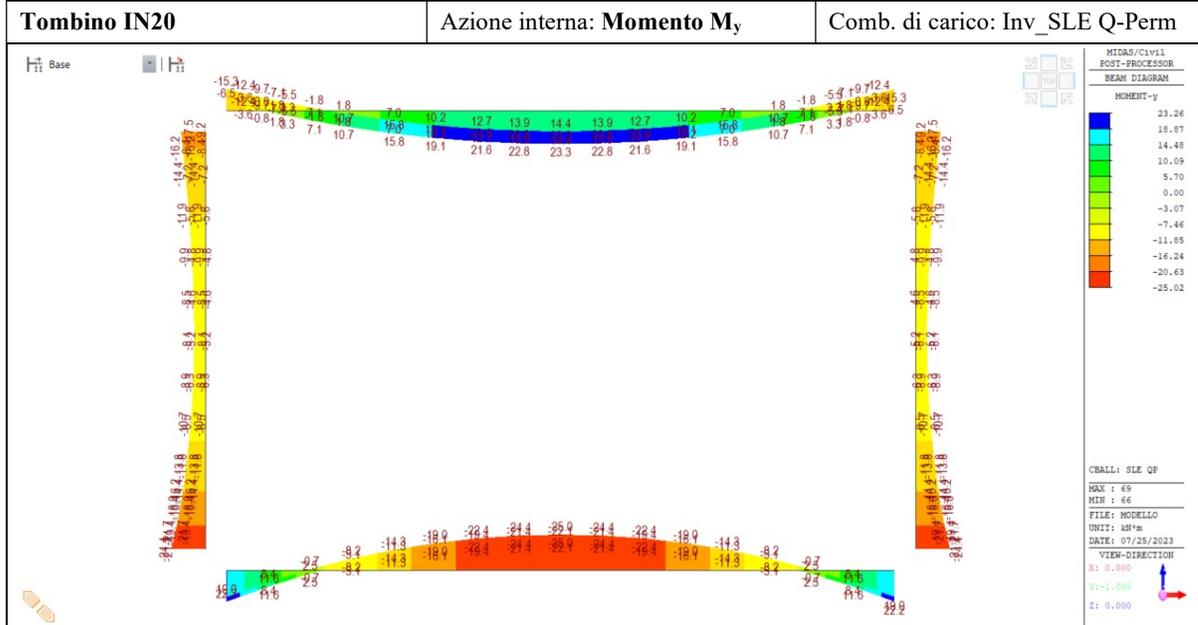
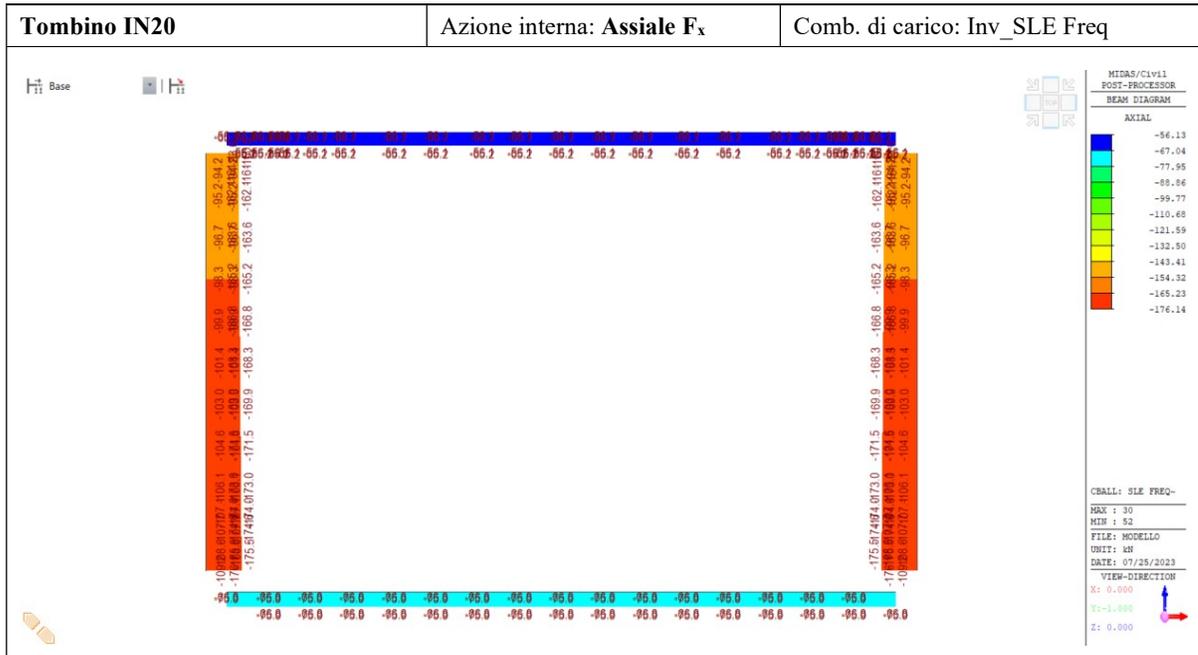
APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>Ingegneria Integrata</b> Mandante: <b>Lombardi</b> <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegnery Consulenti</b> <b>ETECO</b> <b>Ingegneria S.r.l.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>35 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	35 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	35 di 51								



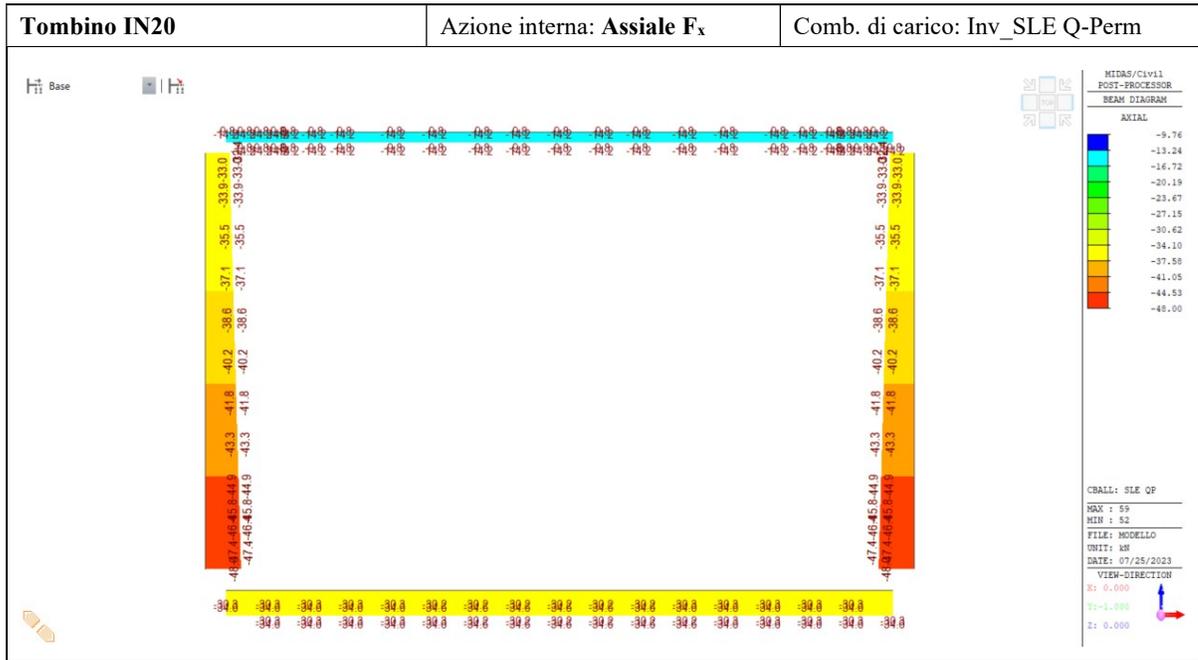
APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>Ingegneria Integrata</b> Mandante: <b>Lombardi</b> <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegnery Consulenti</b> <b>ETECO</b> <b>Ingegneria S.r.l.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>36 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	36 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	36 di 51								



APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> Mandante: <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegnery Consulenti</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>37 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	37 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	37 di 51								



APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>ingegneria Integrata</b> Mandante: <b>Lombardi</b> <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b> <b>ETECO</b> <b>ingegneria s.r.l.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>38 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	38 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	38 di 51								



APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> Mandante: <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>I.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>39 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	39 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	39 di 51								

## 11 VERIFICHE SLU

Sulla base dei digrammi delle azioni interne riportati nei paragrafi precedenti, si effettua la verifica flessionale e a taglio allo stato limite ultimo dello scatolare. Le verifiche verranno eseguite prendendo in considerazione le seguenti sezioni:

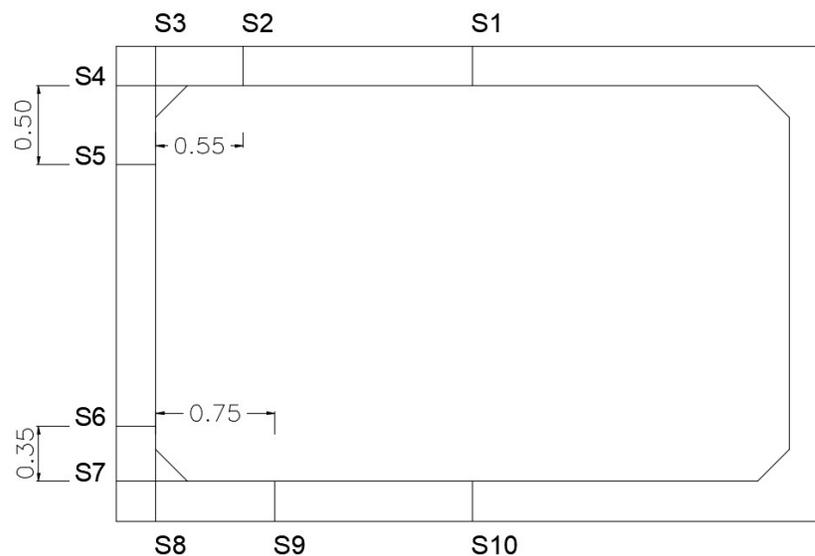


Figura 13 - Sezioni di verifica

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori massimi delle sollecitazioni ricavati per le sezioni oggetto di verifica ed indicate in figura. Nell'ipotesi di nodo rigido, il valore del momento è letto in corrispondenza del filo interno della parete.

Tabella 8 - Sollecitazioni di verifica SLU – Momento flettente

Elemento	Sezione	$M_{Ed}$	$N_{Ed}$	Combinazione
		[kNm]	[kN]	
Soletta superiore – Mezzeria	S1	180.3	-10.8	SLU2
Soletta superiore – Cambio sezione	S2	-83.5	-76.9	SLU13
Soletta superiore – Nodo piedritto	S3	-183.8	-83.3	SLU13
Piedritto – Nodo soletta superiore	S4	198.4	-178.8	SLU13
Piedritto – Cambio sezione	S5	147.7	-183.0	SLU13
Piedritto – Cambio sezione	S6	138.7	-97.6	SLU13
Piedritto – Nodo soletta inferiore	S7	188.4	-100.6	SLU13
Soletta inferiore – Nodo piedritto	S8	184.4	-145.7	SLU13
Soletta inferiore – Cambio sezione	S9	77.6	-109.9	SLU13
Soletta inferiore – Mezzeria	S10	-167.9	-2.37	SLU13

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>											
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  												
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>40 di 51</td> </tr> </table>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	40 di 51								

Nella tabella sopra riportata è stata utilizzata la seguente convenzione:

- per le solette, si considera positivo il momento che tende le fibre inferiori
- per il piedritto, si considera positivo il momento che tende le fibre esterne

Tabella 9 - Sollecitazioni di verifica SLU – Taglio

Elemento	V <sub>Ed</sub>	Combinazione
	[kN]	[-]
Soletta superiore	281.4	SLU
Piedritti	154.7	SLU
Soletta inferiore	254.3	SLU

### 11.1 Verifiche a pressoflessione

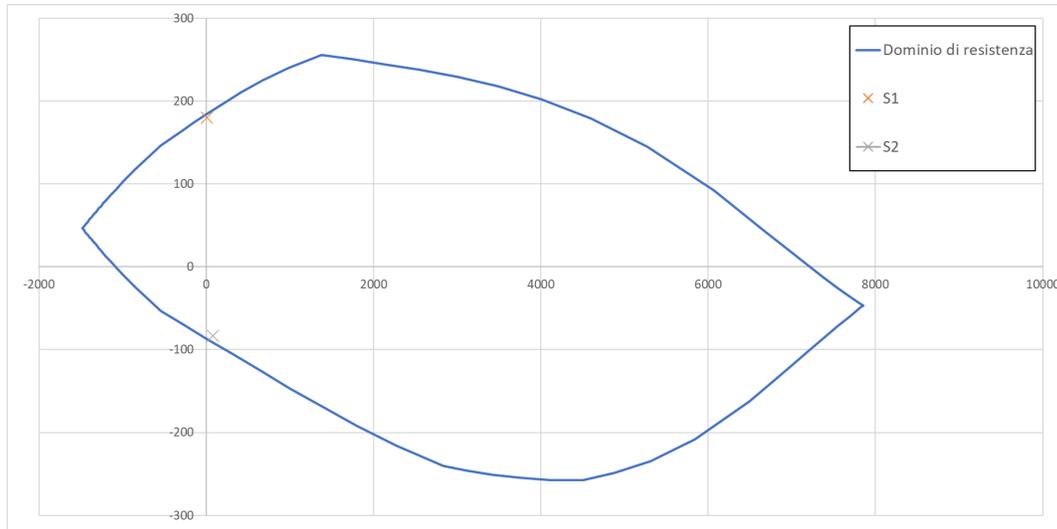
Le verifiche a pressoflessione sono state effettuate con l'ausilio del software VCASLU sviluppato da P. Gelfi.

Nella tabella seguente sono riportate le armature delle sezioni di verifica.

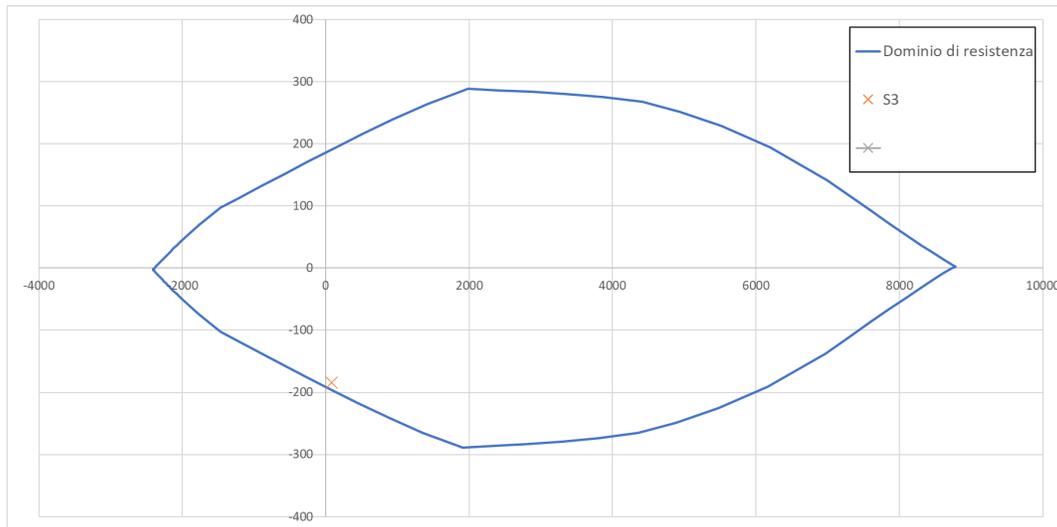
Sezione	Strato	Armatura	Altezza utile
S1-S2	Superiore	1Ø14/20	d = 72 mm
	Inferiore	2Ø16/20+1Ø16/20	d = 178 mm
S3	Superiore	2Ø12/20+2Ø16/20	d = 72 mm
	Inferiore	2Ø16/20+1Ø16/20	d = 178 mm
S4-S7	Interno	1Ø12/20	d = 70 mm
	Esterno	2Ø12/20+2Ø16/20	d = 178 mm
S5-S6	Interno	1Ø12/20	d = 70 mm
	Esterno	2Ø12/20+1Ø16/20	d = 178 mm
S8	Superiore	1Ø14/20+2Ø16/20	d = 72 mm
	Inferiore	2Ø12/20+2Ø16/20	d = 178 mm
S9-S10	Superiore	1Ø14/20+2Ø16/20	d = 72 mm
	Inferiore	1Ø16/20	d = 178 mm

APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> <small>Ingegneria Integrata</small> <small>Lombardi Ingegneria S.r.l.          Lombardi SA Ingegneri Consulenti</small> <small>ETECO Ingegneria S.r.l.</small>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>I.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>41 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	41 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	41 di 51								

Di seguito è riportato il dominio di resistenza delle sezioni S1 e S2.

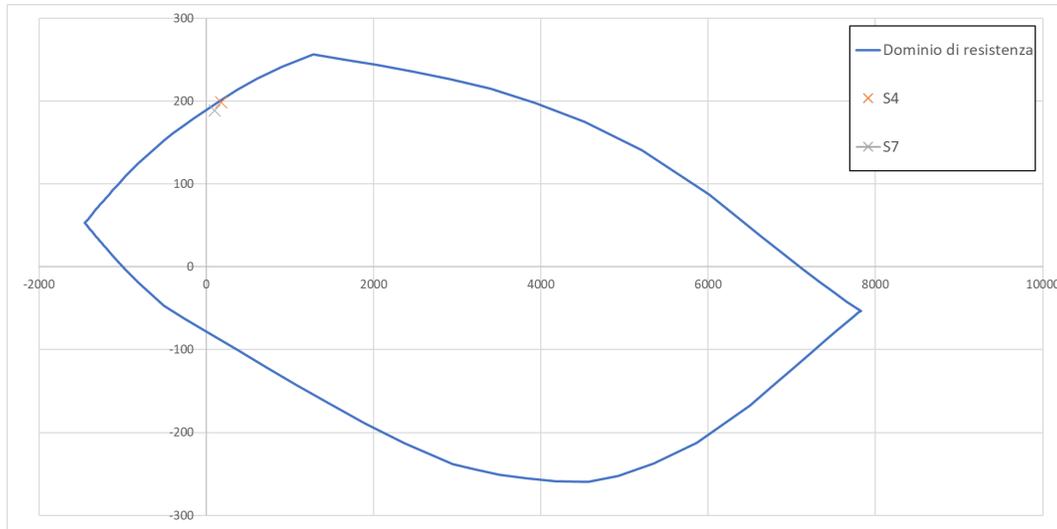


Di seguito è riportato il dominio di resistenza della sezione S3.

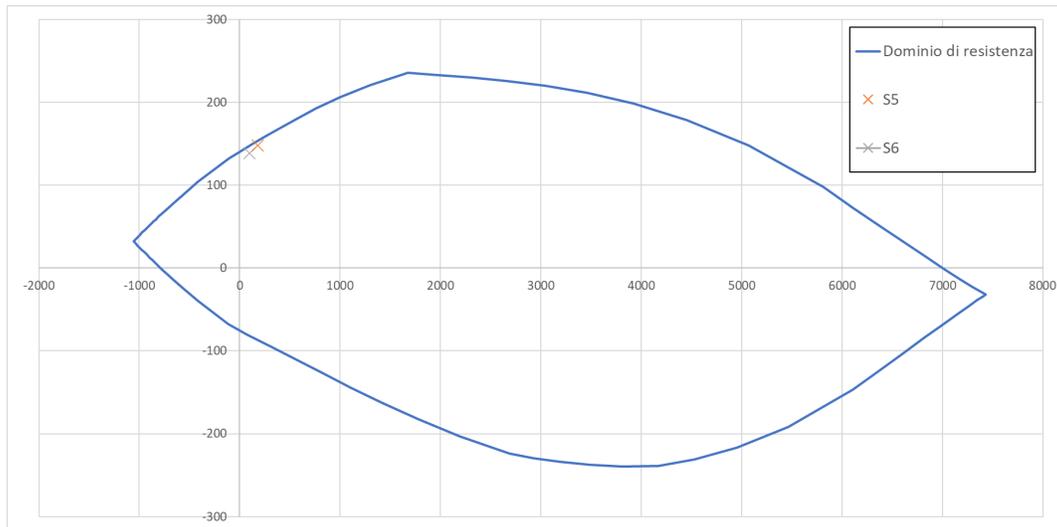


APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>Lombardi</b> <b>ETECO</b> <small>Ingegneria Integrata</small> <small>Lombardi Ingegneria S.r.l.          Lombardi SA Ingegneri Consulenti</small> <small>ETECO Ingegneria S.r.l.</small>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>I.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>42 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	42 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	42 di 51								

Di seguito è riportato il dominio di resistenza delle sezioni S4 e S7.

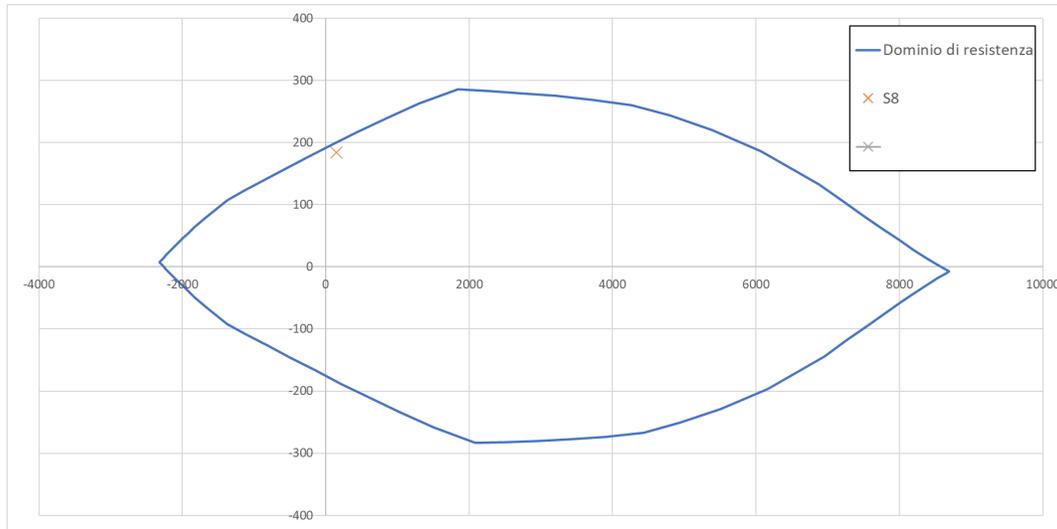


Di seguito è riportato il dominio di resistenza delle sezioni S5 e S6.

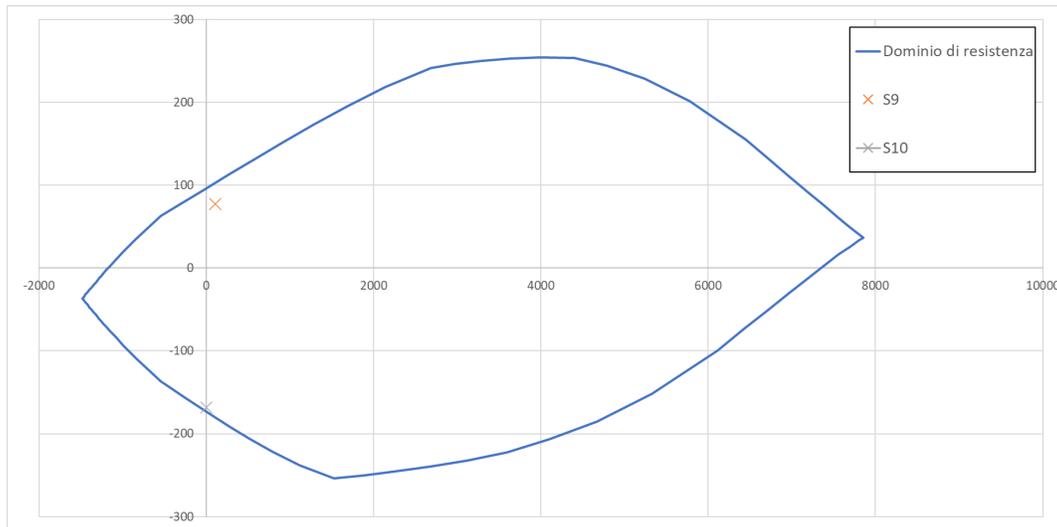


APPALTATORE: Mandatario: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">   <b>salini impregilo</b> </div> <div style="text-align: center;">   <b>ASTALDI</b> </div> <div style="text-align: center;">             Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.         </div> <div style="text-align: center;">   <b>S.I.F.E.L.</b> </div> </div>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">   <b>TECH PROJECT</b>  <small>Ingegneria Integrata</small> </div> <div style="text-align: center;">   <b>Lombardi</b>  <small>Lombardi Ingegneria S.r.l. Lombardi SA Ingegneri Consulenti</small> </div> <div style="text-align: center;">   <b>FETECO</b>  <small>Ingegneria S.r.l.</small> </div> </div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">PROGETTO</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS39</td> <td>I.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>43 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	43 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	I.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	43 di 51								

Di seguito è riportato il dominio di resistenza della sezione S8.



Di seguito è riportato il dominio di resistenza delle sezioni S9 e S10.



Di seguito viene riportata la tabella riassuntiva della verifica a flessione, in cui sono presenti i fattori di sicurezza per ciascuna sezione di verifica.

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare		<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>44 di 51</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	44 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA									
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	44 di 51									

Tabella 10 – Verifica pressoflessione

Elemento	Sezione	$M_{Ed}$	$N_{Ed}$	$M_{Rd}$	F.S.
		[kNm]	[kN]	[kNm]	[-]
Soletta superiore – Mezzeria	S1	180.3	-10.8	184.7	1.02
Soletta superiore – Cambio sezione	S2	-83.5	-76.9	-91.0	1.09
Soletta superiore – Nodo piedritto	S3	-183.8	-83.3	196.2	1.07
Piedritto – Nodo soletta superiore	S4	198.4	-178.8	201.3	1.01
Piedritto – Cambio sezione	S5	147.7	-183.0	153.7	1.04
Piedritto – Cambio sezione	S6	138.7	-97.6	147.5	1.06
Piedritto – Nodo soletta inferiore	S7	188.4	-100.6	196.1	1.04
Soletta inferiore – Nodo piedritto	S8	184.4	-145.7	199.9	1.08
Soletta inferiore – Cambio sezione	S9	77.6	-109.9	103.0	1.33
Soletta inferiore – Mezzeria	S10	-167.9	-2.37	173.6	1.03

## 11.2 Verifiche a 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:

- $v_{\min} = 0.035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$  ;
- $k = 1 + (200 / d)^{1/2} \leq 2$  ;
- $\rho_1 = A_{sw} / (b_w \cdot d)$
- $d$  = 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  $V_{Rcd}$

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

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta)}{(1 + \text{ctg}^2 \theta)}$$

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  	
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. PAGINA RS39 1.0.V.ZZ CL IN.20.00.009 B 45 di 51	

Il tombino viene armato a taglio con spilli  $\varnothing 12/20 \times 40$  lungo tutto lo sviluppo, a meno di un tratto di lunghezza 1 metro nella soletta di copertura e di fondazione, in corrispondenza dell'incastro con i piedritti, in cui viene utilizzata un armatura a taglio pari a spilli  $\varnothing 12/20 \times 20$ .

Tabella 11 – Verifica a taglio sezioni armate.

Sezione [-]	Sol. Copertura	Piedritti	Sol. Fondazione	
Sezione [b x h]	1000x250	1000x250	1000x250	
$\gamma_c$	1.50	1.50	1.50	Coefficiente parziale per il calcestruzzo
$\gamma_s$	1.15	1.15	1.15	Coefficiente parziale per l'acciaio
$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	45	45	45	Resistenza caratteristica cilindrica CLS
$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	25.5	25.5	25.5	Resistenza a compressione di progetto
$f'_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12.8	12.8	12.8	Resistenza a compressione ridotta di progetto
$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	450.0	450.0	450.0	Tensione caratt.di snervamento dell'acciaio
$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	391.3	391.3	391.3	Tensione di snervamento di progetto
$\alpha_c$ [-]	1.00	1.00	1.00	(vedi NTC2008)
d [mm]	178	178	178	Altezza utile
$b_w$ [mm]	1000	1000	1000	Larghezza sezione
s [mm]	200	400	200	Passo armatura a taglio
$\Phi l$ [mm]	12	12	12	Diametro legature
n [-]	5	5	5	Numero di legature/metro lineare
$A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]	565	565	565	Area armatura a taglio
$\alpha$ [°]	90	90	90	Inclinazione armatura a taglio
$\theta$ [°]	22	22	22	Inclinazione puntone compresso
$V_{Rsd}$ [kN]	438	219	438	Taglio resistente lato acciaio
$V_{Rcd}$ [kN]	709	709	709	Taglio resistente lato CLS
$V_{Rd}$ [kN]	438	219	438	Taglio resistente di progetto
$V_{Sd}$ [kN]	<b>281</b>	<b>155</b>	<b>254</b>	Taglio sollecitante di progetto
c.s. [-]	<b>1.56</b>	<b>1.42</b>	<b>1.72</b>	Coefficiente di sicurezza

dove:

$\gamma_c$	Coefficiente parziale per il calcestruzzo	$\Phi l$	Diametro legature
$\gamma_s$	Coefficiente parziale per l'acciaio	n	Numero di legature/metro lineare
$R_{ck}$	Resistenza caratteristica cubica CLS	$A_{sw}$	Area armatura a taglio
$f_{cd}$	Resistenza a compressione di progetto	$\alpha$	Inclinazione armatura a taglio
$f'_{cd}$	Resistenza a compressione ridotta di progetto	$\theta$	Inclinazione puntone compresso
$f_{yk}$	Tensione caratt.di snervamento dell'acciaio	$V_{Rsd}$	Taglio resistente lato acciaio
$f_{yd}$	Tensione di snervamento di progetto	$V_{Rcd}$	Taglio resistente lato CLS
$\alpha_c$	(vedi NTC2008)	$V_{Rd}$	Taglio resistente di progetto
d	Altezza utile sezionale	$V_{Ed}$	Taglio sollecitante di progetto
$b_w$	Larghezza sezione	<b>c.s.</b>	<b>Coefficiente di sicurezza</b>
s	Passo armatura a taglio		

Le verifiche a taglio sono soddisfatte.

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>				
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	PROGETTO RS39		LOTTO I.O.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN.20.00.009	REV. B

## 12 VERIFICHE SLE

Sulla base dei digrammi delle azioni interne riportati nei paragrafi precedenti, si effettua la verifica SLE.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori massimi delle sollecitazioni ricavati per le sezioni oggetto di verifica ed indicate in figura.

Tabella 12 - Sollecitazioni di verifica SLE Rara – Momento flettente

Elemento	Sezione	$M_{Ed}$	$N_{Ed}$
		[kNm]	[kN]
Soletta superiore – Mezzeria	S1	121.3	-70.6
Soletta superiore – Cambio sezione	S2	-44.8	-84.6
Soletta superiore – Nodo piedritto	S3	-112.4	-93.8
Piedritto – Nodo soletta superiore	S4	119.5	-119.2
Piedritto – Cambio sezione	S5	78.3	-122.4
Piedritto – Cambio sezione	S6	69.0	-79.4
Piedritto – Nodo soletta inferiore	S7	111.3	-83.6
Soletta inferiore – Nodo piedritto	S8	105.3	-102.2
Soletta inferiore – Cambio sezione	S9	30.8	-89.1
Soletta inferiore – Mezzeria	S10	-98.4	-54.1

Tabella 13 - Sollecitazioni di verifica SLE Frequente – Momento flettente

Elemento	Sezione	$M_{Ed}$	$N_{Ed}$
		[kNm]	[kN]
Soletta superiore – Mezzeria	S1	95.9	56.1
Soletta superiore – Cambio sezione	S2	-12.3	-56.1
Soletta superiore – Nodo piedritto	S3	-66.5	-56.1
Piedritto – Nodo soletta superiore	S4	74.7	-93.6
Piedritto – Cambio sezione	S5	50.8	-96.7
Piedritto – Cambio sezione	S6	51.4	-107.1
Piedritto – Nodo soletta inferiore	S7	69.7	-109.2
Soletta inferiore – Nodo piedritto	S8	56.7	-66.8
Soletta inferiore – Cambio sezione	S9	-55.7	-66.8
Soletta inferiore – Mezzeria	S10	-78.5	-66.8

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>											
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  												
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	<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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>47 di 51</td> </tr> </table>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	47 di 51								

Tabella 14 - Sollecitazioni di verifica SLE Q-Perm – Momento flettente

Elemento	Sezione	$M_{Ed}$	$N_{Ed}$
		[kNm]	[kN]
Soletta superiore – Mezzeria	S1	23.3	-9.8
Soletta superiore – Cambio sezione	S2	-1.8	-9.8
Soletta superiore – Nodo piedritto	S3	-15.3	-9.8
Piedritto – Nodo soletta superiore	S4	17.5	-32.4
Piedritto – Cambio sezione	S5	11.9	-35.5
Piedritto – Cambio sezione	S6	16.2	-44.9
Piedritto – Nodo soletta inferiore	S7	24.4	-47.4
Soletta inferiore – Nodo piedritto	S8	22.2	-30.3
Soletta inferiore – Cambio sezione	S9	-5.1	-30.3
Soletta inferiore – Mezzeria	S10	-25.0	-30.3

### 12.1 Stato limite fessurativo

Per le verifiche di fessurazione, come indicato nel paragrafo 5.1.4., il valore limite di apertura della fessura, per la combinazione di azioni prescelta, calcolato al livello considerato è pari ai seguenti valori nominali:

- $w_1 \leq 0.2 \text{ mm}$  in combinazione quasi permanente;
- $w_2 \leq 0.3 \text{ mm}$  in combinazione frequente;

Con riferimento ai diagrammi di sintesi delle azioni sollecitanti, si considerano le azioni sollecitanti riportate nella precedente tabella. Per quanto riguarda le armature, si rimanda al capitolo delle verifiche SLU.

Di seguito viene riportata la verifica a formazione delle fessure, per valutare quali sezione risultano in apertura delle fessure.

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>					
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare			PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN.20.00.009</b>	REV. <b>B</b>

### STEP 1 - FORMAZIONE DELLE FESSURE

Comb.	[-]	SLE_Freq	SLE_Freq	SLE_Freq	SLE_Freq	SLE_Freq	
Opera	[-]	IN20	IN20	IN20	IN20	IN20	
Sezione	[-]	S1	S2	S3	S4	S5	
Soll.	[-]	Flessione	Flessione	Flessione	Flessione	Flessione	
B	[mm]	1000	1000	1000	1000	1000	Larghezza sezione
H	[mm]	250	250	250	250	250	Altezza sezione
A	[mm <sup>2</sup> ]	2.500E+05	2.500E+05	2.500E+05	2.500E+05	2.500E+05	Sezione resistente (solo CLS)
W	[mm <sup>3</sup> ]	1.042E+07	1.042E+07	1.042E+07	1.042E+07	1.042E+07	Modulo resistente (solo CLS)
R <sub>ck</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	55	55	55	55	55	Classe di resistenza a compressione CLS
f <sub>ctm</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	Resistenza media a trazione
σ <sub>ct,amm</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	Resistenza ammissibile a trazione (*)
N	[kN]	70.6	84.6	93.8	119.2	122.4	Azione assiale concomitante
M <sub>max</sub>	[kNm]	95.9	12.3	66.5	74.7	50.8	Momento massimo sollecitante
M <sub>ff</sub>	[kNm]	36.2	36.8	37.2	38.2	38.4	Momento di formazione fessure
Check		SI	NO	SI	SI	SI	

### STEP 1 - FORMAZIONE DELLE FESSURE

Comb.	[-]	SLE_Freq	SLE_Freq	SLE_Freq	SLE_Freq	SLE_Freq	
Opera	[-]	IN20	IN20	IN20	IN20	IN20	
Sezione	[-]	S6	S7	S8	S9	S10	
Soll.	[-]	Flessione	Flessione	Flessione	Flessione	Flessione	
B	[mm]	1000	1000	1000	1000	1000	Larghezza sezione
H	[mm]	250	250	250	250	250	Altezza sezione
A	[mm <sup>2</sup> ]	2.500E+05	2.500E+05	2.500E+05	2.500E+05	2.500E+05	Sezione resistente (solo CLS)
W	[mm <sup>3</sup> ]	1.042E+07	1.042E+07	1.042E+07	1.042E+07	1.042E+07	Modulo resistente (solo CLS)
R <sub>ck</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	55	55	55	55	55	Classe di resistenza a compressione CLS
f <sub>ctm</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	Resistenza media a trazione
σ <sub>ct,amm</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	Resistenza ammissibile a trazione (*)
N	[kN]	79.4	83.6	102.2	89.1	54.1	Azione assiale concomitante
M <sub>max</sub>	[kNm]	51.4	69.7	56.7	55.7	78.5	Momento massimo sollecitante
M <sub>ff</sub>	[kNm]	36.6	36.7	37.5	37.0	35.5	Momento di formazione fessure
Check		SI	SI	SI	SI	SI	

Le verifiche allo stato limite di formazione delle fessure sono soddisfatte per tutte le sezioni a meno delle sezioni S1, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 e S10, di cui viene riportata la verifica dell'apertura della fessura.

Inoltre, si mette in evidenza come la verifica in combinazione quasi permanente risulta sempre soddisfatta poiché il massimo momento agente risulta sempre inferiore del momento limite di formazione delle fessure per ciascuna sezione di verifica.

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>					
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	PROGETTO RS39	LOTTO I.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN.20.00.009	REV. B	PAGINA 49 di 51	

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle verifiche nella condizione di apertura della fessura.

Tabella 15 - Verifiche apertura della fessura

Elemento	Sezione	$M_{Ed}$	$N_{Ed}$	$w_d$	$w_{lim}$	$w_d < w_{lim}$
		[kNm]	[kN]	[mm]	[mm]	[verifica]
Soletta superiore – Mezzeria	S1	95.9	56.1	0.216	0.3	OK
Soletta superiore – Cambio sezione	S2	-12.3	-56.1	-	0.3	OK
Soletta superiore – Nodo piedritto	S3	-66.5	-56.1	0.129	0.3	OK
Piedritto – Nodo soletta superiore	S4	74.7	-93.6	0.139	0.3	OK
Piedritto – Cambio sezione	S5	50.8	-96.7	0.113	0.3	OK
Piedritto – Cambio sezione	S6	51.4	-107.1	0.112	0.3	OK
Piedritto – Nodo soletta inferiore	S7	69.7	-109.2	0.122	0.3	OK
Soletta inferiore – Nodo piedritto	S8	56.7	-66.8	0.100	0.3	OK
Soletta inferiore – Cambio sezione	S9	-55.7	-66.8	0.109	0.3	OK
Soletta inferiore – Mezzeria	S10	-78.5	-66.8	0.180	0.3	OK

La verifica a fessurazione risulta pertanto soddisfatta per ciascuna sezione di verifica.

## 12.2 Analisi tensionale

La massima tensione di compressione del calcestruzzo deve rispettare la limitazione seguente:

- $\sigma_{c,max} < 0.55 f_{ck}$  (combinazione caratteristica rara)
- $\sigma_{c,max} < \mathbf{24.75 MPa}$

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

- $\sigma_s < 0.75 f_{yk} = \mathbf{337,5 MPa}$

Con riferimento ai diagrammi di sintesi delle azioni sollecitanti, si considerano le azioni sollecitanti riportate nella precedente tabella. Per quanto riguarda le armature, si rimanda al capitolo delle verifiche SLU.

Nella seguente tabella sono riportate le verifiche a limitazione delle tensioni per ciascuna sezione di verifica.

APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>				
APPALTATORE: Mandataria: 	Mandante:  					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare	PROGETTO RS39	LOTTO I.O.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN.20.00.009	REV. B	PAGINA 50 di 51

Tabella 16 - Verifiche limitazione tensioni armatura

Elemento	Sezione	$M_{Ed}$	$N_{Ed}$	$\sigma_s$	$\sigma_{s,lim}$	$\sigma_s < \sigma_{s,lim}$
		[kNm]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[verifica]
Soletta superiore – Mezzeria	S1	121.3	-70.6	261.1	337.5	OK
Soletta superiore – Cambio sezione	S2	-44.8	-84.6	278.5	337.5	OK
Soletta superiore – Nodo piedritto	S3	-112.4	-93.8	234.3	337.5	OK
Piedritto – Nodo soletta superiore	S4	119.5	-119.2	239.3	337.5	OK
Piedritto – Cambio sezione	S5	78.3	-122.4	210.7	337.5	OK
Piedritto – Cambio sezione	S6	69.0	-79.4	193.1	337.5	OK
Piedritto – Nodo soletta inferiore	S7	111.3	-83.6	226.7	337.5	OK
Soletta inferiore – Nodo piedritto	S8	105.3	-102.2	216.5	337.5	OK
Soletta inferiore – Cambio sezione	S9	30.8	-89.1	141.0	337.5	OK
Soletta inferiore – Mezzeria	S10	-98.4	-54.1	229.6	337.5	OK

Tabella 17 - Verifiche limitazione tensioni calcestruzzo

Elemento	Sezione	$M_{Ed}$	$N_{Ed}$	$\sigma_c$	$\sigma_{c,lim}$	$\sigma_c < \sigma_{c,lim}$
		[kNm]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[verifica]
Soletta superiore – Mezzeria	S1	121.3	-70.6	18.0	24.75	OK
Soletta superiore – Cambio sezione	S2	-44.8	-84.6	10.7	24.75	OK
Soletta superiore – Nodo piedritto	S3	-112.4	-93.8	15.6	24.75	OK
Piedritto – Nodo soletta superiore	S4	119.5	-119.2	17.7	24.75	OK
Piedritto – Cambio sezione	S5	78.3	-122.4	-13.0	24.75	OK
Piedritto – Cambio sezione	S6	69.0	-79.4	-11.4	24.75	OK
Piedritto – Nodo soletta inferiore	S7	111.3	-83.6	16.4	24.75	OK
Soletta inferiore – Nodo piedritto	S8	105.3	-102.2	14.7	24.75	OK
Soletta inferiore – Cambio sezione	S9	30.8	-89.1	6.4	24.75	OK
Soletta inferiore – Mezzeria	S10	-98.4	-54.1	14.9	24.75	OK

La verifica a limitazione delle tensioni risulta pertanto soddisfatta.

APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b> Mandante: <b>ASTALDI</b> <b>Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a.</b> <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH PROJECT</b> <b>ingegneria Integrata</b> Mandante: <b>Lombardi</b> <b>Lombardi Ingegneria S.r.l.</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b> <b>ETECO</b> <b>ingegneria s.r.l.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>IN20 – E – Relazione di calcolo scatolare</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>RS39</td> <td>1.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>IN.20.00.009</td> <td>B</td> <td>51 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	51 di 51
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	IN.20.00.009	B	51 di 51								

### 13 SCHEMA ARMATURA

