

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

MANDATARIA:

MANDANTE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



### PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

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

### ID - IDROLOGIA E IDRAULICA

ID12 - ATTRAVERSAMENTI MINORI

CANALE VI17 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

APPALTATORE	PROGETTAZIONE
DIRETTORE TECNICO Ing. G. PARIS	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	D	1	2	0	0	0	0	1	B	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Ricci	10/2023	C. Beltrami	10/2023	G.Tanzi	10/2023	Ing. G. Tanzi
B	EMISSIONE A SEGUITO DI RDV NO. 478	F. Ricci	12/2023	C. Beltrami	12/2023	G.Tanzi	12/2023	Ing. G. Tanzi
								dicembre 2023
File: RS39-10-V-ZZ-CL-ID1200-001_B.doc								n. Elab.:

APPALDATORE: Mandatario:  Mandante:   	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALDATORE: Mandatario:  Mandante:  													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	<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>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>2 di 42</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	2 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	2 di 42								

## 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
4.3	Durabilità.....	8
4.1	Inquadramento geotecnico.....	10
4.1.1	Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto .....	10
4.1.2	Interazione terreno-struttura .....	10
4.1.3	Classificazione sismica.....	11
<b>5</b>	<b>CANALE.....</b>	<b>12</b>
5.1	Geometria .....	12
5.2	Analisi dei carichi.....	13
5.2.1	Peso proprio della struttura.....	13
5.2.2	Spinta del terreno.....	13
5.2.3	Carico accidentale .....	14
5.2.4	Azioni sismiche .....	14
5.3	COMBINAZIONI DI CARICO .....	16
5.4	MODELLO DI CALCOLO.....	18
5.5	ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI .....	20
5.5.1	Sezione concio 4.....	20
5.5.2	Sezione Corrente .....	24
5.6	VERIFICHE SLU.....	30
5.6.1	Verifica a pressoflessione .....	30
5.7	VERIFICHE SLE .....	36
5.7.1	Verifiche a fessurazione.....	36
5.7.2	Analisi tensionale .....	39

<p>APPALTATORE: Mandatario: <b>salini impregilo</b></p> <p>Mandante: <b>ASTALDI</b>  </p>	<p><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b></p>												
<p>APPALTATORE: Mandatario: <b>TECH PROJECT</b> <small>Ingegneria Integrata ®</small></p> <p>Mandante: <b>Lombardi</b> <small>Lombardi Ingegneria S.r.l. Lombardi SA Ingegneri Consulenti</small> </p>													
<p>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b></p>	<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><b>RS39</b></td> <td><b>1.0.V.ZZ</b></td> <td><b>CL</b></td> <td><b>ID12.00.001</b></td> <td><b>B</b></td> <td><b>3 di 42</b></td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	<b>RS39</b>	<b>1.0.V.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>ID12.00.001</b>	<b>B</b>	<b>3 di 42</b>
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
<b>RS39</b>	<b>1.0.V.ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>ID12.00.001</b>	<b>B</b>	<b>3 di 42</b>								

5.8 Verifica armatura minima.....42

APPALTATORE: Mandataria: <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: Mandataria: <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>SETECO</b>  <small>Ingegneria S.r.l.</small> </div> </div>													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>	<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 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;">ID12.00.001</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">4 di 42</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	4 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	4 di 42								

## 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 scatoari, con modalità realizzativa a spinta, in opera in fase unica o in due fasi.

Nella presente relazione si riportano le verifiche strutturali del canale valle del viadotto VII7, posizionato alla progressiva di progetto km 29+410,00.

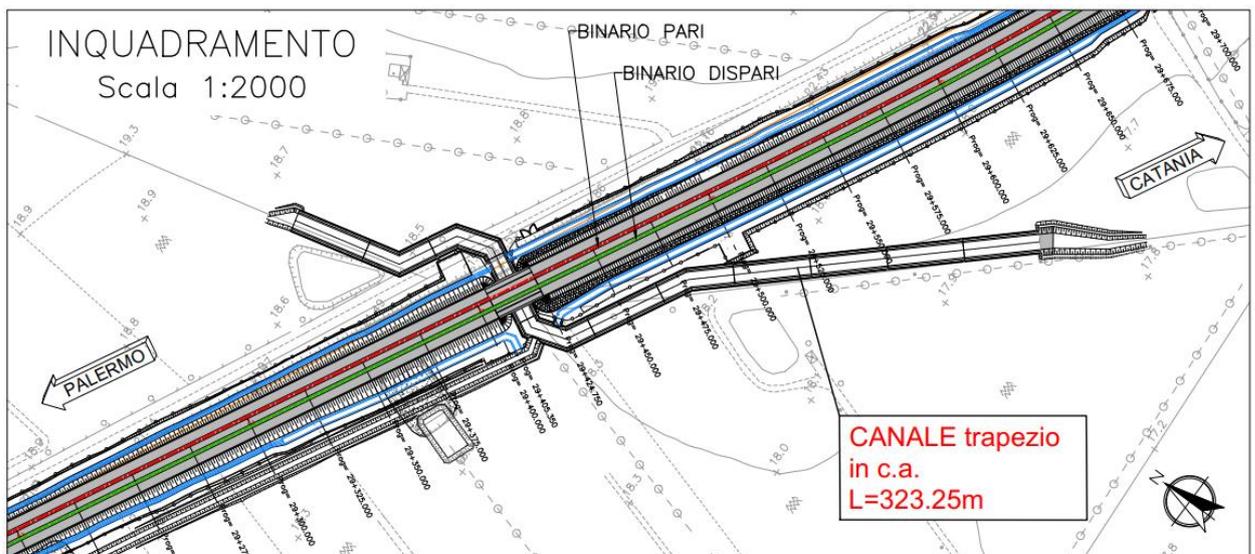


Figura 1 – Inquadramento viadotto VII7

La revisione B della presente relazione è conseguente al RDV 478. In particolare, sono stati recepiti i commenti di dettaglio di seguito riportati:

- D.3 – I punto di lettura delle sollecitazioni è a estradosso fondazione e nella faccia del muro.
- D.4 – È stata aggiornata la verifica a pressoflessione.

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 Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	PROGETTO RS39	LOTTO 1.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID12.00.001	REV. B	PAGINA 5 di 42

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La presente relazione ha per oggetto le analisi e le verifiche del canale a valle del viadotto **VI17**, posizionato alla progressiva di progetto km **29+410,00**.

Il canale realizzato in calcestruzzo armato gettato in opera, di dimensioni interne di 6,00 m per la parte inferiore e 8,50 m per la parte superiore e un'altezza variabile tra 1,85 e 2,85 m. La fondazione ha uno spessore di 0,60m e i muri di 0,30m.; è previsto un getto di calcestruzzo magro come sottofondazione, avente uno spessore di 15 cm.

Le seguenti sono le sezioni trasversale dei canali

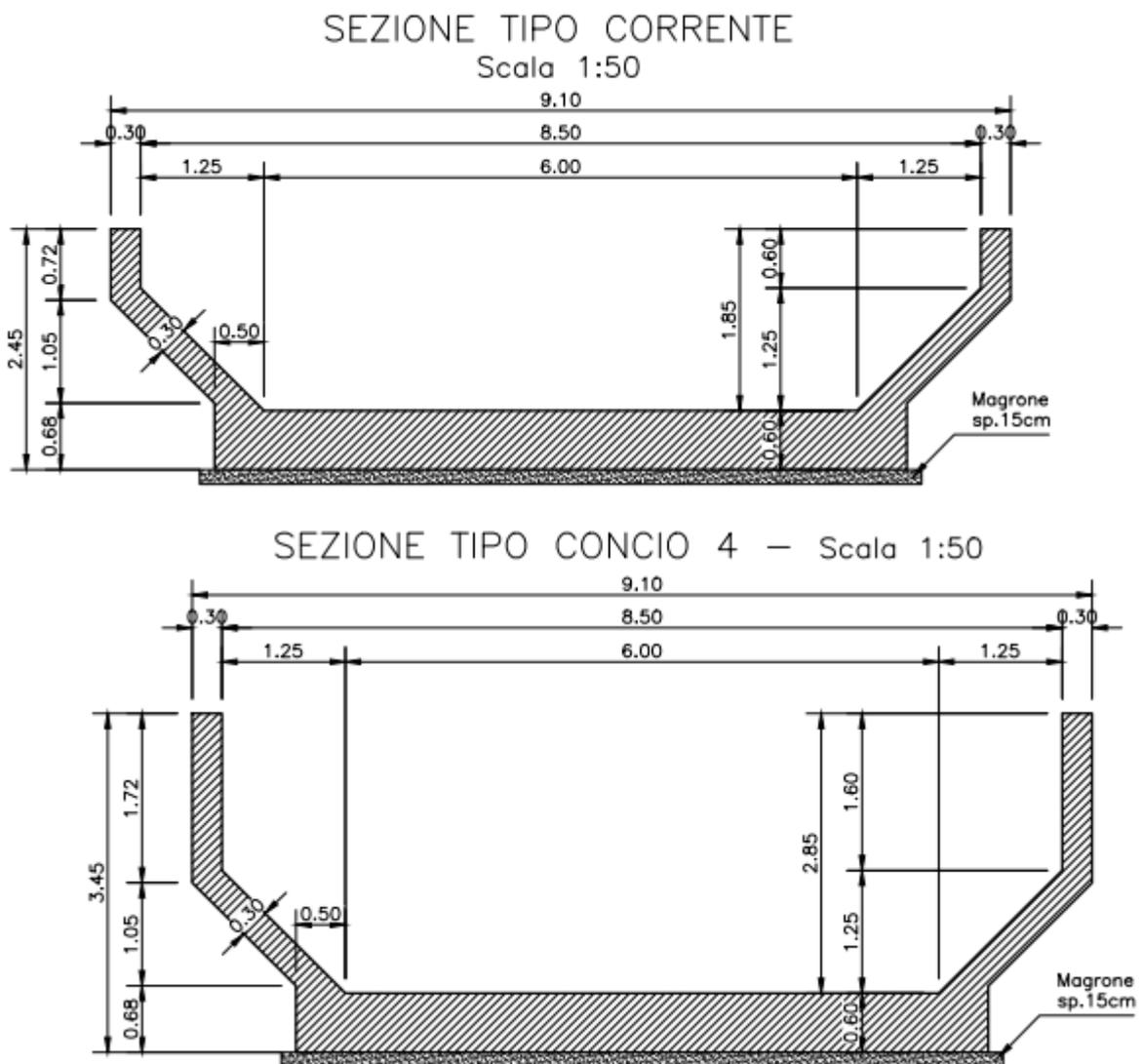


Figura 2 - Sezione trasversale canale trapesoidale.

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 <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>	PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>6 di 42</b>

### 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- *Legge 5 novembre 1971 n. 1086* Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- *Circ. Min. LL.PP.14 Febbraio 1974, n. 11951* Applicazione della L. 5 novembre 1971, n. 1086
- *Legge 2 febbraio 1974 n. 64* Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- *D.M.Min. II. TT. del 14 gennaio 2008* Norme tecniche per le costruzioni
- *Circolare 2 febbraio 2009, n. 617* Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008
- *UNI ENV 1998-5 – Gennaio 2005* Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- *UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005* -
- *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
- *RFI DTC INC CS SP IFS 001 A* Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- *RFI DTC INC PO SP IFS 003 A* Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari
- *RFI DTC INC CS LG IFS 001 A* Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra
- *RFI DTC INC PO SP IFS 002 A* Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria
- *RFI DTC INC PO SP IFS 004 A* Specifica per la progettazione e l'esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo
- *RFI DTC INC PO SP IFS 005 A* Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprighiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia
- *STI 2014* 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

APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>							
   	  								
APPALTATORE: Mandataria:		Mandante:		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo Strutturale canale VII7				RS39	I.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	7 di 42

## 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 a struttura scatolare e circolare – C30/37

Classe di resistenza		<b>C30/37</b>
Classe di esposizione		XA1
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	30.71 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a compressione	$f_{cm}$	38.71 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza cilindrica a compressione di progetto	$f_{cd}$	17.40 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione	$f_{ctm}$	2.94 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk,5\%}$	2.06 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)	$f_{ctk,95\%}$	3.82 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm}$	3.53 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione di progetto	$f_{ctd}$	1.37 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	$f_{bk}$	4.63 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza tangenziale di aderenza acciaio-cla di calcolo	$f_{bd}$	3.09 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico istantaneo medio (secante)	$E_{cm}$	33019 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	$f_{tk} / f_{yk}$	$\geq 1.15$ -
Modulo di elasticità	$E_s$	210000 N/mm <sup>2</sup>

APPALTATORE: Mandatario:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	<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;">ID12.00.001</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">8 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	8 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	8 di 42								

### 4.3 Durabilità

#### 4.3.1.1 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.

#### 4.3.1.2 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	<b><math>c_{min}</math></b>	40	mm
– Cunette, canalette e cordoli	<b><math>c_{min}</math></b>	40	mm
– Solette (getto in opera)	<b><math>c_{min}</math></b>	35	mm

#### 4.3.1.3 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):  $0,55 f_{ck}$ ;

##### Tensioni di trazione nell’acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare  $0,75 f_{yk}$

APPALDATORE: Mandataria:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALDATORE: Mandataria:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	<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>I.0.V.ZZ</td> <td>CL</td> <td>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>9 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	I.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	9 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	I.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	9 di 42								

#### 4.3.1.4 Limiti fessurativi

Allo stato limite di apertura delle fessure, i limiti fessurativi vengono prescritti nel paragrafo 1.8.3.2.4, della specifica *RFI DTC INC PO SP IFS 001 A*, che rimanda integralmente al par. 4.1.2.2.4 delle NTC 2008.

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

Tabella 1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

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

In particolare, il valore limite di apertura della fessura calcolato, per la combinazione di azioni prescelta, al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

- $w_1$                                     0,2    mm
- $w_2$                                     0,3    mm
- $w_3$                                     0,4    mm

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare:

- $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone di non ispezionabili di tutte le strutture
- $\delta_f \leq w_2$  per strutture in condizioni ambientali ordinarie

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

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

APPALTAZIONE: Mandatario:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTAZIONE: Mandatario:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	<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>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>10 di 42</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	10 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	10 di 42								

## 4.1 Inquadramento geotecnico

### 4.1.1 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.

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

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

### 4.1.2 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;

APPALDATORE: Mandatario:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALDATORE: Mandatario:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</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>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>11 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	11 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	11 di 42								

$\nu$  = 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:

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

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</b>	<b>E</b>	<b>B</b>	<b><math>c_t</math></b>	<b><math>\nu</math></b>	<b><math>K_w</math></b>
[m]	[MPa]	[m]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]
29.90	24	3.00	2.081	0.3	4225

#### 4.1.3 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: Mandataria: <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: Mandataria: <b>TECH</b> PROJECT Ingegneria Integrata	Mandante: <b>Lombardi</b>						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>		PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>12 di 42</b>

## 5 CANALE

### 5.1 Geometria

A valle del viadotto, un canale trapezoidale, le dimensioni delle sezioni si mostra nelle seguenti sezione

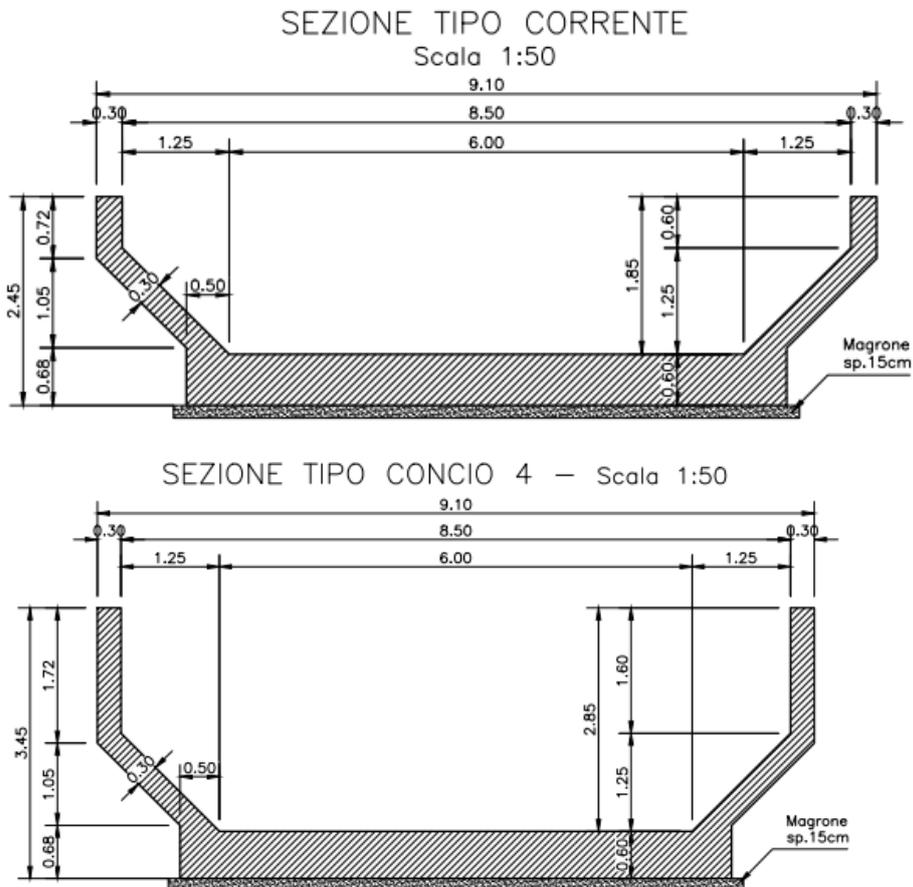


Figura 3 - Sezione trasversale -

Le caratteristiche geometriche dello scatolare aperto sono riportate nella figura seguente:

Larghezza utile	$L_{int}$	6,00 m
Altezza utile	$h_{int}$	1,85-2,85 m
Spessore muro laterale	$S_p$	0,30 m
Spessore soletta di fondazione	$S_i$	0,60 m
Larghezza striscia di calcolo – b	1.00 m	

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 Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	PROGETTO RS39	LOTTO 1.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID12.00.001	REV. B	PAGINA 13 di 42

## 5.2 Analisi dei carichi

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	-
Terreno ai lati dello scatolare	20.00	35

### 5.2.1 Peso proprio della struttura

Il *peso proprio* delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo  $\gamma = 25,00$  kN/m<sup>3</sup>.

### 5.2.2 Spinta del terreno

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  $K_0=0,426$ .

La spinta delle terre è valutata secondo la teoria di Rankine ovvero:

- **contributo peso proprio terreno:**

azione risultante:

$$\Delta S_{P,P} = \frac{1}{2} \times k \times \gamma \times H^2$$

quota risultante:

$$z_{\Delta S} = H / 3$$

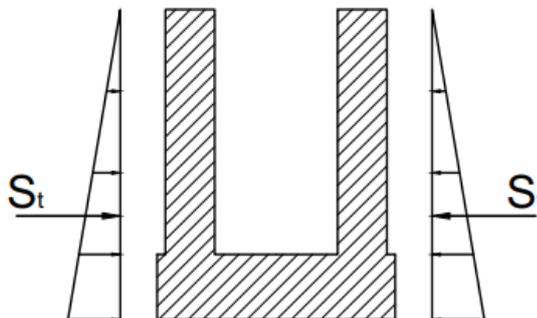


Figura 4 - Schema per il calcolo delle spinte

Si riporta di seguito l'andamento della spinta del terreno inserita nel modello di calcolo:

APPALDATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b>	Mandante: <b>ASTALDI</b> Costruzioni Linee Ferroviarie s.p.a. <b>S.I.F.E.L.</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>				
APPALDATORE: Mandataria: <b>TECH</b> PROJECT Ingegneria Integrata	Mandante: <b>Lombardi</b> Lombardi Ingegneria S.r.l. Lombardi SA Ingegneri Consulenti <b>SETECO</b> Ingegneria S.r.l.					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>	PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>14 di 42</b>

### 5.2.3 Carico accidentale

Si assume un comportamento di tipo “rigido” del manufatto calcolando pertanto le spinte in condizioni di “riposo” ( $k = k_0$ ). Inoltre, si considera un carico variabile su terrapieno pari a  $q = 20\text{kN/m}$  e, si assume angolo di attrito muro-terreno nullo.

- **contributo sovraccarico rilevato (variabile):**

azione risultante:

$$\Delta S_q = k \times q \times k$$

quota risultante:

$$z_{\Delta S} = H / 2$$

$$S = 20 \times K_0 = 8.52 \text{ kN/m}^2$$

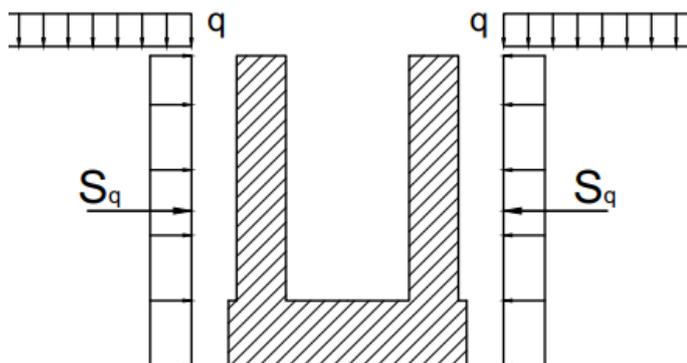


Figura 5 - Schema per il calcolo delle spinte

Tale carico è introdotto nel modello come carico uniformemente distribuito sui piedritti, la cui risultante è a quota  $H/2$ .

### 5.2.4 Azioni sismiche

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:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h \cdot W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v \cdot W$

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 scatolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno:

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

APPALTATORE: Mandataria:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	<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>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>15 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	15 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	15 di 42								

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

I parametri sismici nel caso in esame sono:

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 2 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:

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

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

#### 5.2.4.1 Spinta sismica terreno

Le spinte delle terre, considerando lo scolare 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: Mandataria:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</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>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>16 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	16 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	16 di 42								



Figura 6 - Schema per il calcolo delle spinta sismica del terreno (sisma da SX e sisma da DX)

Nel modello di calcolo, si è applicato il valore della forza sismica per unità di superficie agente su un piedritto, pari a:

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) \cdot \gamma \cdot H$$

con H pari all'altezza dal piano di progetto alla fondazione del tombino aperto.

### 5.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Le verifiche di sicurezza strutturali e geotecniche sono state condotte utilizzando combinazioni di carico definite in ottemperanza alle NTC08, secondo quanto riportato nei paragrafi 2.5.3 e 5.1.3.12. Di seguito sono mostrati i coefficienti parziali di sicurezza utilizzati allo SLU ed i coefficienti di combinazione adoperati per i carichi variabili nella progettazione delle strutture da ponte.

#### Combinazione fondamentale

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

Tabella 3 - Combinazioni di carico SLU (non sismiche)

Combinazioni di carico SLU (non sismiche)		
	SLU1	SLU2
Peso proprio	1	1.35
Spinta statica terreno da sinistra	1.35	1.35
Spinta statica terreno da destra	1.35	1.35
Spinta accidentale terreno da sinistra	1.5	1.5
Spinta accidentale terreno da destra	1.5	1.5

APPALTATORE: Mandatario:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	<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>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>17 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	17 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	17 di 42								

**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.

Tabella 4 - Combinazioni di carico sismiche

<b>Combinazioni di Carico Sismiche</b>				
	SLV1	SLV2	SLV3	SLV4
Peso proprio	1	1	1	1
Spinta statica terreno da sinistra	1	1	1	1
Spinta statica terreno da destra	1	1	1	1
Spinta accidentale terreno da sinistra				
Spinta accidentale terreno da destra				
Sismica SLV (orizzontale da sinistra)	1		0.3	
Sismica SLV (orizzontale da destra)		1		0.3
Sovrappinta sismica Sx	1		0.3	
Sovrappinta sismica Dx		1		0.3
Sismica SLV (verticale)	0.3	0.3	1	1

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

### Combinazione rara

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

Tabella 5–Combinazioni di carico SLE – rara

<b>Combinazioni di carico SLE</b>	
	SLE
Peso proprio	1
Spinta statica terreno da sinistra	1
Spinta statica terreno da destra	1
Spinta accidentale terreno da sinistra	1
Spinta accidentale terreno da destra	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 <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>		PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>18 di 42</b>

## 5.4 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 MidasGen 2018, v. 2.1, 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:

Muri laterali = Sezione 100 x 30 cm

Soletta di fondazione = Sezione 100 x 60 cm

Sono stati elaborati due modelli di calcolo in base alle sezioni Tipologica, e la sezione del concio 4 I modelli sono illustrati nella Figura 8.

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. la costante di sottofondo è pari a:  $k_w = 4225 \text{ kN/m}^3$ .



Figura 7 – Modello ad elementi finiti del canale

APPALTATORE: Mandataria:     	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandataria:    													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VI17</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>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>19 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	19 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	19 di 42								

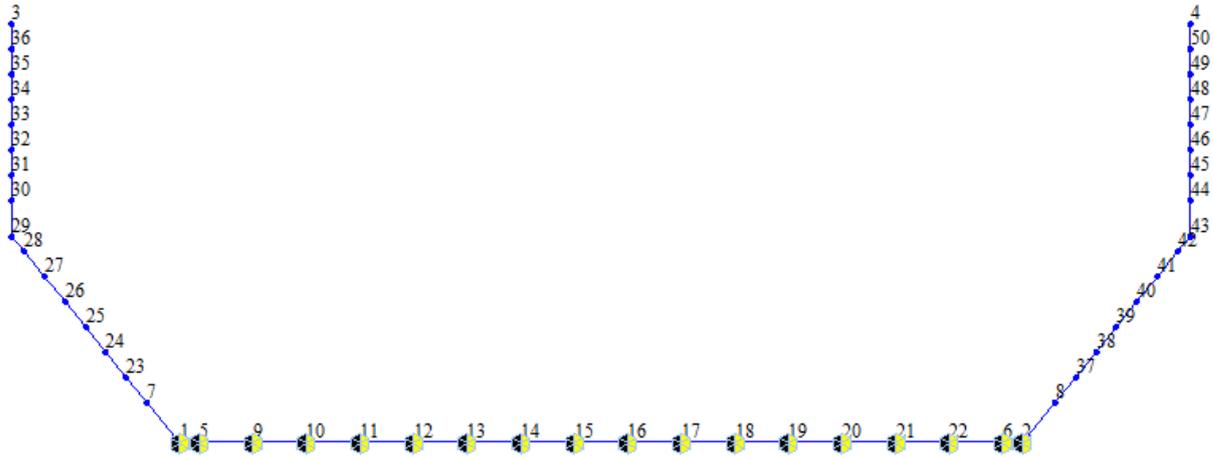


Figura 8 Vincoli applicati al modello a elementi finiti del canale (point spring)

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 corrispondenti.

Il modello di calcolo viene sviluppato considerando la linea d'asse degli elementi strutturali, con conseguente dimensionamento geometrico in base alle sezioni valutate:

Sezione	$b_{int}$	$b_{modello}$	$h_{int}$	$h_{modello}$
	[m]	[m]	[m]	[m]
VI17	6.00	6.30	2.85	3.05
Tipologico	6.00	6.30	1.85	2.05

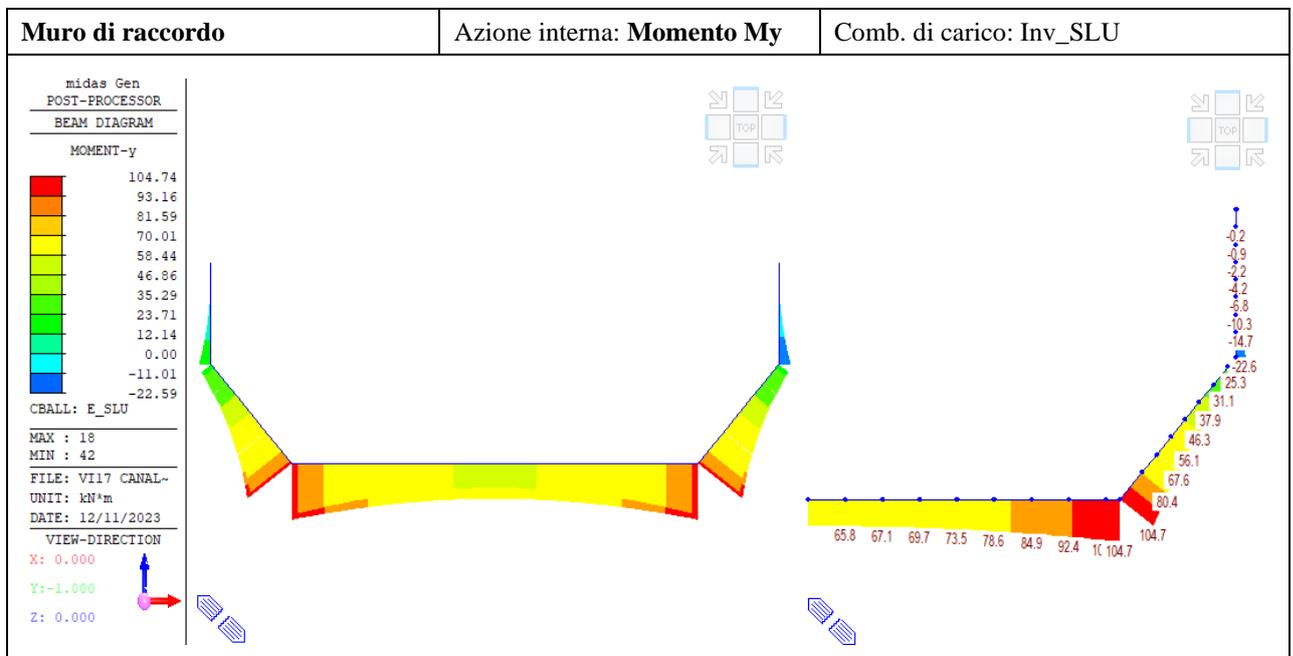
APPALTATORE: Mandataria: <b>salini impregilo</b>	Mandante: <b>ASTALDI</b>	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA          MESSINA - CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO          PALERMO – CATANIA          RADDOPPIO DELLA TRATTA          BICOCCA – CATENANUOVA</b>					
APPALTATORE: Mandataria: <b>TECH</b>	Mandante: <b>Lombardi</b>						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>		PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>20 di 42</b>

## 5.5 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

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

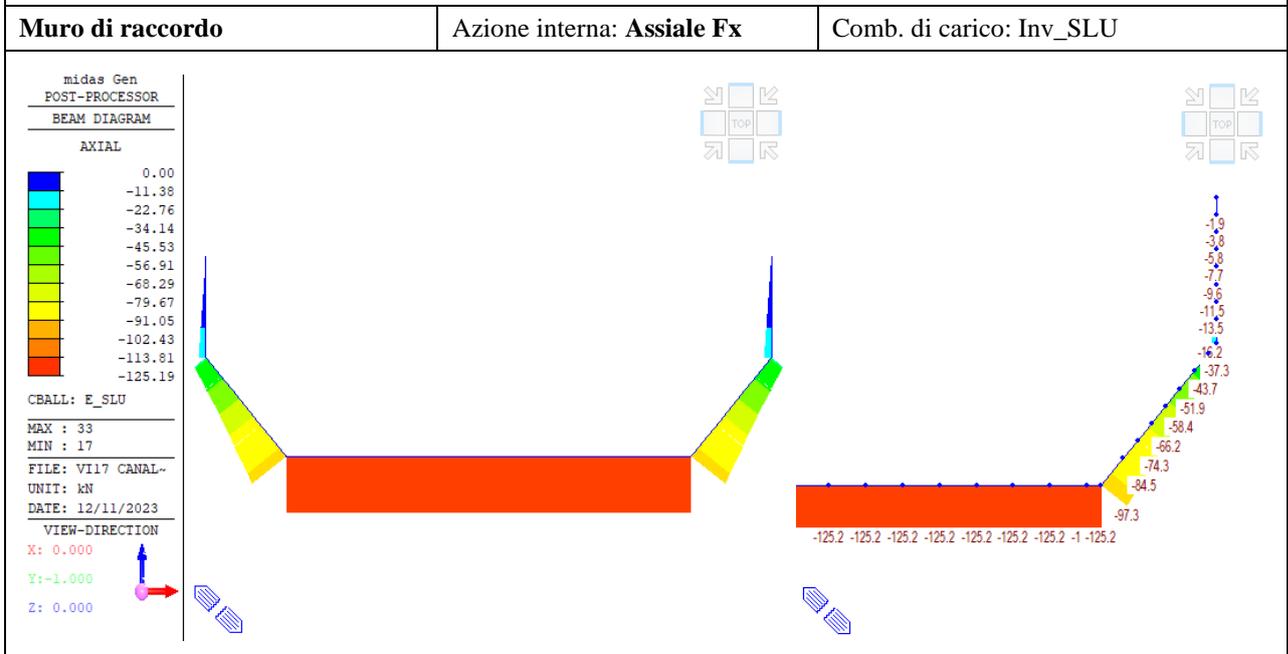
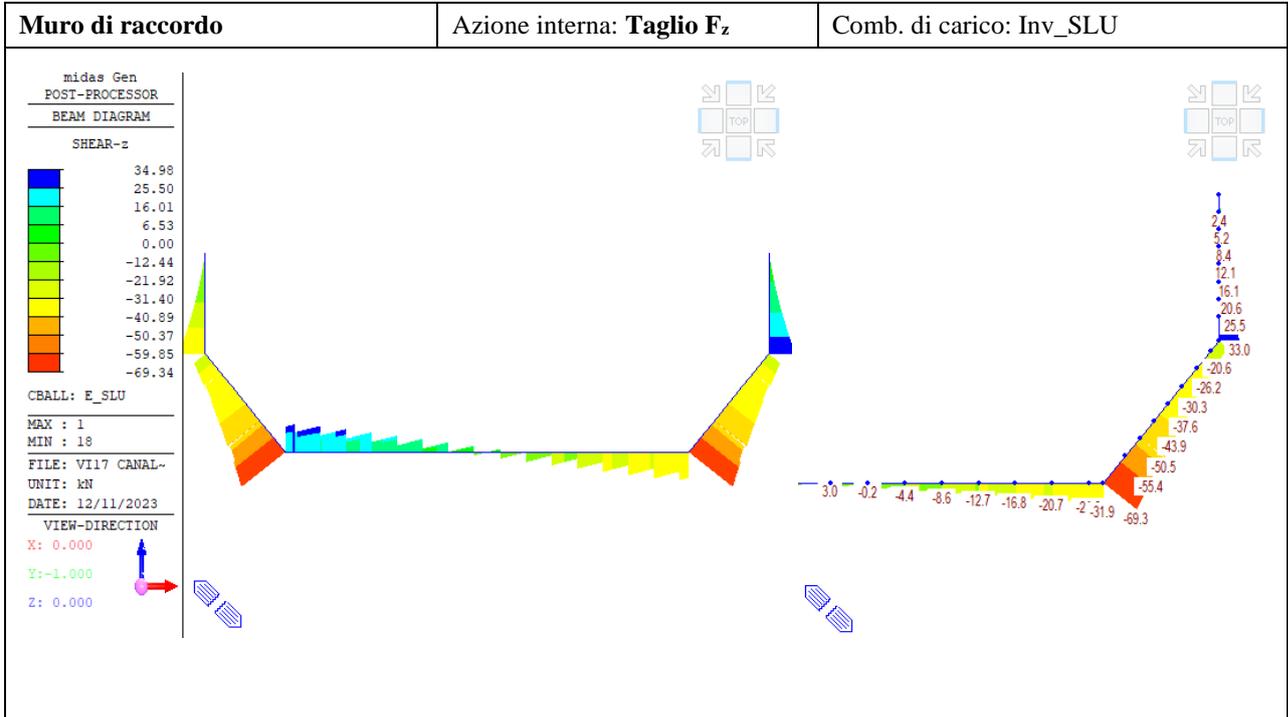
- le combinazioni delle azioni per le verifiche agli SLU (Inv\_SLU)
- le combinazioni delle azioni in presenza si sisma, co (Inv\_SLV)
- le combinazioni delle azioni per le verifiche agli SLE

### 5.5.1 Sezione concio 4

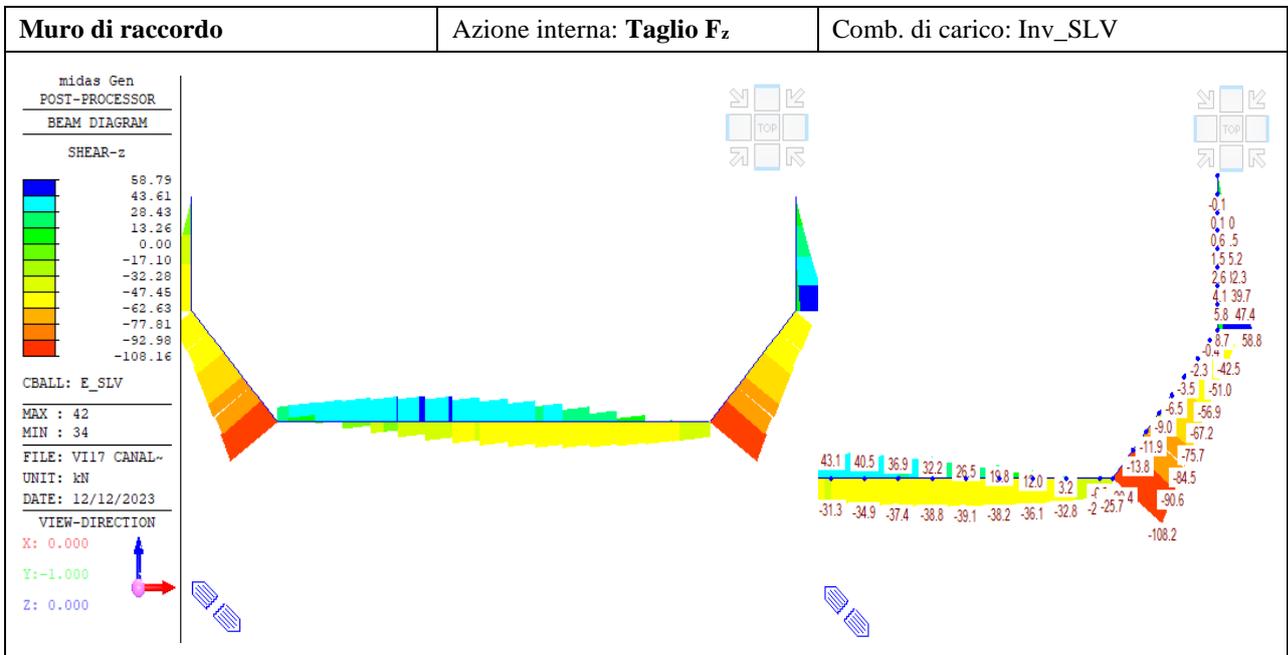
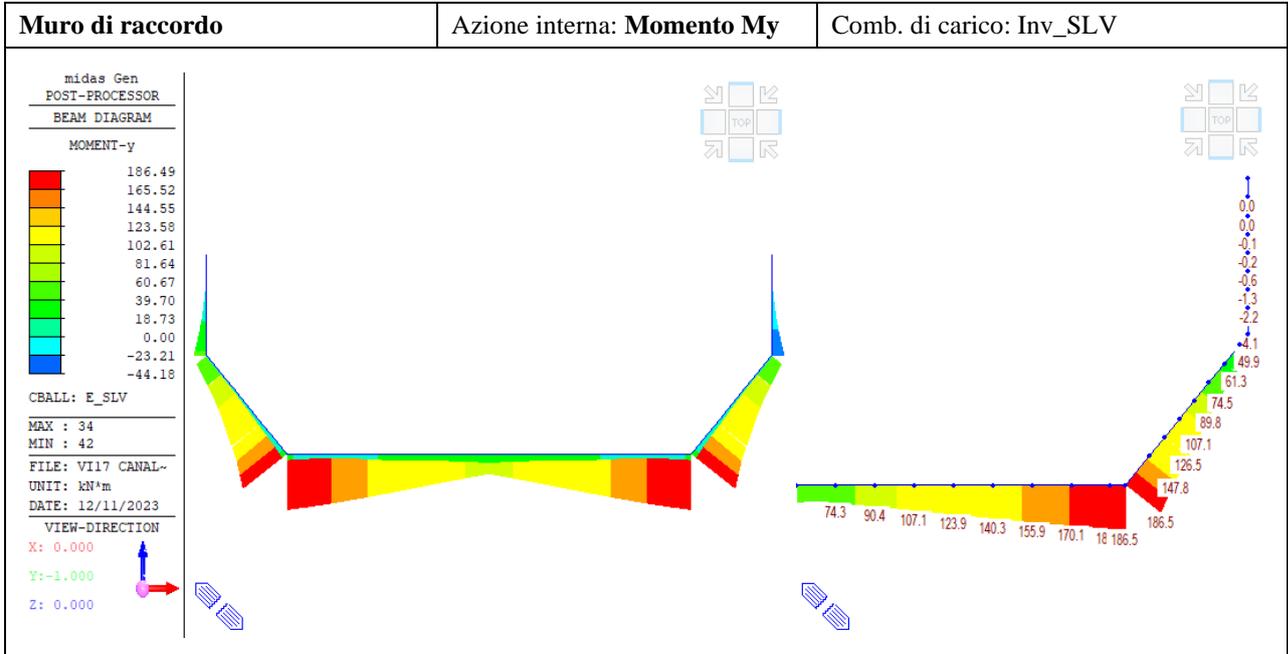


APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:				
					
APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:				
					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo Strutturale canale VI17	PROGETTO RS39	LOTTO 1.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID12.00.001	REV. PAGINA B 21 di 42

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

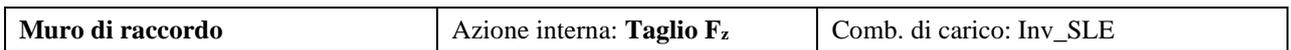
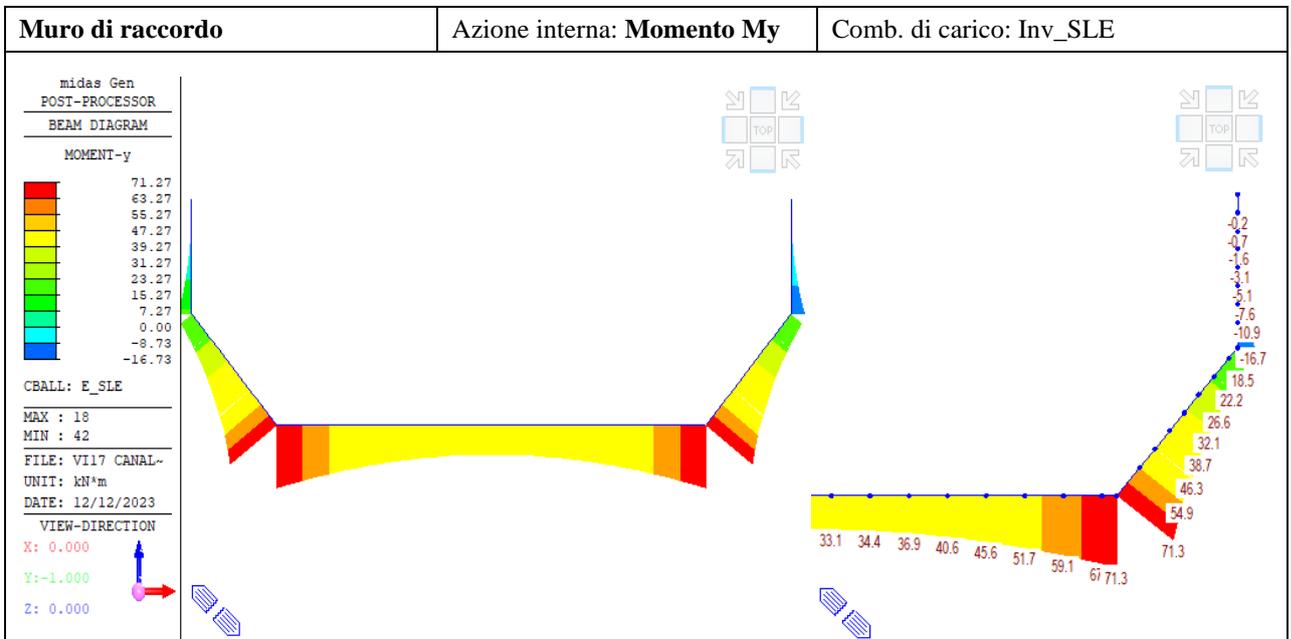
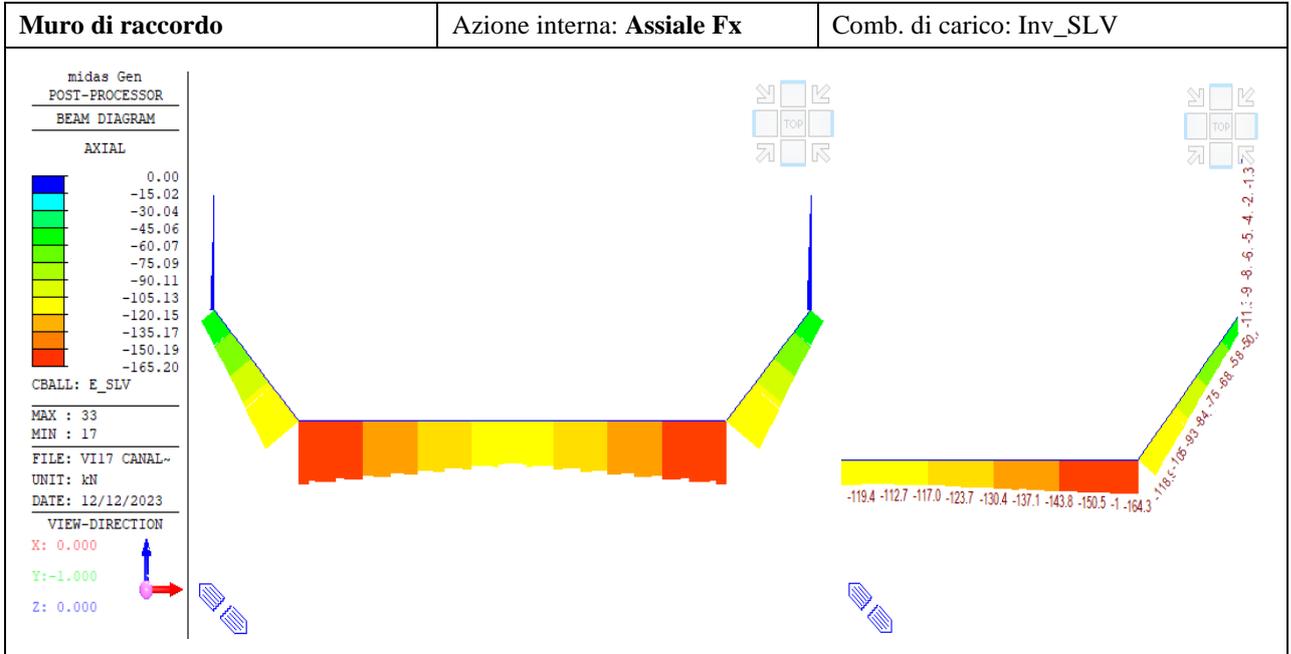


APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>					
   	  						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale V117</b>		PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>22 di 42</b>



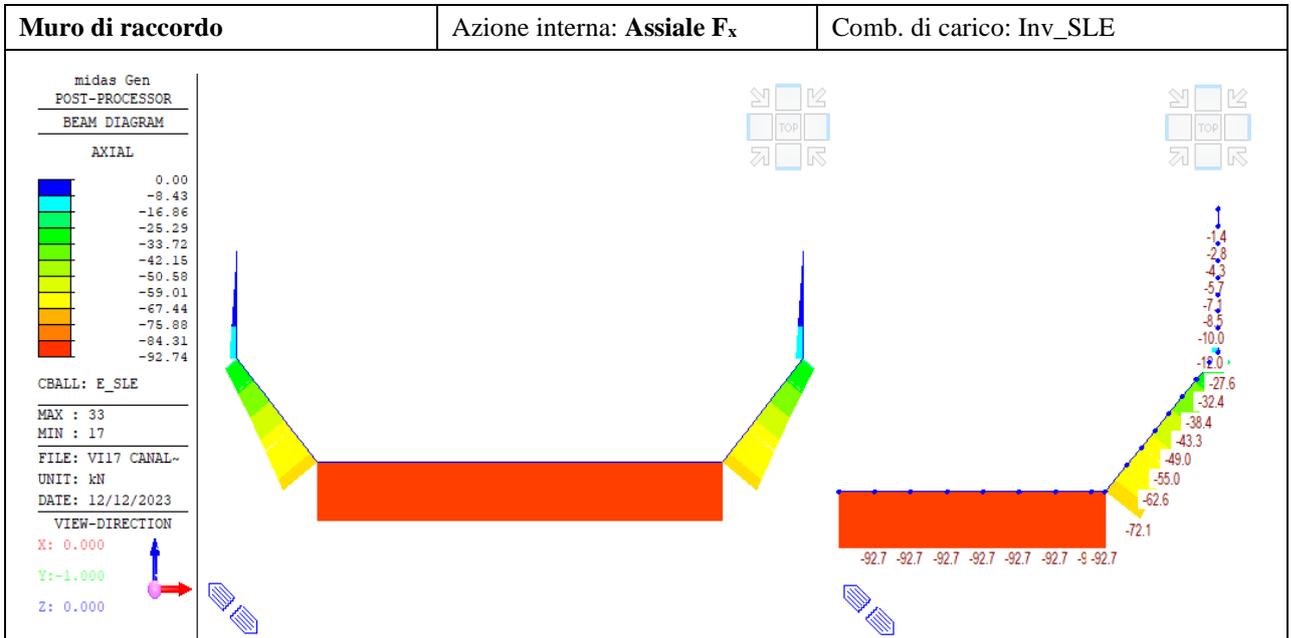
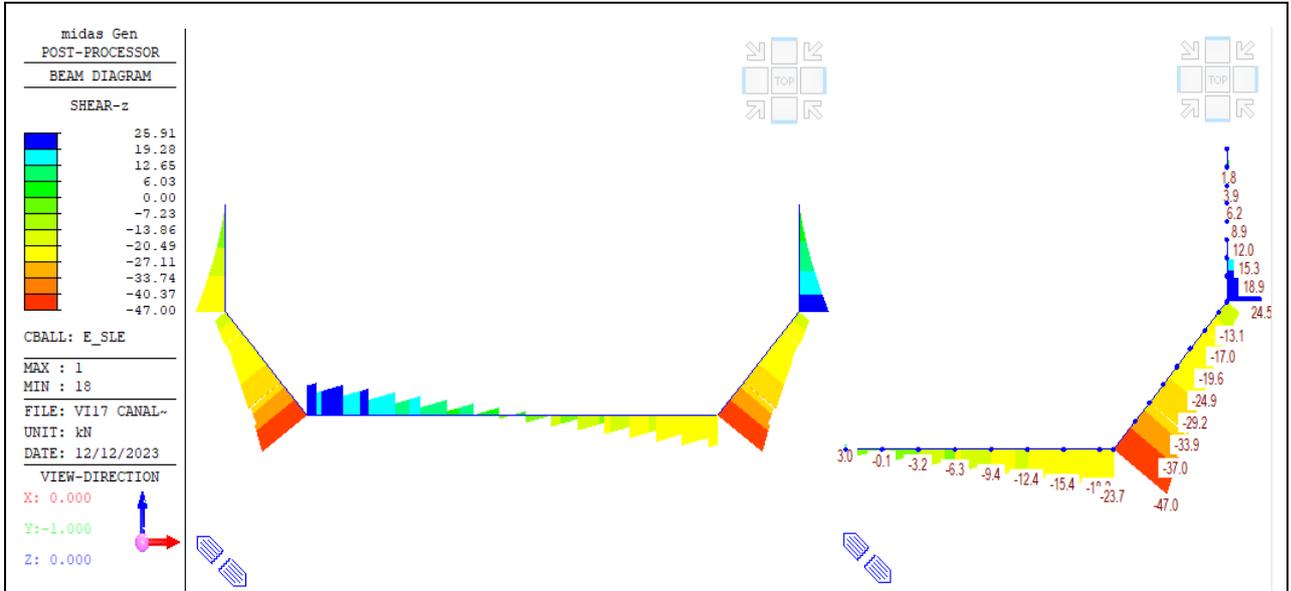
APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:	   					
APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:	  					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>		PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>23 di 42</b>

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



APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:						
APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
		RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	24 di 42

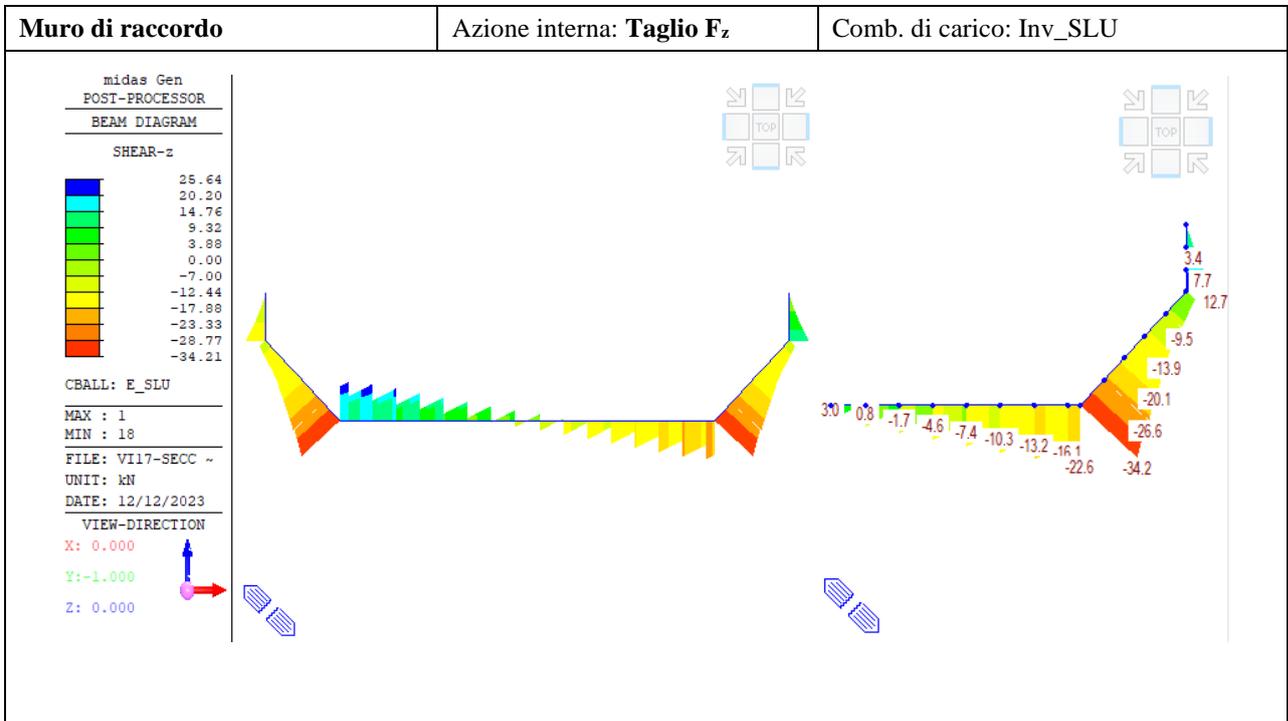
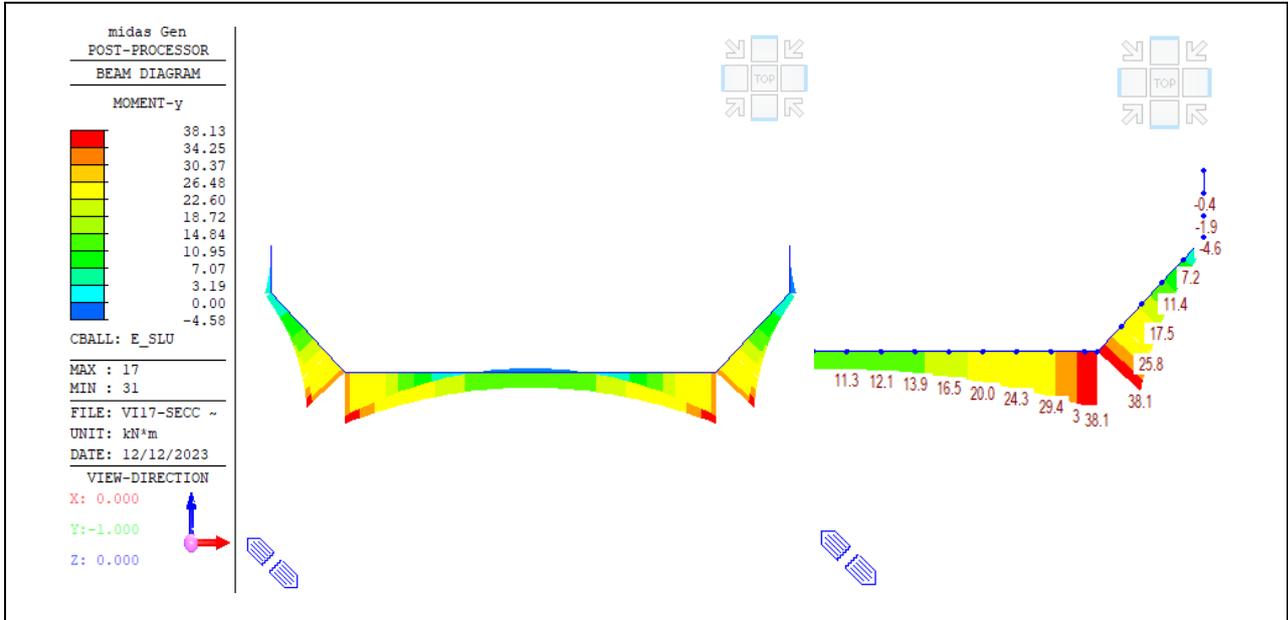
**DIRETTRICE FERROVIARIA  
 MESSINA - CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO  
 PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA  
 BICOCCA – CATENANUOVA**



5.5.2 Sezione Corrente

<b>Muro di raccordo</b>	Azione interna: <b>Momento My</b>	Comb. di carico: Inv_SLU
-------------------------	-----------------------------------	--------------------------

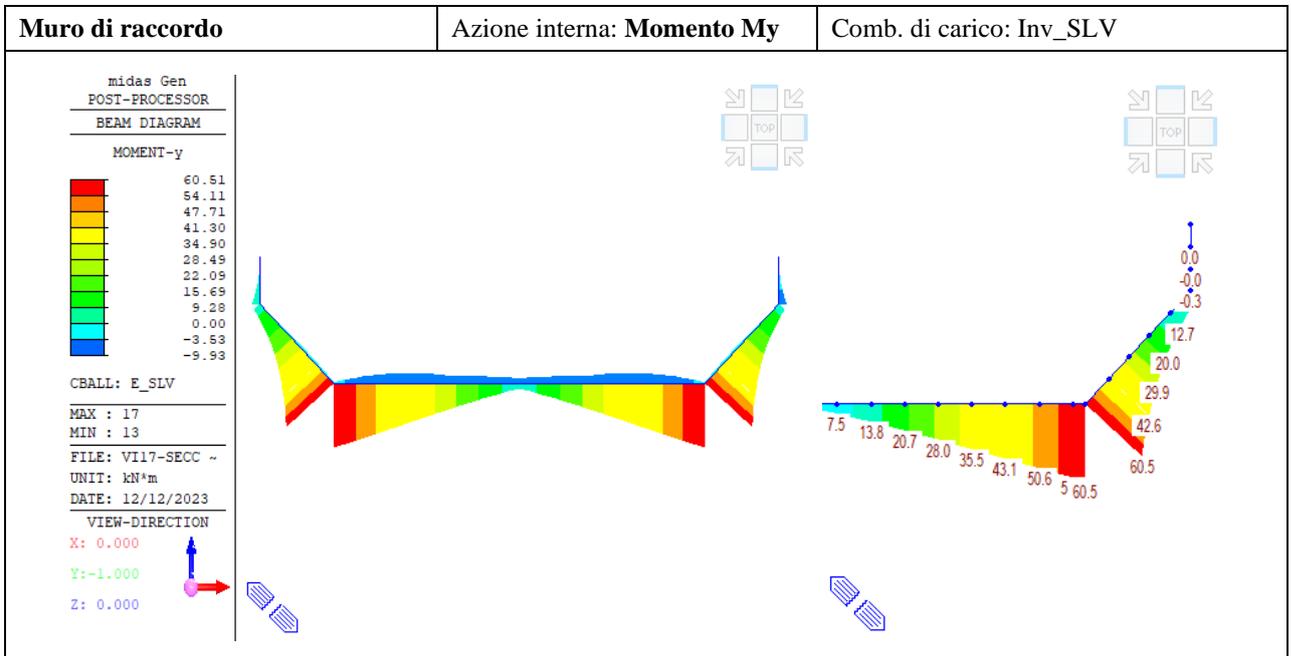
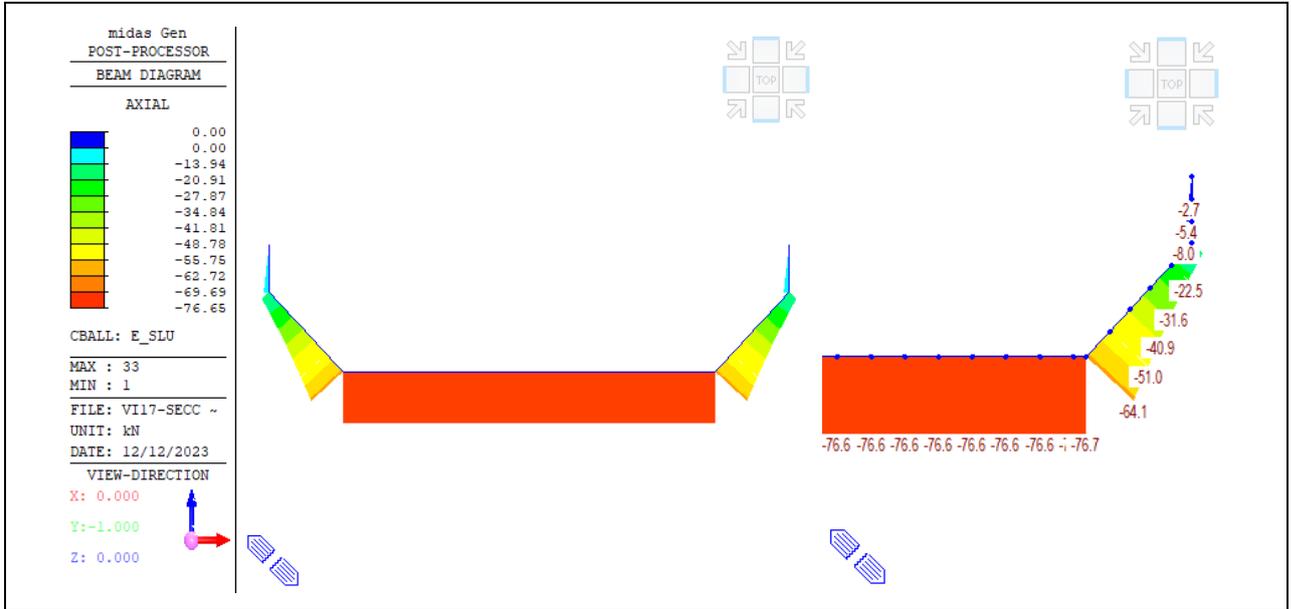
APPALTATORE: Mandatario:	Mandante:	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>					
   							
APPALTATORE: Mandatario:	Mandante:						
  							
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
		RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	25 di 42



<b>Muro di raccordo</b>	<b>Azione interna: Assiale Fx</b>	<b>Comb. di carico: Inv_SLU</b>
-------------------------	-----------------------------------	---------------------------------

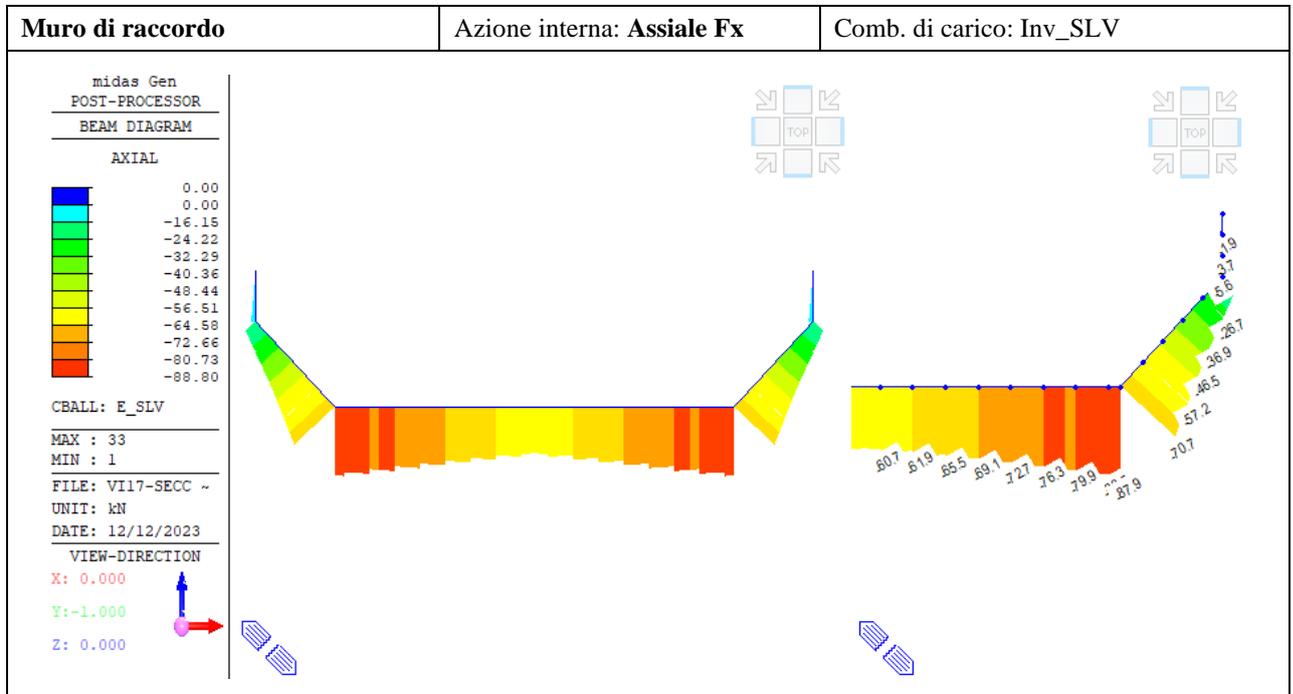
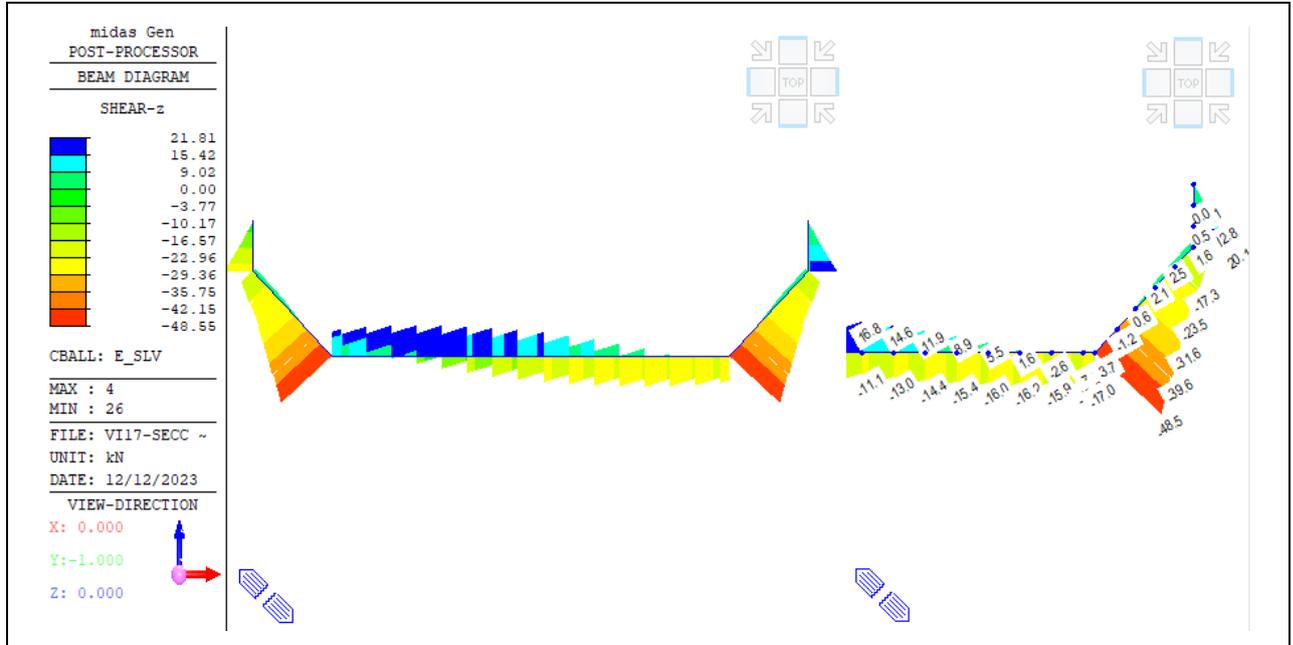
APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:	   					
APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:	   					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>		PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>26 di 42</b>

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



APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:	   					
APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:	  					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>		PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>27 di 42</b>

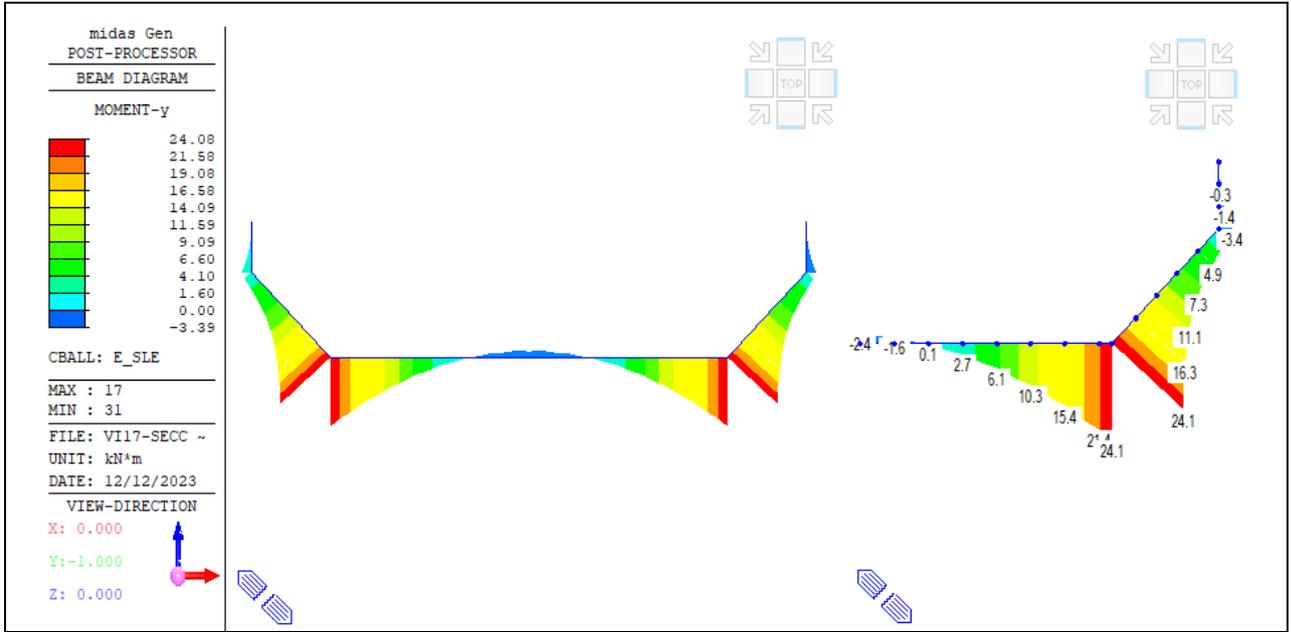
**DIRETTRICE FERROVIARIA  
 MESSINA - CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO  
 PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA  
 BICOCCA – CATENANUOVA**



<b>Muro di raccordo</b>	<b>Azione interna: Momento My</b>	<b>Comb. di carico: Inv_SLE</b>
-------------------------	-----------------------------------	---------------------------------

APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:	   					
APPALTATORE: Mandataria:	Mandante:	  					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>		PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>28 di 42</b>

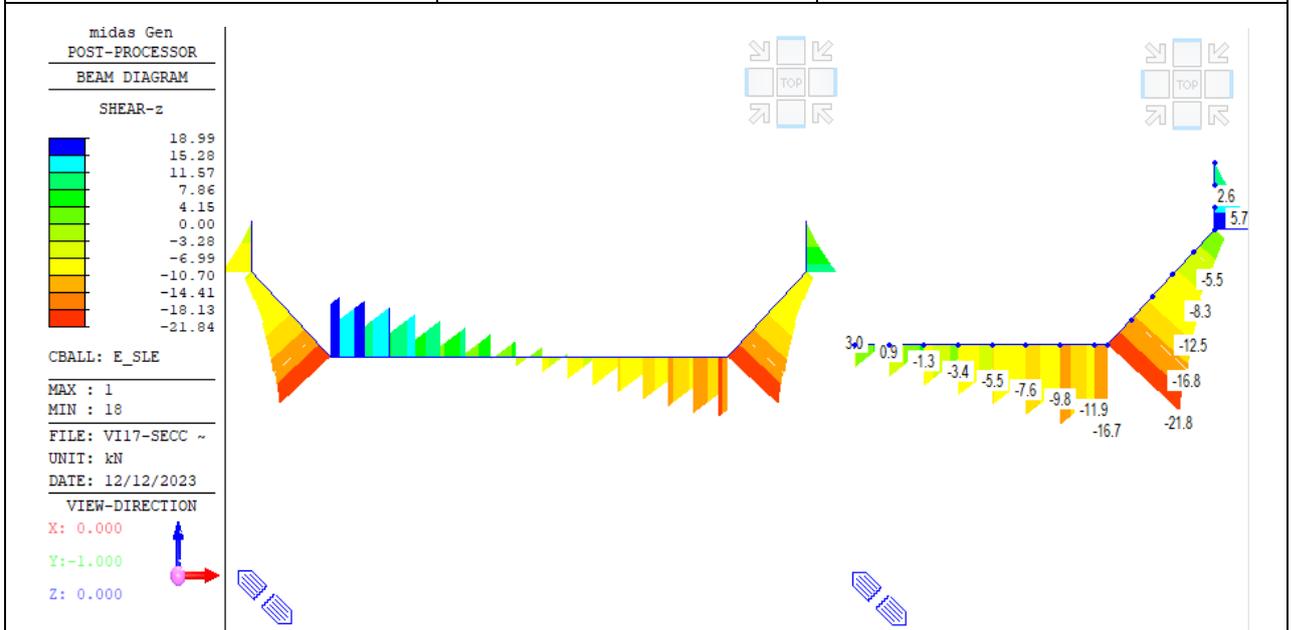
**DIRETTRICE FERROVIARIA  
 MESSINA - CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO  
 PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA  
 BICOCCA – CATENANUOVA**



**Muro di raccordo**

Azione interna: **Taglio  $F_z$**

Comb. di carico: Inv\_SLE



**Muro di raccordo**

Azione interna: **Assiale  $F_x$**

Comb. di carico: Inv\_SLE

APPALTATORE:  
Mandatario: **salini impregilo**

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

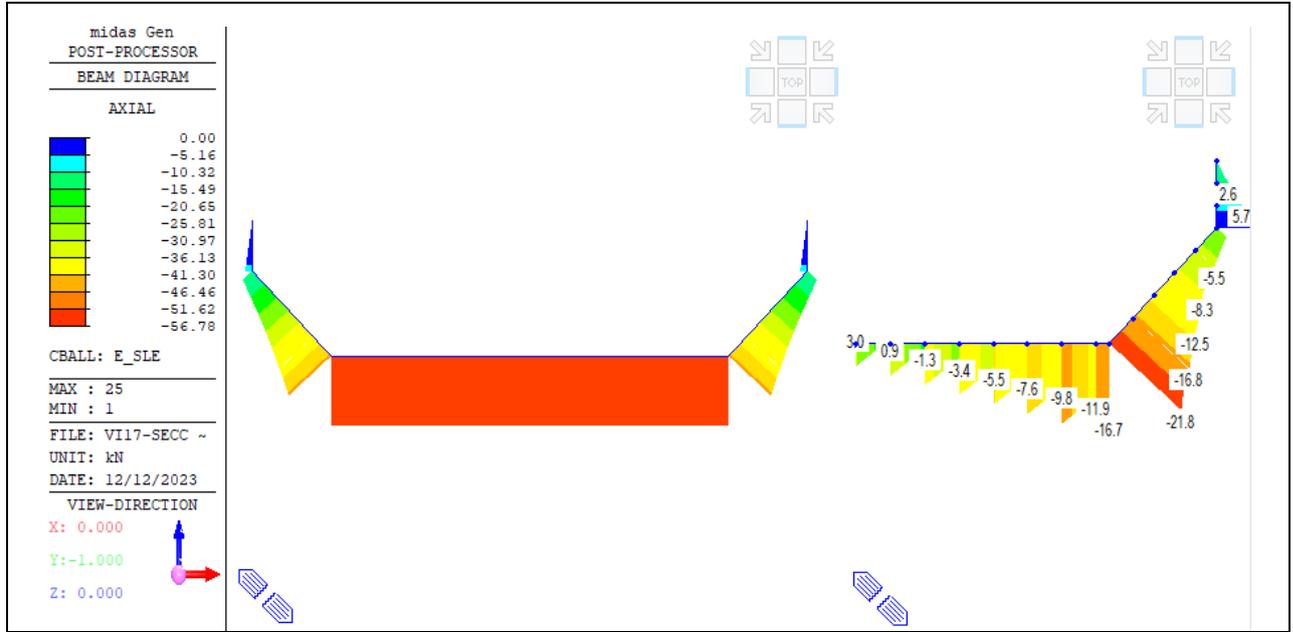
**DIRETTRICE FERROVIARIA  
MESSINA - CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO  
PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA  
BICOCCA – CATENANUOVA**

APPALTATORE:  
Mandatario: **TECH PROJECT** **Ingegneria Integrata**

Mandante: **Lombardi** **Lombardi Ingegneria S.r.l.** **Lombardi SA Ingegneri Consulenti** **SETECO** **Ingegneria S.r.l.**

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE  
**Relazione di calcolo Strutturale canale VII7**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	29 di 42



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 Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	PROGETTO RS39	LOTTO 1.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID12.00.001	REV. B	PAGINA 30 di 42

## 5.6 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 della fondazione e dei muri laterali.

Nella seguente figura sono riportate le sezioni oggetto di verifica, i valori delle sollecitazioni massime sono riportati nelle tabelle corrispondenti ad ogni sezione di canale. Poiché il canale è stato modellato ad assi degli elementi, i risultati sono ricavati nel nodo che ubicato all'estradosso lo spessore delle pareti e della soletta.

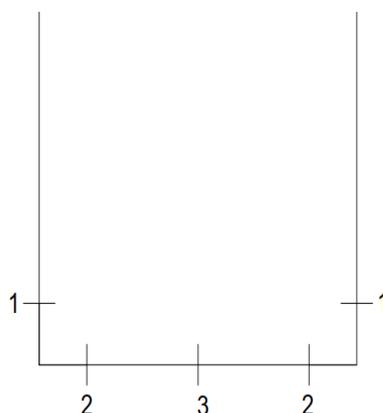


Figura 9 – Sezioni di verifica

Il modello è sviluppato considerando la linea d'asse degli elementi strutturali, si considerano le sollecitazioni agenti a filo interno degli elementi.

### 5.6.1 Verifica a pressoflessione.

Le verifiche a pressoflessione sono state effettuate con l'ausilio del software commerciale PresFle+ distribuito dalla Concrete s.r.l. A vantaggio di sicurezza, nelle verifiche è stato trascurato lo sforzo normale. Il copriferro netto di calcolo è assunto pari a 4 cm.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti:

#### 5.6.1.1 Sezione tipo concio 4

Tabella 6 - Sollecitazioni di verifica SLU

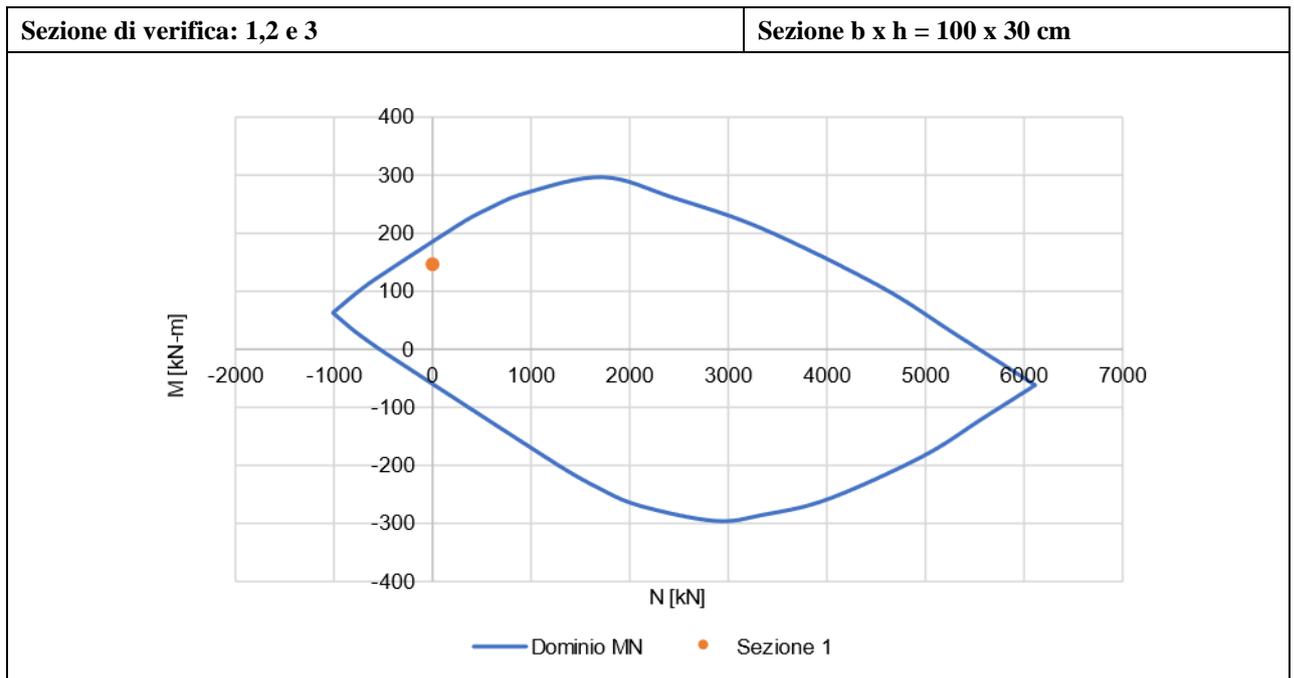
Sezione	$M_{max}$	$N_{corrisp}$	$T_{max}$
	[kNm]	[kN]	[kN]
1	147.80	105.80	90.60
2	170.10	150.00	35.00
3	74.30	103.00	43.10

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>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</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>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>31 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	31 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA									
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	31 di 42									

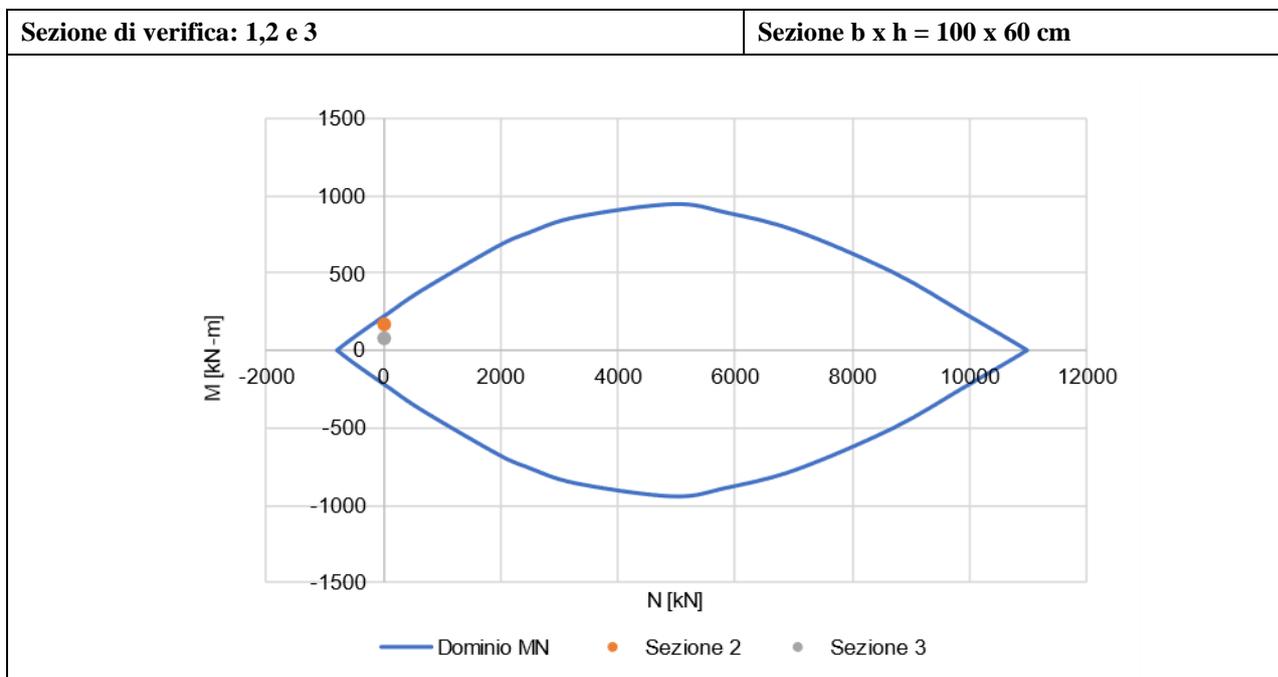
I risultati ottenuti sono riassunti nella seguente tabella:

Tabella 7 - Verifiche di resistenza a pressoflessione

Sezione	$M_{max}$	$N_{corrip}$	$b$	$h$	$A_{s,sup}$	$A_{s,inf}$	$M_r$	$c.s$
	[kNm]	[kN]	[cm]	[cm]	[-]	[-]	[kNm]	[-]
1	147.80	-	100	30	1Φ16/10	1Φ12/20	163	1.10
2	170.10	-	100	60	1Φ16/20	1Φ16/20	215	1.26
3	74.30	-	100	60	1Φ16/20	1Φ16/20	215	2.89



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 Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	PROGETTO RS39	LOTTO 1.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID12.00.001	REV. B	PAGINA 32 di 42



### 5.6.1.2 Sezione tipo corrente

Tabella 8 - Sollecitazioni di verifica SLU

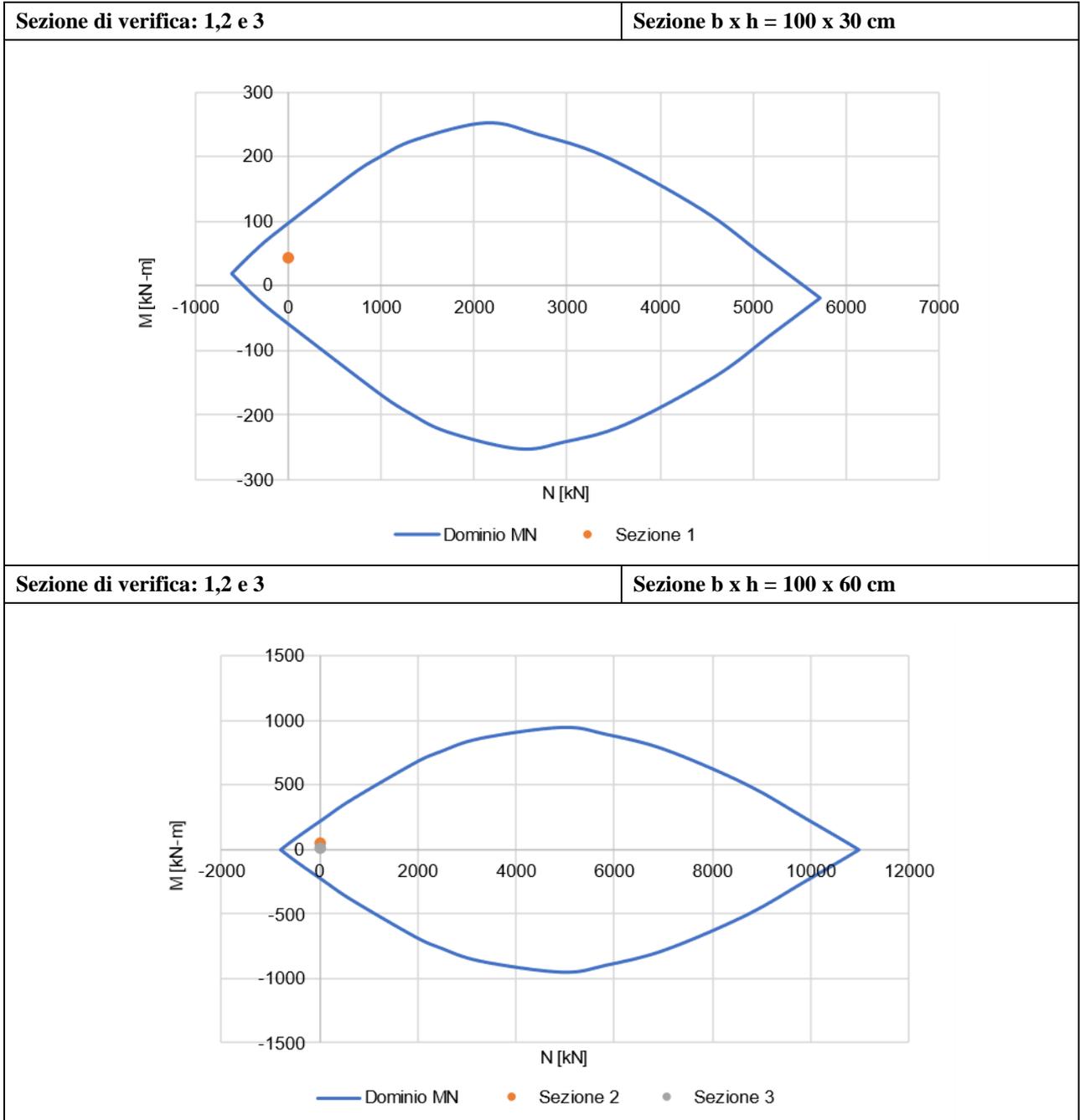
Sezione	$M_{max}$	$N_{corrisp}$	$T_{max}$
	[kNm]	[kN]	[kN]
1	42.60	57.70	39.60
2	50.60	85.90	25.60
3	11.30	54.70	18.60

I risultati ottenuti sono riassunti nella seguente tabella:

Tabella 9 - Verifiche di resistenza a pressoflessione

Sezione	$M_{max}$	$N_{corrisp}$	<b>b</b>	<b>h</b>	$A_{s,sup}$	$A_{s,inf}$	$M_r$	<b>c.s</b>
	[kNm]	[kN]	[cm]	[cm]	[-]	[-]	[kNm]	[-]
1	42.60	-	100	30	1Φ16/20	1Φ12/20	94	2.21
2	50.60	-	100	60	1Φ16/20	1Φ16/20	215	4.25
3	11.30	-	100	60	1Φ16/20	1Φ16/20	215	19.03

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 Relazione di calcolo Strutturale canale VII7		PROGETTO RS39	LOTTO 1.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID12.00.001	REV. B	PAGINA 33 di 42



### 5.6.1.3 Verifiche a taglio

APPALTATORE: Mandatario:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	<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>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>34 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	34 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	34 di 42								

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

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

Dove:

- $v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ ;
- $k = 1 + (200 / d)^{1/2} \leq 2$ ;
- $\rho_1 = A_{sw} / (b_w \cdot d)$
- $d$  = altezza utile per piedritti soletta superiore ed inferiore;
- $b_w = 1000$  mm larghezza utile della sezione ai fini del taglio.

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

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

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

I risultati ottenuti dalle verifiche delle sezioni maggiormente sollecitate per la struttura in esame sono riepilogati nelle seguenti tabelle.

#### 5.6.1.4 Sezione tipo concio 4

Tabella 10 - Verifiche di resistenza a taglio

Sezione	[-]	1	2	3
	[b x h]	1.00x0.30m	1.00x0.60m	1.00x0.60m
$\gamma_c$	[-]	1.50	1.50	1.50
$R_{ck}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	37	37	37
$f_{ck}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	31	31	31
$b_w$	[mm]	1000	1000	1000
$d$	[mm]	240	540	540
$\sigma_{cp}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00	0.00	0.00
$\phi 1$	[mm]	16	16	16
$\phi 2$	[mm]	0	0	0

APPALTATORE: Mandatario:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALTATORE: Mandatario:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>	<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 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;">ID12.00.001</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">35 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	35 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	1.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	35 di 42								

n1	[-]	10	5	5
n2	[-]	0	0	0
A <sub>s</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	2010	1005	1005
ρ <sub>L</sub>	[-]	0.008	0.002	0.002
k	[-]	1.91	1.61	1.61
V <sub>Rd</sub>	[kN]	163	186	186
V <sub>Rd,min</sub>	[kN]	123	214	214
V <sub>Rd,eff</sub>	[kN]	163	214	214
V <sub>Sd</sub>	[kN]	<b>90.60</b>	<b>35.00</b>	<b>43.10</b>
c.s.	[-]	<b>1.79</b>	<b>6.11</b>	<b>4.96</b>

#### 5.6.1.5 Sezione tipo corrente

Tabella 11 - Verifiche di resistenza a taglio

Sezione	[-]	1	2	3
	[b x h]	1.00x0.30m	1.00x0.60m	1.00x0.60m
γ <sub>c</sub>	[-]	1.50	1.50	1.50
R <sub>ck</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	37	37	37
f <sub>ck</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	31	31	31
b <sub>w</sub>	[mm]	1000	1000	1000
d	[mm]	240	540	540
σ <sub>cp</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00	0.00	0.00
φ1	[mm]	16	16	16
φ2	[mm]	0	0	0
n1	[-]	5	5	5
n2	[-]	0	0	0
A <sub>s</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	1005	1005	1005
ρ <sub>L</sub>	[-]	0.004	0.002	0.002
k	[-]	1.91	1.61	1.61
V <sub>Rd</sub>	[kN]	129	186	186
V <sub>Rd,min</sub>	[kN]	123	214	214
V <sub>Rd,eff</sub>	[kN]	129	214	214
V <sub>Sd</sub>	[kN]	<b>39.60</b>	<b>25.60</b>	<b>18.60</b>
c.s.	[-]	<b>3.26</b>	<b>8.35</b>	<b>11.49</b>

La verifica a taglio delle sezioni in c.a. senza armatura a taglio risulta soddisfatta. Al fine di rispettare i limiti di normativa nelle pareti laterali (ossia 9 spilli/mq), si predispongono legature Φ10/20x40.

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 Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	PROGETTO RS39	LOTTO 1.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID12.00.001	REV. B	PAGINA 36 di 42

## 5.7 VERIFICHE SLE

### 5.7.1 Verifiche a fessurazione

Per le verifiche di fessurazione, come indicato nel paragrafo 4.3.3., 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 questo caso si verifica se le sezioni valutate nell'ambito della combinazione di servizi si incrinano.

#### 5.7.1.1 Sezione tipo corrente

Tabella 12 - Verifica della sezione fessurata

<i>Combinazione</i>	[-]	SLE	SLE	SLE
<i>Opera</i>	[-]	VII7	VII7	VII7
<i>Elemento</i>	[-]	Piedritti	Fondazione	Losa
<i>Sezione</i>	[-]	1	2	3
<i>Sollecitazione</i>	[-]	Flessione	Flessione	Flessione
b	[mm]	1000	1000	1000
h	[mm]	300	600	600
A	[mm <sup>2</sup> ]	3.000E+05	6.000E+05	6.000E+05
W	[mm <sup>3</sup> ]	1.500E+07	6.000E+07	6.000E+07
f <sub>ck</sub>	[MPa]	30.0	30.0	30.0
f <sub>ctm</sub>	[MPa]	2.90	2.90	2.90
σ <sub>ct,amm</sub>	[MPa]	2.90	2.90	2.90
N	[kN]	37.80	56.80	56.80
M <sub>max</sub>	[kN-m]	16.30	21.40	2.40
M <sub>ff</sub>	[kN-m]	45.34	179.47	179.47
		<b>Fessurato</b>	<b>No</b>	<b>No</b>

\*  $\text{trazione} = f_{cm}/1.2$   $\text{flessione} = 1.20f_{cm}/1.20$

Le sollecitazioni di flessione della sezione 1 sono superiori al momento di fessurazione, pertanto la dimensione della fessura viene rivista.

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>Relazione di calcolo Strutturale canale VI17</b>	PROGETTO <b>RS39</b>	LOTTO <b>1.0.V.ZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>ID12.00.001</b>	REV. <b>B</b>	PAGINA <b>37 di 42</b>

Tabella 13 - Verifiche a fessurazione

Verifiche a fessurazione SLE									
Sezione	Mmax	Ncorrisp	b	h	As,sup	As,inf	wd	wi	wd<wi
	[kNm]	[kN]	[cm]	[cm]	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[verifica]
1	16.3	37.8	100	30	1Φ16/20	1Φ12/20	-	0.2	OK
2	21.4	56.8	100	60	1Φ16/20	1Φ16/20	-	0.2	OK
3	-2.4	56.8	100	60	1Φ16/20	1Φ16/20	-	0.2	OK

Poiché la combinazione di carichi di servizio non genera alcuna cricca, viene verificata la dimensione della cricca.

#### 5.7.1.2 Sezione concio 4

Tabella 14 - Verifica della sezione fessurata

<i>Combinazione</i>	[-]	<b>SLE</b>	<b>SLE</b>	<b>SLE</b>
<i>Opera</i>	[-]	<b>VI17</b>	<b>VI17</b>	<b>VI17</b>
<i>Elemento</i>	[-]	<b>Piedritti</b>	<b>Fondazione</b>	<b>Losa</b>
<i>Sezione</i>	[-]	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<i>Sollecitazione</i>	[-]	<b>Flessione</b>	<b>Flessione</b>	<b>Flessione</b>
b	[mm]	1000	1000	1000
h	[mm]	300	600	600
A	[mm <sup>2</sup> ]	3.000E+05	6.000E+05	6.000E+05
W	[mm <sup>3</sup> ]	1.500E+07	6.000E+07	6.000E+07
f <sub>ck</sub>	[MPa]	30.0	30.0	30.0
f <sub>ctm</sub>	[MPa]	2.90	2.90	2.90
σ <sub>ct,amm</sub>	[MPa]	2.90	2.90	2.90
N	[kN]	72.10	33.50	33.50
M <sub>max</sub>	[kN-m]	71.30	71.30	0.10
M <sub>fr</sub>	[kN-m]	47.05	177.14	177.14
<b>Fessurato</b>		<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>No</b>

\*  $trazione = f_{ctm}/1.2$  flessione  $1.20f_{ctm}/1.20$

Le sollecitazioni di flessione della sezione 1 sono superiori al momento di fessurazione, pertanto la dimensione della fessura viene rivista.

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 Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	PROGETTO RS39	LOTTO 1.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID12.00.001	REV. B	PAGINA 38 di 42

Tabella 15 - Verifica della larghezza della fessura

<i>Elemento</i>		<i>Piedritti</i>
<i>Sezione</i>		<i>I</i>
<i>Combinazione</i>		<i>SLE</i>
$R_{ck}$	[MPa]	37
$f_{ck}$	[MPa]	30.7
$f_{ctm}$	[MPa]	2.94
$E_{cm}$	[MPa]	33019
$\sigma_s$	[MPa]	139.20
$\phi_{eq}$	[mm]	16
$A_s$	[mm <sup>2</sup> ]	2011
$E_s$	[MPa]	210000
$s$	[mm]	100
$c$	[mm]	40
$b$	[mm]	1000
$h$	[mm]	300
$d$	[mm]	252.0
$x$	[mm]	102.5
$h_{c,ef}$	[mm]	65.8
$A_{c,eff}$	[mm <sup>2</sup> ]	65833.3
$\rho_{p,eff}$	[-]	0.0305
$\alpha_e$	[-]	6.36
$k_t$	[-]	0.40
$\epsilon_{sm}$	[-]	0.0004
$k_1$	[-]	0.80
$k_2$	[-]	0.50
$k_3$	[-]	3.40
$k_4$	[-]	0.425
$s_{max}$	[mm]	240
$\Delta_{smax}$	[mm]	225.1
$w_k$	[mm]	0.100
$w_{max}$	[mm]	0.20
	<b>Verifica</b>	<b>OK</b>

APPALDATORE: Mandataria:    	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA</b>												
APPALDATORE: Mandataria:   													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	<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>ID12.00.001</td> <td>B</td> <td>39 di 42</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	RS39	I.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	39 di 42
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
RS39	I.0.V.ZZ	CL	ID12.00.001	B	39 di 42								

Tabella 16 - Verifiche a fessurazione

Verifiche a fessurazione SLE									
Sezione	M <sub>max</sub>	N <sub>corrisp</sub>	b	h	A <sub>s,sup</sub>	A <sub>s,inf</sub>	wd	wi	wd < wi
	[kNm]	[kN]	[cm]	[cm]	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[verifica]
1	71.3	72.1	100	30	1Φ16/10	1Φ12/20	0.1	0.2	OK
2	71.3	33.5	100	60	1Φ16/20	1Φ16/20	-	0.2	OK
3	0.1	33.5	100	60	1Φ16/20	1Φ16/20	-	0.2	OK

Poiché la combinazione di carichi di servizio non genera alcuna cricca, viene verificata la dimensione della cricca.

### 5.7.2 Analisi tensionale

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

- $\sigma_{c,max} < 0,55 f_{ck}$  (combinazione caratteristica rara)
- $\sigma_{c,max} < \mathbf{16,50 MPa}$
- $\sigma_{c,max} < 0,40 f_{ck}$  (combinazione quasi permanente)
- $\sigma_{c,max} < \mathbf{12,00 MPa}$

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

- $\sigma_s < 0,75 f_{yk} = \mathbf{337,5 MPa}$

#### 5.7.2.1 Sezione tipo concio 4

Nella seguente tabella sono riportate le tensioni in esercizio relativa alla combinazione rara.

Tabella 17–Analisi tensionale

Analisi tensionale SLE									
Sezione	M <sub>max</sub>	N <sub>corrisp</sub>	b	h	A <sub>s,sup</sub>	A <sub>s,inf</sub>	$\sigma_s$	$\sigma_c$	Check
	[kNm]	[kN]	[cm]	[cm]	[-]	[-]	[MPa]	[MPa]	
1	71.3	72.1	100	30	1Φ16/10	1Φ12/20	139.3	-6.17	Ok



APPALTATORE: Mandataria: <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: Mandataria: <b>TECH</b>	Mandante: <b>Lombardi</b>	
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo Strutturale canale VII7</b>		PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. PAGINA <b>RS39 1.0.V.ZZ CL ID12.00.001 B 41 di 42</b>

Analisi tensionale SLE									
Sezione	$M_{max}$	$N_{corrisp}$	b	h	$A_{s,sup}$	$A_{s,inf}$	$\sigma_s$	$\sigma_c$	Check
	[kNm]	[kN]	[cm]	[cm]	[-]	[-]	[MPa]	[MPa]	
1	16.3	37.8	100	30	1Φ16/20	1Φ12/20	51.23	-1.8	Ok
2	21.4	56.8	100	60	1Φ16/20	1Φ16/20	16.3	-0.634	Ok
3	-2.4	56.8	100	60	1Φ16/20	1Φ16/20	-	-0.13	Ok

<b>Muro laterale - Nodo</b>	<b>Sezione di verifica: 1</b>	<b>Sezione b x h = 100 x 30 cm</b>
<b>Soletta fondazione - Nodo</b>	<b>Sezione di verifica: 2</b>	<b>Sezione b x h = 100 x 60 cm</b>
<b>Soletta fondazione - Mezzeria</b>	<b>Sezione di verifica: 3</b>	<b>Sezione b x h = 100 x 60 cm</b>

Dove:

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 Relazione di calcolo Strutturale canale VII7	PROGETTO RS39	LOTTO 1.0.V.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID12.00.001	REV. B	PAGINA 42 di 42

- $\sigma_{c,max}$  massima tensione nel calcestruzzo compresso;
- $\sigma_s$  tensione in corrispondenza dell'armatura tesa;
- $\sigma_s'$  tensione in corrispondenza dell'armatura compressa.

Sono state considerate negative le tensioni in zona compressa e positive le tensioni relative all'armatura tesa.

Le tensioni in esercizio sono sempre inferiori dei limiti sopra indicati; pertanto le verifiche allo stato tensionale risultano soddisfatte.

(\*) risultando nella combinazione rara  $\sigma_{\sigma_c, max}$  inferiore a  $0.40 f_{ck}$  ( $12.00 \text{ MN/m}^2$ ) la verifica si intende implicitamente soddisfatta anche per le altre condizioni

## 5.8 Verifica armatura minima

La seguente tabella fa riasunto della verifica dell'armatura minima nelle sezioni analizzate.

Elemento	Sezione	B [mm]	H [mm]	d [mm]	Av [mm <sup>2</sup> ]	Ah <sub>min</sub> /cara	AV				AH			
							φ	S	mm <sup>2</sup>	check	φ	S	mm <sup>2</sup>	check
Muro	1	1000	300	240	407.96	195.00	12	20	565.49	-	12	20	565.49	-

Elemento	Sezione	B [mm]	H [mm]	d [mm]	Avmin [mm <sup>2</sup> ]	Ahmin/cara	AV			AH		
							Armature	A [mm <sup>2</sup> ]	Check	Armature	A [mm <sup>2</sup> ]	Check
Fondazione	2	1000	600	560	952	262	1φ 14/20	769.69	✓	1φ 14/20	769.69	✓
Fondazione	3	1000	600	560	952	262	1φ 14/20	769.69	✓	1φ 14/20	769.69	✓