

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo.

VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA

Relazione di calcolo vasca

SCALA:



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

N B 1 R 0 9 D 2 6 C L V I 0 4 E 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESCUTIVA	G. Grimaldi 	Febbraio 2021	A. Maran 	Febbraio 2021	M. Berlingeri 	Febbraio 2021	A. Perego Febbraio 2021



File: NB1R02D26CLVI04E0001A

n. Elab.:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	1 di 88

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DESCRIZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>7</b>
<b>5. PARAMETRI GEOTECNICI .....</b>	<b>10</b>
5.1 Profondità della falda.....	10
<b>6. ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>11</b>
6.1 Pesì propri.....	11
6.2 Permanenti non strutturali.....	11
6.3 Carichi mobili (carico stradale) .....	11
6.4 Azione di frenamento .....	14
6.5 Azione centrifuga.....	14
6.6 Azione del sisma.....	15
6.7 Ritiro del calcestruzzo .....	19
6.8 Variazione termica.....	19
6.9 Spinta statica del terreno.....	19
6.10 Incremento di Spinta in condizione sismiche .....	20
<b>7. COMBINAZIONE DEI CARICHI.....</b>	<b>21</b>
<b>8. VERIFICHE STRUTTURALI .....</b>	<b>23</b>
8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-pressoflessione.....	23
8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio.....	23
8.3 Verifica agli stati limite d’esercizio.....	25
<b>9. ANALISI STRUTTURALE .....</b>	<b>26</b>
9.1 Modello FEM .....	26
9.2 Analisi dei carichi.....	28

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	2 di 88

9.3	Combinazioni.....	35
9.4	Sollecitazioni .....	38
<b>10.</b>	<b>Verifiche strutturali .....</b>	<b>47</b>
10.1	Verifica pareti .....	47
10.1.1	Verifica armatura verticale - M22 .....	47
10.1.2	Verifica armatura orizzontale - M11 .....	53
10.2	Verifica soletta superiore .....	58
10.2.1	Verifica direzione Y – M22.....	58
10.2.2	Verifica direzione X – M11.....	65
10.3	Verifica soletta inferiore .....	70
10.3.1	Verifica direzione Y – M22.....	70
10.3.2	Verifica direzione X – M11.....	77
10.4	Pilastrini.....	82
10.5	Verifica a punzonamento .....	84
<b>11.</b>	<b>INCIDENZA SCATOLARE .....</b>	<b>86</b>
<b>12.</b>	<b>DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2) .....</b>	<b>87</b>
12.1	Tipo di analisi svolte.....	87
12.2	Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo.....	87
12.3	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	87

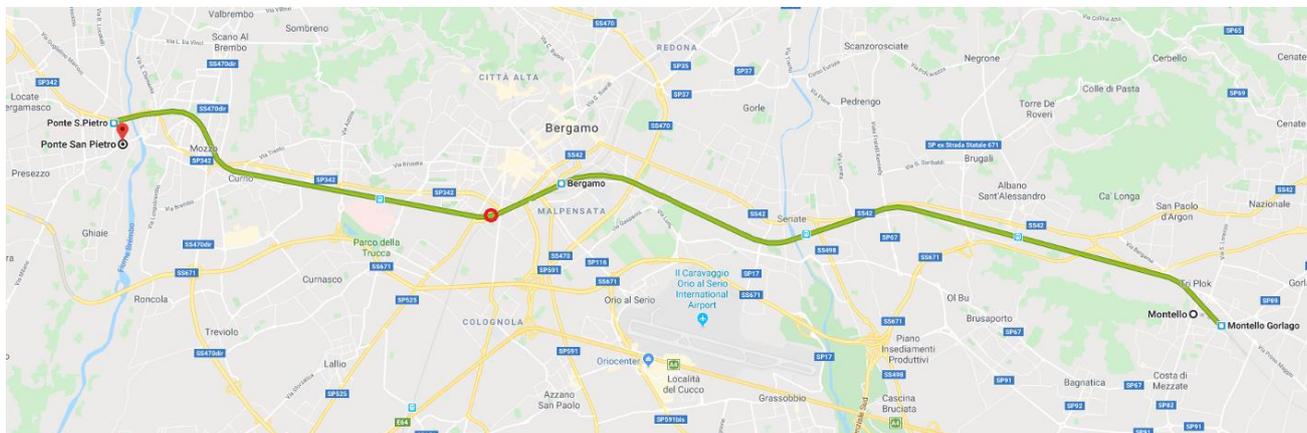
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b>					
	LOTTO 9					
	VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	3 di 88

## 1. PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell'ambito del progetto definitivo del raddoppio ferroviario San Pietro – Bergamo – Montello, Lotto 9.

Nella presente relazione è riportato il calcolo strutturale della vasca di laminazione al di sotto della strada in via dei Caniana.

L'opera in esame, denominata VI04E0, è ubicata alla progressiva 1+230 circa.



*Figura 1.1– Ubicazione del tracciato*

## 2. DESCRIZIONE

La presente relazione ha per oggetto la verifica della sezione trasversale della vasca di laminazione VI04E0 alla progressiva 1+230 al di sotto della strada in via dei Caniana, avente le caratteristiche riportate nella seguente tabella:

Geometria del tombino			
Larghezza totale massima	Ltot	8.00	m
Altezza totale	Htot	4.60	m
Spessore soletta superiore	ss	0.60	m
Spessore piedritti	sp	0.60	m
Spessore soletta inferiore	sf	0.60	m
Luce libera massima	Lint	6.80	m
Altezza libera media	Hint	3.40	m

Si riportano, di seguito, la sezioni e la pianta della struttura.

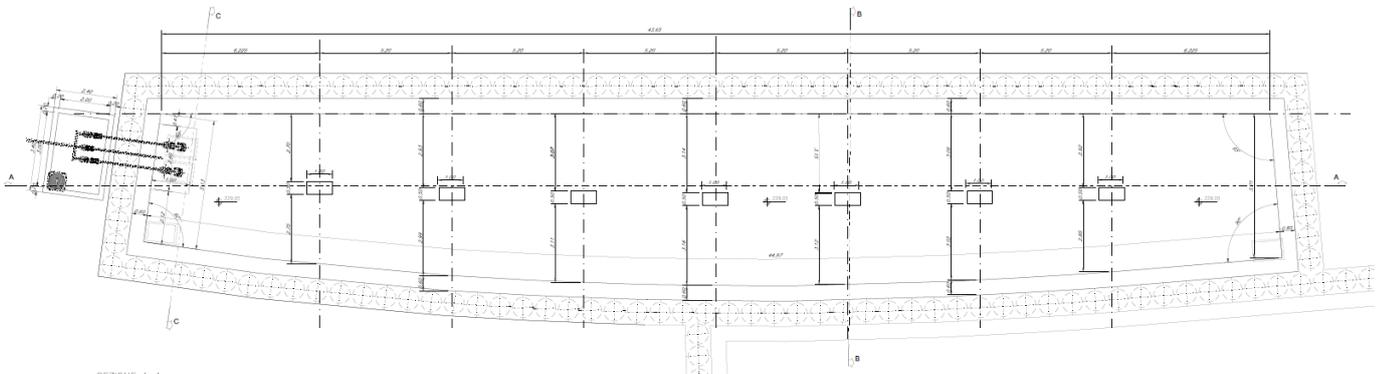


Figura 2.1 - Pianta vasca di laminazione

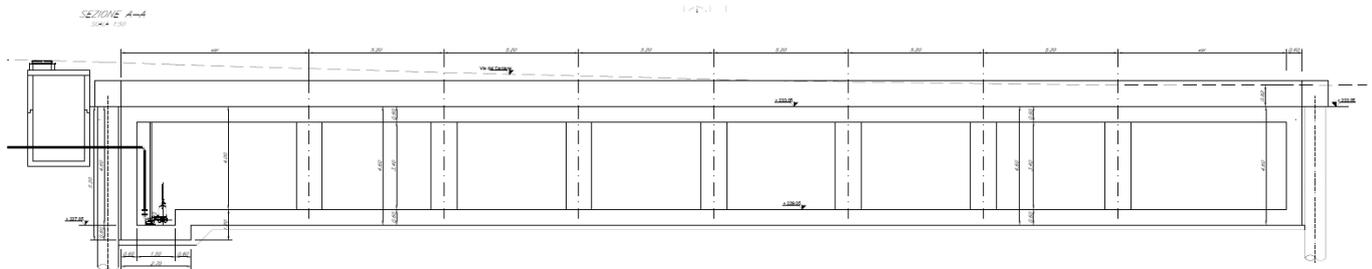


Figura 2.2 – Sezione longitudinale vasca di laminazione

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

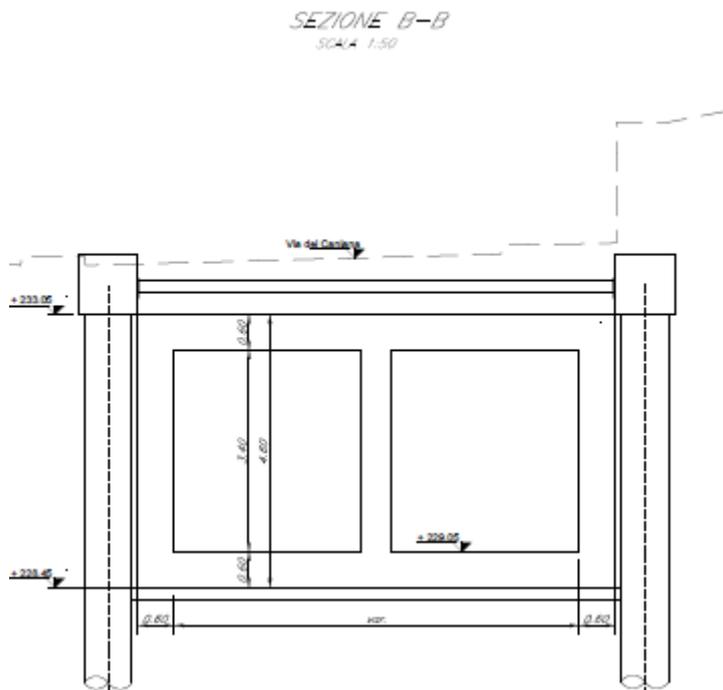


Figura 2.3 – Sezione trasversale vasca di laminazione

La struttura sarà realizzata in c.a. gettato in opera senza giunti intermedi.

Geometria del Ricoprimento			
Pacchetto stradale	Hp	0.11	m
Ricoprimento	Hr	0.82	m
Imperm. più massetto cls sp. 5 cm	Hr	0.05	m

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	6 di 88

### 3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali sono stati condotti nel rispetto delle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- Circolare 15 ottobre 1996, n.252 AA.GG./S.T.C.: Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996;
- RFI DTC SI MA IFS 001 B: “Manuale di progettazione delle opere civili” del 22/12/2017.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B: Sezione 2 – Ponti e Strutture

Riferimenti STI:

- 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, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

#### 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

<b>MAGRONE - C12/15</b>				
Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza cubica a compressione	$R_{ck}$		N/mm <sup>2</sup>	15
Contenuto minimo cemento			kg/m <sup>3</sup>	150

<b>CALCESTRUZZO CLASSE C32/40</b>				
Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza cubica a compressione	$R_{ck}$		N/mm <sup>2</sup>	40.0
Resistenza cilindrica a compressione	$f_{ck}$	$0.83 * R_{ck}$	N/mm <sup>2</sup>	33.2
Resistenza cilindrica media a compressione	$f_{cm}$	$f_{ck} + 8$	N/mm <sup>2</sup>	41.2
Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli	$\alpha_{cc}$ ( $t > 28$ gg)		-	0.85
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo	$\gamma_c$		-	1.5
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd}$	$(\alpha_{cc} * f_{ck}) / \gamma_c$	N/mm <sup>2</sup>	18.8
Resistenza cilindrica media a trazione	$f_{ctm}$	$0.3 * (f_{ck})^{2/3}$	N/mm <sup>2</sup>	3.1
Resistenza cilindrica media a trazione	$f_{ctk}$	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm <sup>2</sup>	2.2
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd}$	$f_{ctk} / \gamma_c$	N/mm <sup>2</sup>	1.4
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm}$	$1.2 * f_{ctm}$	N/mm <sup>2</sup>	3.7
Resistenza cilindrica caratteristica a trazione	$f_{ctk}$	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm <sup>2</sup>	2.6
Modulo elastico	$E_{cm}$	$22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3}$	N/mm <sup>2</sup>	33643
Peso proprio	$\gamma_c$		N/m <sup>3</sup>	25000
Coefficiente di Poisson	$\nu$		-	0.2
Coefficiente di aderenza	$\eta$		-	1.0
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	$f_{bk}$	$2.25 * \eta * f_{ctk}$	N/mm <sup>2</sup>	4.9
Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo	$f_{bd}$	$f_{bk} / \gamma_c$	N/mm <sup>2</sup>	3.3
<b>Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.</b>				
Massima tensione di compressione in combinazione di carico RARA	$\sigma_c$	$0.60 * f_{ck}$	N/mm <sup>2</sup>	18.3
Massima tensione di compressione in combinazione di carico PERMANENTE	$\sigma_c$	$0.45 * f_{ck}$	N/mm <sup>2</sup>	13.3

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

Acciaio ad aderenza migliorata B450C				
Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza caratteristica di rottura	$f_{t\ nom}$		N/mm <sup>2</sup>	540
Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{y\ nom}$		N/mm <sup>2</sup>	450
Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio	$\gamma_s$		-	1.15
Resistenza di calcolo	$f_{y\ d}$	$f_{yk} / \gamma_s$	N/mm <sup>2</sup>	391.3
Modulo elastico	$E_s$		N/mm <sup>2</sup>	206000
<b>Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.</b>				
Tensione massima di esercizio per l'acciaio	$\sigma_s$	$0.80 * f_{yk}$	N/mm <sup>2</sup>	337.5

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare 21.01.2019, riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p elementi a piastra		cavi da c.a.p altri elementi	
Cmin	Co	ambiente	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

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

Classe di esposizione: XC4

Copriferro di progetto: 50 mm

Condizioni ambientali: Aggressive

Il valore limite di apertura delle fessure calcolato secondo le combinazioni agli SLE (frequente e quasi permanente) è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$w_1 = 0.2\ mm$

$w_2 = 0.3\ mm$

$w_3 = 0.4\ mm$

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_k$	Stato limite	$w_k$
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	10 di 88

## 5. PARAMETRI GEOTECNICI

Gli elaborati di riferimento sono:

Relazione geotecnica generale	N	B	1	R	0	9	D	2	6	G	E	G	E	0	0	0	5	0	0	1
-------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Sulla base delle indagini svolte, sintetizzate nei profili geotecnici lungo linea, in corrispondenza della progressiva si evince la seguente stratigrafia:

Strato	Profondità media	Profondità media	Descrizione	
	Da [m da p.c.]	A [m da p.c.]		
Ug1	0	24.5	S(G), S,G	Sabbia ghiaiosa e sabbia con ghiaia
Ug3b	24.5	27.8	A(S), A,S	Argilla sabbiosa e argilla con sabbia
Ug4	27.8	30.2	S(G), S,G	Sabbia ghiaiosa e sabbia con ghiaia
Ug3b	30.2	32.5	A(S), A,S	Argilla sabbiosa e argilla con sabbia
Ug4	32.5	-	S(G), S,G	Sabbia ghiaiosa e sabbia con ghiaia

Strato	Parametri di resistenza					Parametri di deformabilità					
	$\gamma_n$	$K_0$	$\phi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op1}$	$E_{op2}$	$\nu'$	$k_v$ (*)
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
Ug1	20	0.42	35	0	-	50 - 120	125 - 300	10 - 30	15 - 40	0.25	1.00E-06
Ug3b	19	0.60	24	0	100	150	375	30	50	0.25	1.00E-10
Ug4	20	0.38	38	0	-	220	550	60	80	0.25	1.00E-06
Ug3b	19	0.60	24	0	110	160	400	40	60	0.25	1.00E-10
Ug4	20	0.38	38	0	-	250	625	80	100	0.25	1.00E-06

### 5.1 Profondità della falda

Ai fini dell'analisi dell'opera non si è considerata la presenza della falda idrica in quanto il livello di falda è posto a 20 m dal p.c.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	11 di 88

## 6. ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio e in presenza dell'evento sismico. Tutti i carichi elementari si riferiscono a un concio longitudinale di larghezza unitaria, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

### 6.1 Pesì propri

Il peso dei differenti elementi strutturali viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato.

- Soletta di copertura;
- Soletta di fondazione;
- Piedritti.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

Calcestruzzo armato:  $\gamma_{c.a.} = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Rilevato:  $\gamma_{ril} = 19.00 \text{ kN/m}^3$

Pacchetto stradale:  $\gamma_{pac} = 24.00 \text{ kN/m}^3$

### 6.2 Permanenti non strutturali

Sono stati considerati i seguenti carichi permanenti sulla soletta superiore:

- Strato di usura;
- Binder;
- Strato di base;
- Strato di fondazione di inerti stabilizzati all'acqua e compattati.

### 6.3 Carichi mobili (carico stradale)

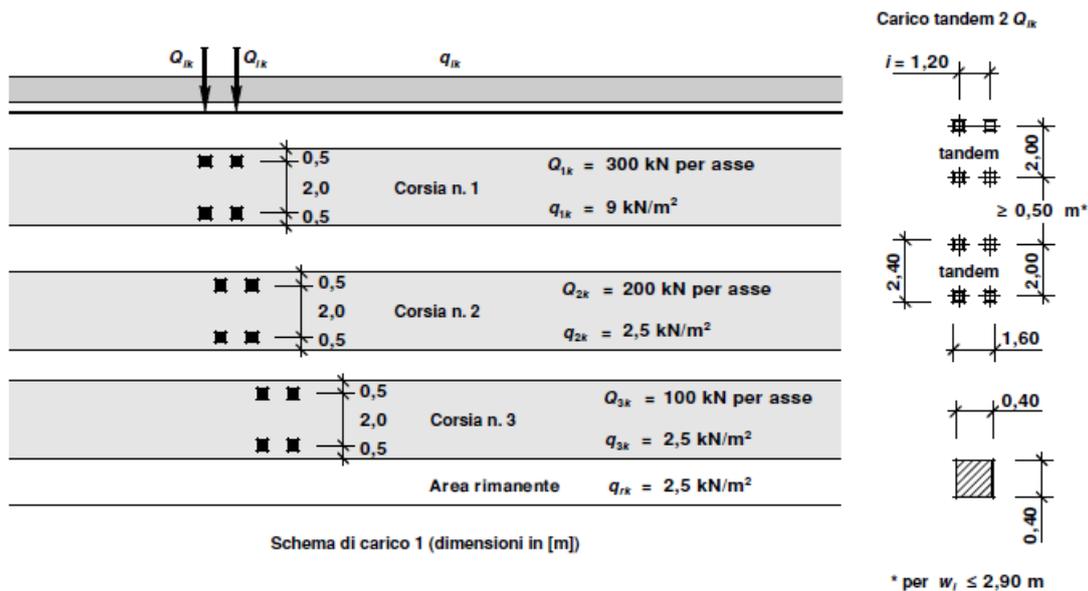
Le azioni da traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dallo schema di carico di seguito elencato (D. Min. 17/01/2018).

Schema di carico 1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	12 di 88

Utilizzato sia per le verifiche globali che per quelle locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Esso 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 secondo le seguenti colonne di carico.

Utilizzato sia per le verifiche globali che per quelle locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Esso 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 secondo le seguenti colonne di carico:



In senso trasversale i carichi  $Q_{ik}$  e  $q_{ik}$  sono distribuiti su corsie convenzionali di larghezza pari a 3,00 m in modo tale da ottenere la distribuzione trasversale più gravosa. Per quanto riguarda i carichi concentrati si considera un'unica impronta equivalente di dimensioni 2,40 m (direzione trasversale) e 1,60 m (direzione longitudinale).

Per quanto riguarda il carico verticale si considera una componente pari al carico trasportato in asse soletta mediante una larghezza di diffusione data dalla larghezza della corsia o impronta di carico equivalente e dalla diffusione del carico sino a giungere in asse soletta superiore con rapporti di diffusione: tangente dell'angolo di attrito del terreno di ricoprimento (si considera in presenza di un ricoprimento sopra la soletta) e tangente di  $45^\circ$  all'interno della soletta superiore sino al suo asse

Sono stati considerati i carichi da traffico stradale indicati nella normativa NTC 2018 con diverse configurazioni, centrata e disassata, al fine di trovare le massime sollecitazioni nelle sezioni di interesse per la verifica della struttura:

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

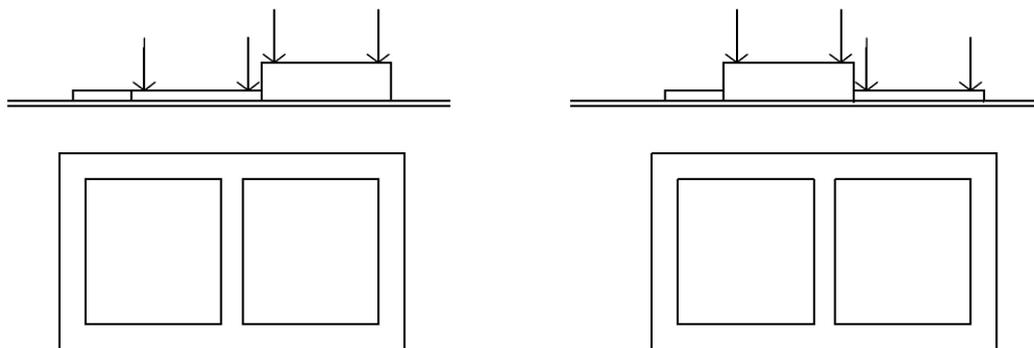


Figura 6.1 – Schema configurazioni corsie di carico

Si utilizzano lo Schema 1 e lo Schema 2, considerando una diffusione dell'impronta dei carichi tandem come indicato in NTC 2018 §5.1.3.3.6.

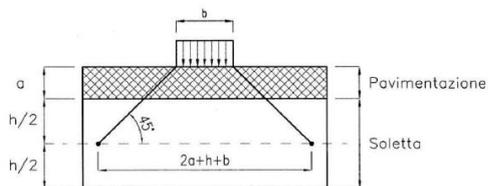


Fig. 5.1.3.a - Diffusione dei carichi concentrati nelle solette

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	14 di 88	

#### 6.4 Azione di frenamento

La forza di frenamento o accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n.1 e per i ponti di 1ª categoria è uguale a:

$$180 \text{ kN} \leq Q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

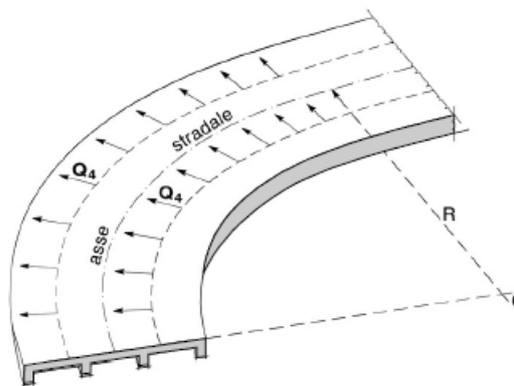
Tale azione deve essere applicata all'impalcato a quota pavimentazione.

#### 6.5 Azione centrifuga

Nelle opere con asse curvo di raggio "R" l'azione centrifuga viene valutata come riportato nella tabella a seguire.

Il carico concentrato  $Q_4$  si considera applicato a livello della pavimentazione e agisce in direzione normale all'asse longitudinale della struttura. Il carico verticale  $Q_v$  che interviene nel calcolo dell'azione centrifuga rappresenta il carico totale dovuto agli assi tandem dello schema di carico 1 agenti sulla sovrastruttura

Raggio di curvatura $R$ (m)	$Q_4$ (kN)
$R > 200$	$0,2 \cdot Q_v$
$200 \leq R < 1500$	$40 \cdot Q_v / R$
$R \geq 1500$	0
$Q_v = \sum 2 \cdot Q_{1k} =$ carico totale degli assi tandem dello schema di carico 1.	



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	15 di 88

## 6.6 Azione del sisma

Per le opere d'arte di progetto afferenti la ferrovia vengono utilizzati, a vantaggio di sicurezza, i seguenti valori:  $V_N=50$  anni e classe d'uso III a cui corrisponde un coefficiente d'uso  $C_U = 1.5$ .

La vita di riferimento  $V_R$  è quindi pari a 75 anni.

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  $V_N = 50$  anni
- Categoria di suolo: B
- 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.

I parametri per la determinazione dei punti dello spettro di risposta orizzontale e verticale sono riportati :

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:     LATTITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:     PROVINCIA:     COMUNE:

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

---

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

**Reticolo di riferimento**

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

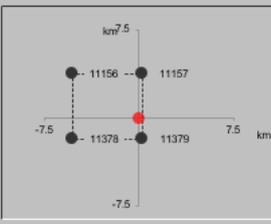
Interpolazione corretta

Interpolazione:



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, a "Ricerca per coordinate".

**Nodi del reticolo intorno al sito**



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Di seguito si riportano gli spettri di risposta orizzontale e verticale allo Stato limite di salvaguardia della vita SLV utilizzati per il calcolo dell'azione sismica. Con tale azione sismica agente, le forze risultanti trasmesse

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

dall'impalcato al piano appoggi della spalla in corrispondenza della sommità del muro di testata sono riportate al paragrafo successivo, sotto le voci **Ex**, **Ey** ed **Ez**.

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="45"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="75"/>

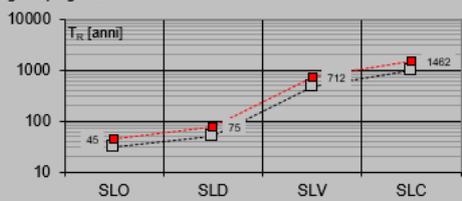
Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="712"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1462"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- - - - - Strategia scelta

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **B** info  $S_B = 1.200$   $C_C = 1.425$  info

Categoria topografica **T1** info  $h/H = 0.000$   $S_T = 1.000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%)   $\eta = 1.000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_s$   Regol. in altezza **si** info

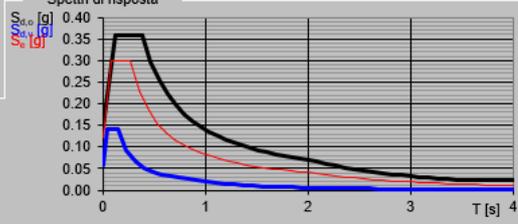
Compon. verticale

Spettro di progetto Fattore  $q_v$    $\eta = 1.000$  info

Elaborazioni

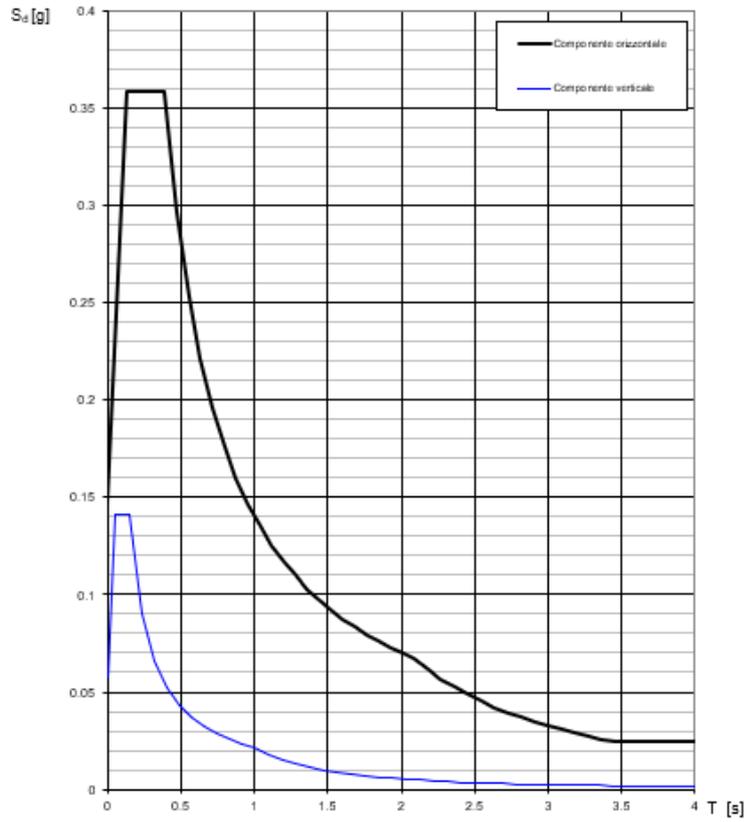
- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



Di seguito si riporta a titolo di esempio lo **spettro di progetto** per lo **Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV** relativamente alle componenti **orizzontali**, con coefficiente di smorzamento strutturale canonico pari al 5%.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato lim SLV



**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV/
$a_g$	0.123 g
$F_{c0}$	2.440
$T_c$	0.274 s
$S_s$	1.200
$C_c$	1.425
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.200
$\eta$	1.000
$T_B$	0.130 s
$T_C$	0.391 s
$T_D$	2.090 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_k(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_k(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_k(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_k(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_k(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_k(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.147
$T_B$ ←	0.130	0.359
$T_C$ ←	0.391	0.359
	0.472	0.297
	0.553	0.254
	0.634	0.221
	0.715	0.196
	0.796	0.176
	0.876	0.160
	0.957	0.147
	1.038	0.135
	1.119	0.125
	1.200	0.117
	1.281	0.109
	1.362	0.103
	1.443	0.097
	1.524	0.092
	1.605	0.087
	1.686	0.083
	1.767	0.079
	1.847	0.076
	1.928	0.073
	2.009	0.070
$T_D$ ←	2.090	0.067
	2.181	0.062
	2.272	0.057
	2.363	0.053
	2.454	0.049
	2.545	0.045
	2.636	0.042
	2.727	0.039
	2.818	0.037
	2.909	0.035
	3.000	0.033
	3.091	0.031
	3.182	0.029
	3.272	0.027
	3.363	0.026
	3.454	0.025
	3.545	0.025
	3.636	0.025
	3.727	0.025
	3.818	0.025
	3.909	0.025
	4.000	0.025

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

## 6.7 Ritiro del calcestruzzo

Gli effetti del ritiro del calcestruzzo sono valutati impiegando i coefficienti indicati al punto 11.2.10.6 delle NTC2018. La deformazione totale da ritiro è data dalla somma della deformazione per ritiro da essiccamento e della deformazione da ritiro autogeno. Il ritiro è stato applicato mediante una variazione termica equivalente pari a  $10^\circ$ , ed un umidità relativa del 75% a 7 gg.

Il fenomeno del ritiro è stato applicato solo alla soletta di copertura nel caso dello scatolare mentre viene trascurato nel muro.

## 6.8 Variazione termica

La variazione termica applicata sulla struttura è pari a  $\Delta T = +15^\circ\text{C}$ , con un variazione termica aggiuntiva a farfalla pari a  $\Delta T = +5^\circ\text{C}$  applicata sulla soletta di copertura. Per ricoprimenti superiori ad 1,5m non si applica alcuna variazione termica.

Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 \times 10^{-6} = 0.00001$$

## 6.9 Spinta statica del terreno

Le spinte del terreno a monte degli elementi verticali sono calcolate con la teoria di Rankine, con distribuzione triangolare delle tensioni e conseguente risultante della spinta al metro pari a  $S = 1/2 \cdot k_0 \cdot \gamma \cdot H^2$ , applicata ad 1/3 dal basso.

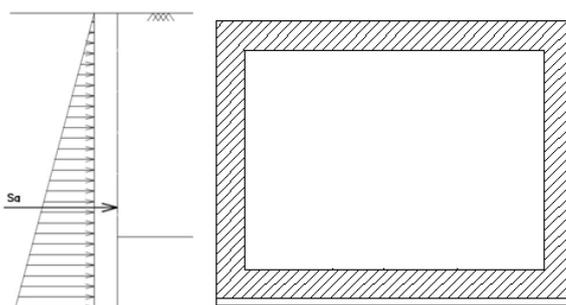


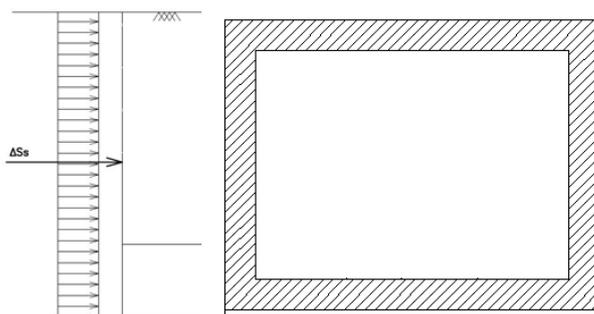
Figura 6.2 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

La spinta in condizioni di esercizio viene calcolata con il coefficiente di spinta a riposo  $k_0 = 1 - \sin \phi'$ , dove  $\phi'$  è l'angolo di attrito assunto. In caso di falda il peso specifico del terreno è stato sostituito da quello efficace.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

### 6.10 Incremento di Spinta in condizione sismiche

In condizione sismica si considera un incremento della spinta del terreno rispetto alla condizione statica in esercizio. La sovraspinta sismica è calcolata con la teoria di Wood, risultando in un valore di spinta al metro, distribuito uniformemente sull'intera altezza del piedritto, da applicare ad una quota pari ad  $H/2$ .



*Figura 6.3– Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica*

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	21 di 88

## 7. COMBINAZIONE DEI CARICHI

In linea con quanto riportato nel quadro normativo vigente, le azioni descritte nei paragrafi precedenti, sono combinate nel modo seguente:

combinazione fondamentale (SLU):

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

combinazione sismica:

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

combinazione eccezionale:

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

combinazione Rara (SLE irreversibile):

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

combinazione Frequente (SLE reversibile):

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

combinazione Quasi Permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

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

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella tabella seguente.

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	↓	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante  
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc.)  
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Tab. 1 – Valutazione dei carichi da traffico

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali ed i coefficienti di combinazione  $\psi$  delle tabelle seguenti.

 <b>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

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

<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> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.  
<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.  
<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.  
<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

Tab. 2 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, Eccezionali e Sismica

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr2	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr3	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr4	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

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

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tab. 3 – Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	23 di 88

## 8. VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15.

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali e geotecniche condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

### 8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-presso-flessione

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione sono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

### 8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal DM17/01/2018, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento i seguenti valori della resistenza di calcolo:

- Resistenza di progetto dell'elemento privo di armatura a taglio:

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

- Resistenza di progetto a “taglio trazione”:

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

- Resistenza di progetto a “taglio compressione”:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

Nelle espressioni precedenti i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \text{ con } d \text{ in mm};$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02;$$

$A_{sl}$  è l'area dell'armatura tesa;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd};$$

$N_{Ed}$  è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

$A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo;

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

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$  è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave

$A_{sw}$  è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

$s$  è il passo delle staffe;

$\alpha$  è l'angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

$v f_{cd}$  è la resistenza di progetto a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $v=0.5$ );

$\alpha_c = 1$  coefficiente maggiorativo per membrature non compresse.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	25 di 88

### 8.3 Verifica agli stati limite d'esercizio

Si effettuano le seguenti verifiche agli stati limite di esercizio:

- stato limite delle tensioni in esercizio;
- stato limite di fessurazione.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \text{ per combinazione di carico quasi permanente;}$$

$$\sigma_s < 0.80 f_{yk} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara).}$$

Nel secondo caso, si verifica che le aperture delle fessure siano inferiori al valore limite dell'apertura delle fessure nella combinazione caratteristica Frequente e Quasi Permanente. I valori nominali di riferimento sono:

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

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

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

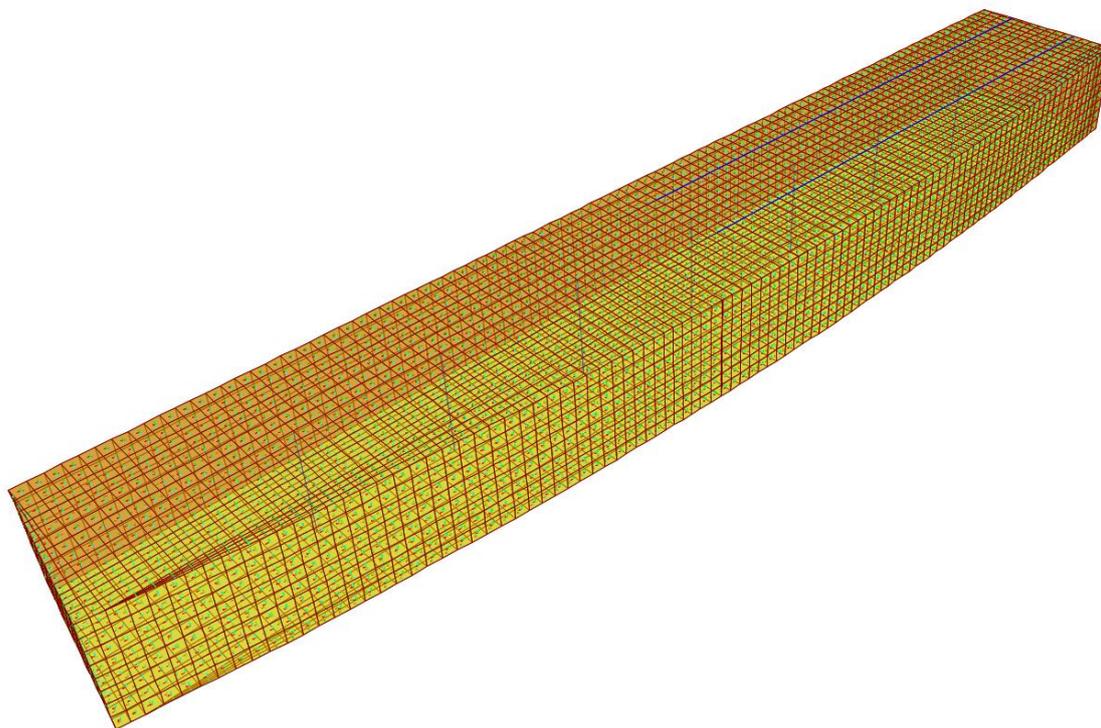
 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	26 di 88

## 9. ANALISI STRUTTURALE

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio del SAP2000, un Codice di calcolo F.E.M. (Finite Element Method) capace di gestire analisi lineari e non lineari ed analisi sismiche con integrazione al passo delle equazioni nel tempo. Dal modello sono state dedotte, per le combinazioni di calcolo statiche e sismiche descritte in precedenza, le sollecitazioni complessive agenti sugli elementi strutturali al fine di procedere con le verifiche di sicurezza previste dalle Normative di riferimento.

### 9.1 Modello FEM

Per il modello di calcolo sono stati utilizzati elementi piastra per tutte le pareti e le solette ed elementi beam per i pilastri interni. Per simulare il comportamento del terreno di fondazione vengono inserite molle alla Winkler.



*Figura 9.1 – Modello FEM – Caratteristiche identificative del modello*

Per la definizione delle precedenti costanti si è fatto riferimento alla caratterizzazione geotecnica a disposizione.

 <b>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

I valori di resistenza del terreno assunti nei calcoli che seguono sono quelli riferiti al primo strato della tabella riportata al paragrafo 5.

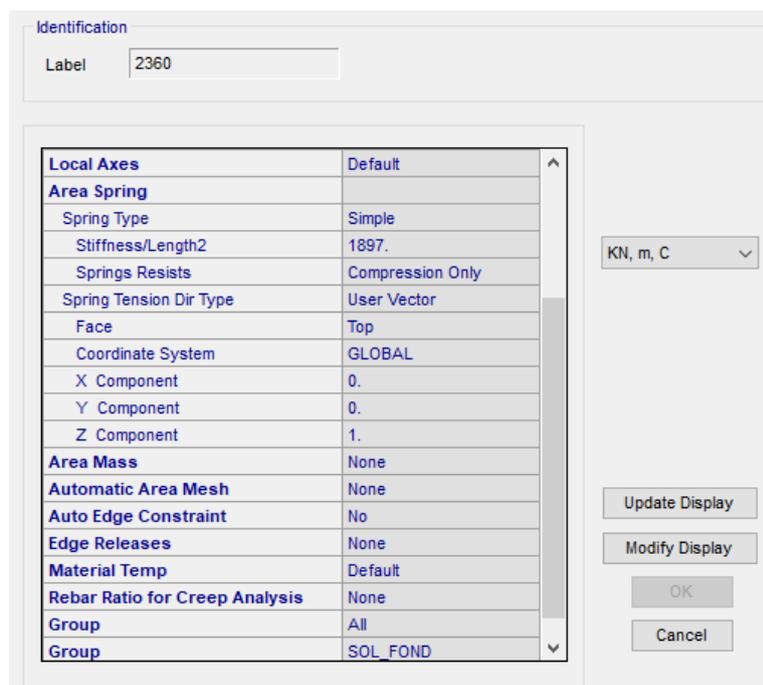
Per la rigidezza delle molle, nell'opera in esame si considera un modulo di reazione verticale  $K_w$  pari a  $1900 \text{ kN/m}^3$ . Tale valore viene valutato tramite la teoria di Bowles, note le dimensioni della fondazione dell'opera e il modulo elastico del terreno di fondazione:

$$k_w = \frac{E}{(1-\nu^2) \cdot B \cdot c_f}$$

Dove:

- E                                      modulo elastico del terreno
- $\nu$                                       coefficiente di Poisson
- B                                        larghezza della fondazione
- L                                        lato maggiore della fondazione
- $C_t$                                       fattore di forma (Bowles, 1960)
- $K_w$                                       coefficiente di sottofondo alla Winkler

Il terreno di fondazione è stato modellato applicando agli elementi finiti della soletta di fondazione delle molle verticali; a queste molle è stata assegnata una costante elastica areale come mostrato in figura.



## 9.2 Analisi dei carichi

### Geometria

Caratteristiche materiali e terreno				
Calcestruzzo armato - Peso specifico	Y		25	kN/m <sup>3</sup>
Calcestruzzo armato - Tipo			C32/40	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R <sub>ck</sub>		40	N/mm <sup>2</sup>
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f <sub>cd</sub>		33.2	N/mm <sup>2</sup>
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E		33600	N/mm <sup>2</sup>
Pavimentazione - Peso specifico	Y		22	kN/m <sup>3</sup>
Massetto - Peso specifico	Y		25	kN/m <sup>3</sup>
Terreno del rilevato - Peso specifico	Y		19	kN/m <sup>3</sup>
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	φ		35	°
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione			aggressive	
<b>Ricoprimento</b>				
Spessore pavimentazione	H <sub>p</sub>		0.11	m
Spessore massetto	H <sub>m</sub>		0.00	m
Spessore del rinterro	H <sub>r</sub>		0.82	m
Spessore del rinterro	H <sub>r</sub>		0.00	m
<b>Geometria</b>				
Spessore soletta superiore	S <sub>s</sub>		0.60	m
Spessore soletta di fondazione	S <sub>f</sub>		0.60	m
Spessore piedritti	S <sub>p</sub>		0.60	m
Spessore pilastro	S <sub>pil</sub>		0.50	m
Altezza netta	H <sub>int</sub>		3.40	m
Larghezza netta	L <sub>int</sub>		6.80	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	L <sub>r</sub>		0.00	m
Lunghezza dell'asse orizzontale della struttura	L <sub>o</sub>	$L_o = S_{p\_sx}/2 + L_{int} + S_{p\_dx}/2$	7.40	m
Lunghezza tot scatolare	L <sub>tot</sub>		44.00	m

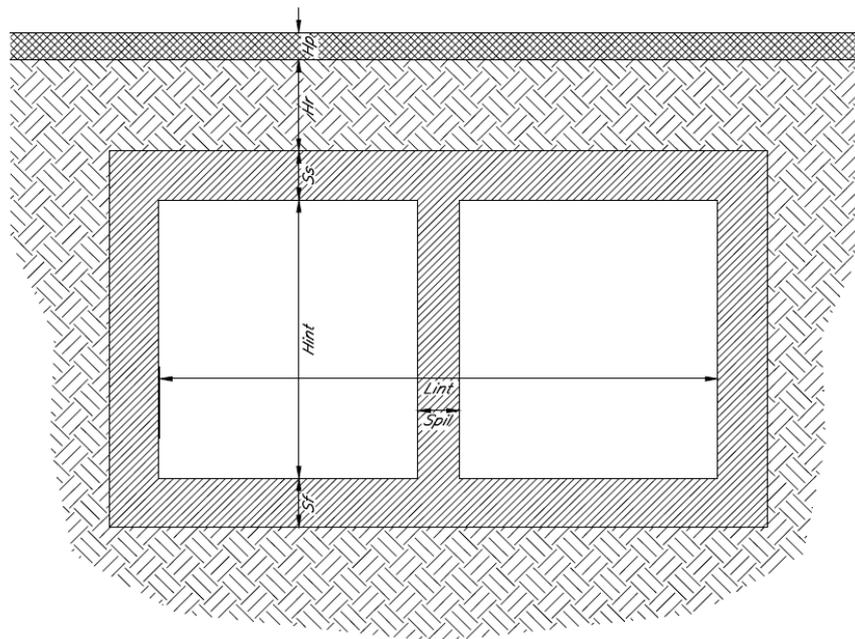


Figura 9.2 – Geometria del modello

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

### Azioni elementari applicate

Carichi permanenti						
Soletta superiore						
Peso pacchetto stradale	Ps	$0.11 \cdot 22 =$			2.42	kN/m <sup>2</sup>
Peso del rinterro	Pr	$0.82 \cdot 19 =$			15.58	kN/m <sup>2</sup>
Impermeabilizzazione					0.00	kN
Velette					0.00	kN
Parapetti/reti					0.00	kN
Sicurvia					0.00	kN/m
<b>Totale</b>					<b>18.00</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

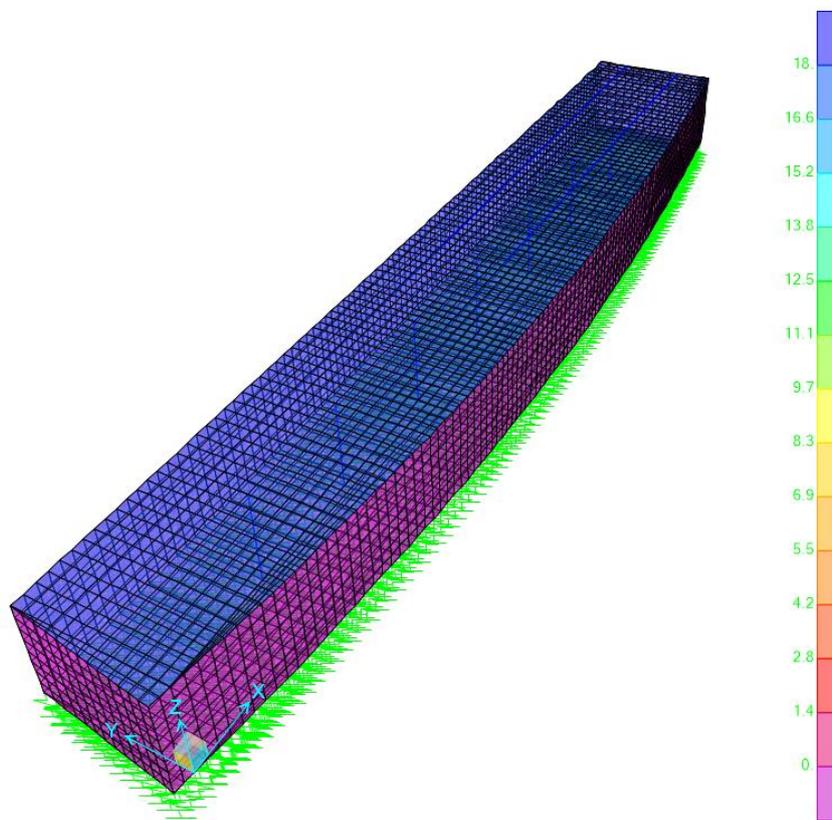


Figura 9.3 – Applicazione del carico

I carichi da traffico sono applicati alla soletta dello scatolare con l’automatismo del programma dei “moving loads”. Si definisce uno specifico frame sul quale sono applicati le linee di carico.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

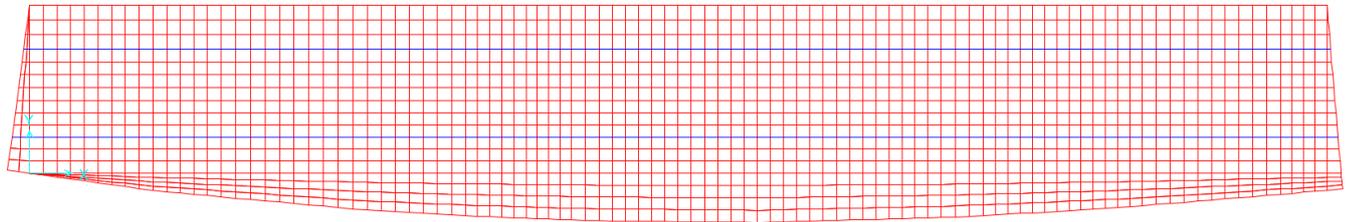


Figura 9.4 – Definizione delle linee sulla soletta superiore

Vehicle name: Eur\_Veh\_Linea1      Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite		27.	300.
Leading Load	Infinite		27.	300.
Fixed Length	1.2		27.	300.
Trailing Load	Infinite		27.	

Figura 9.5 – Definizione Veicolo 1

Vehicle name: Eur\_Veh\_Linea2      Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite		7.5	200.
Leading Load	Infinite		7.5	200.
Fixed Length	1.2		7.5	200.
Trailing Load	Infinite		7.5	

Figura 9.6 – Definizione Veicolo 2

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	31 di 88

Vehicle name: Eur\_Veh\_Linea3

Units: KN, m, C

Load Elevation: [Red bar]

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Trailing Load	Infinite		7.5	
Trailing Load	Infinite		7.5	

Figura 9.7 – Definizione Veicolo 3

<b>Frenamento q3</b>				
q3	q3	$180 < 0.6(2Q_{1k}) + 0.10q_{1k} \cdot w \cdot L < 900 \text{ kN}$		<b>10.88</b> <b>kN/m</b>
<b>Azione centrifuga</b>				
Tipologia asse longitudinale dello scatolare	$T_s$		Curvo	-
Raggio di curvatura	R		170.0	m
Carico totale dello schema di carico 1	$Q_v$	$Q_v = Q_{1k} + Q_{2k}$		1000.0 kN
Forza orizz. livello della pavimentazione	$Q_{4k}$		<b>200.00</b>	<b>kN</b>
Forza orizz. Distribuita	$q_{4k}$		<b>4.5</b>	<b>kN/m</b>
Momento distribuito	$m_{4k}$		<b>5.59</b>	<b>kNm/m</b>
<b>Azione termica</b>				
Variazione termica uniforme	$\Delta T_U$		15	°
Variazione termica a farfalla	$\Delta T_F$		5	°
Variazione termica uniforme di calcolo	$\Delta T_U^*$	$15 / 2 =$	7.5	°
Variazione termica a farfalla di calcolo	$\Delta T_F^*$	$5 / 2 =$	2.50	°
<b>Ritiro</b> (applicato alla soletta superiore)	$\Delta T_R$		<b>-10</b>	°

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

Spinta del terreno						
K0		$1 - \tan(35^\circ) =$				0.426
Angolo di attrito terreno-muro	$\delta$					23.33 °
Inclinazione del piano campagna rispetto all'orizzontale	$\beta$					0.00 °
Inclinazione piedritto rispetto alla verticale	$\alpha$					90.00 °
Coefficiente di spinta attiva	$K_a$					0.24 -
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1	$0.426 \cdot 18.00 =$				7.68 kN/m <sup>2</sup>
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.426 \cdot (18.00 + 19 \cdot 0.60/2) =$				<b>10.11 kN/m<sup>2</sup></b>
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.426 \cdot [18.00 + 19 \cdot (0.60/2 + 3.40 + 0.60/2)] =$				<b>42.51 kN/m<sup>2</sup></b>
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.426 \cdot [18.00 + 19 \cdot (0.60/2 + 3.40 + 0.60)] =$				44.95 kN/m <sup>2</sup>
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(7.68 + 10.11)/2 \cdot 0.60/2$				<b>2.67 kN/m</b>
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(42.51 + 44.95)/2 \cdot 0.60/2$				<b>13.12 kN/m</b>

Data la forma trapezoidale del carico di spinta del terreno, si suddivide quest'ultimo come somma di due carichi:

- Una pressione costante applicata a tutte le pareti a contatto con il terreno pari a 10.11 kN/m<sup>2</sup>;
- Una pressione triangolare applicata a tutte le pareti a contatto con il terreno che va da 0 kN/m<sup>2</sup> in testa fino a 32.4 kN/m<sup>2</sup> alla base.

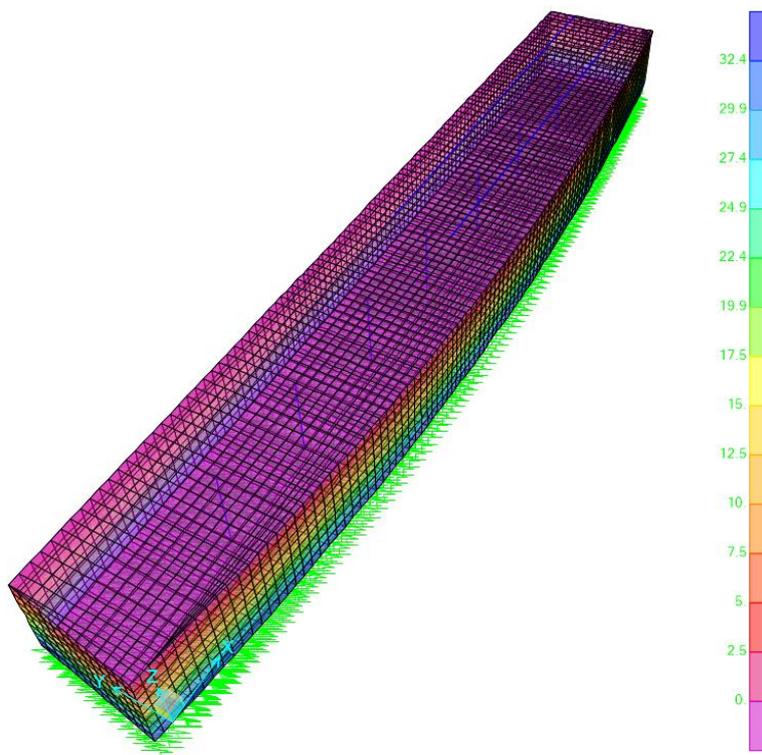


Figura 9.8 – Applicazione carico spinta terreno

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	33 di 88

<b>Sisma orizzontale</b>				
Stato limite ultimo	$S_I$	Salvaguardia della vita - SLV	SLV	-
Vita nominale	$V_N$		50.00	anni
Classe d'uso	$C_{Iu}$		III	-
Coefficiente $C_U$	$C_U$		1.50	-
Periodo di riferimento	$V_R$	$V_R = C_U * V_N$	75.00	anni
Accelerazione orizzontale su suolo rigido	$a_g/g$		0.123	-
Fattore di amplificazione spettrale	$F_o$		2.44	-
Categoria di sottosuolo	$C_s$		B	-
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_s$		1.200	-
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_t$		1.00	-
Coefficiente dipendente dalle caratteristiche del terreno	$S$	$S = S_s * S_t$	1.200	-
Accelerazione orizzontale massima	$a_{max\_H}/g$	$a_{max}/g = a_g/g * S$	0.148	-
Struttura libera di subire spostamenti	$S_s$		SI	-
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	$\beta_m$		0.240	-
Coefficiente di riduzione effettivo	$\beta_{m\_eff}$		0.240	-
Coefficiente sismico orizzontale	$k_h$	$k_h = \beta_{m\_eff} * a_{max}/g$	0.035	-
Coefficiente sismico verticale	$k_v$	$K_v = \pm 0.5 * k_h$	0.018	-
Fattore di struttura	$q$		1.00	-
Coefficiente di massa partecipante per i carichi da traffico	$C_q$		0.20	-
Carico permanente sulla soletta superiore	$Q_{perm\_ss}$	$Q_{perm\_ss} = P_{s\_sup}$	18.00	kN/m <sup>2</sup>
Carico permanente sulla soletta inferiore	$Q_{perm\_si}$	$Q_{perm\_si} = \gamma_{cis} * S_f$	15.00	kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di massa partecipante per i carichi da traffico	$C_q$		0.20	-
Carico accidentale concentrato sulla soletta superiore	$Q_{vs}$	$Q_{vs} = C_q * Q_{vk\_dif}$	7.70	kN/m <sup>2</sup>
Accelerazione orizzontale sulla struttura	$a_{max\_STR\_H}/g$		0.123	-
Forza orizzontale sulla soletta superiore	$F_{Hss}$	$F_{Hss} = a_{max\_STR\_H}/g * Q_{perm\_ss}/q$	2.21	kN/m <sup>2</sup>
Forza orizzontale sulla soletta superiore	$F_{Hss\_f\_acc}$	$F_{Hss\_f\_acc} = a_{max\_STR\_H}/g * Q_{vs}/q$	0.95	kN/m <sup>2</sup>
Forza orizzontale sulla soletta di fondazione	$F_{hsi}$	$F_{hsi} = a_{max\_STR\_H}/g * Q_{perm\_si}$	2.21	kN/m <sup>2</sup>

**Spinta del terreno in fase sismica**

Risultante della spinta sismica	$\Delta S_E$	$= (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot [(Hint+Ss+Sf+Hr)^2]$	82.4	kN/m
Pressione risultante	$\Delta p_E$	$= \Delta S_E / [(Hint+Ss/2+Sf/2)]$	17.1	kN/m <sup>2</sup>

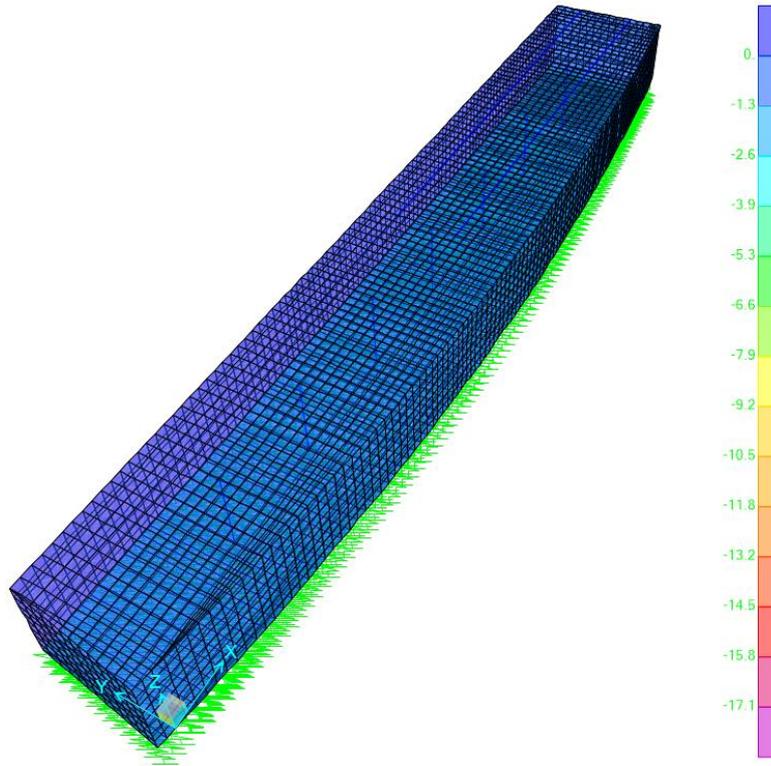


Figura 9.9 – Applicazione carico spinta in condizione sismiche

### 9.3 Combinazioni

	PERM	PERM-G2	Q1M	Q1T	Q2M	Q2T	Q3M	Q3T	SPT	RITIRO	TERM	SISMAH_X_SLV	SISMAH_Y_SLV	SPSDX
ULS-STR-001	1.35	1.50	-	-	-	-	-	-	1.35	-	-	-	-	-
ULS-STR-002	1.35	1.50	-	-	-	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-003	1.35	1.50	-	-	-	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-004	1.35	1.50	-	-	-	-	-	-	1.35	1.50	1.50	-	-	-
ULS-STR-005	1.35	1.50	-	-	-	-	-	-	1.35	1.50	1.50	-	-	-
ULS-STR-006	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-007	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-008	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	1.50	1.50	-	-	-
ULS-STR-009	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	1.50	1.50	-	-	-
ULS-STR-010	1.35	1.50	1.35	-	-	-	-	-	1.35	-	-	-	-	-
ULS-STR-011	1.35	1.50	-	1.35	-	-	-	-	1.35	-	-	-	-	-
ULS-STR-012	1.35	1.50	1.01	-	1.35	-	-	-	1.35	-	-	-	-	-
ULS-STR-013	1.35	1.50	-	1.01	-	1.35	-	-	1.35	-	-	-	-	-
ULS-STR-014	1.35	1.50	1.01	-	-	-	1.35	-	1.35	-	-	-	-	-
ULS-STR-015	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	1.35	1.35	-	-	-	-	-
ULS-STR-016	1.35	1.50	1.35	-	-	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-017	1.35	1.50	-	1.35	-	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-018	1.35	1.50	1.01	-	1.35	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-019	1.35	1.50	-	1.01	-	1.35	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-020	1.35	1.50	1.01	-	-	-	1.35	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-021	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	1.35	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-022	1.35	1.50	1.35	-	-	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-023	1.35	1.50	-	1.35	-	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-024	1.35	1.50	1.01	-	1.35	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-025	1.35	1.50	-	1.01	-	1.35	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-026	1.35	1.50	1.01	-	-	-	1.35	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-027	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	1.35	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-028	1.35	1.50	1.01	-	-	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-029	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-030	1.35	1.50	1.01	-	1.35	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-031	1.35	1.50	-	1.01	-	1.35	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-032	1.35	1.50	1.01	-	-	-	1.35	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-033	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	1.35	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-034	1.35	1.50	1.01	-	-	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-035	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-036	1.35	1.50	1.01	-	1.35	-	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-037	1.35	1.50	-	1.01	-	1.35	-	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-038	1.35	1.50	1.01	-	-	-	1.35	-	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-039	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	1.35	1.35	0.90	0.90	-	-	-
ULS-STR-040	1.35	1.50	1.01	-	-	-	-	-	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-041	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	-	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-042	1.35	1.50	1.01	-	1.35	-	-	-	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-043	1.35	1.50	-	1.01	-	1.35	-	-	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-044	1.35	1.50	1.01	-	-	-	1.35	-	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-045	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	1.35	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-046	1.35	1.50	1.01	-	-	-	-	-	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-047	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	-	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-048	1.35	1.50	1.01	-	1.35	-	-	-	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-049	1.35	1.50	-	1.01	-	1.35	-	-	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-050	1.35	1.50	1.01	-	-	-	1.35	-	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-051	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	1.35	1.35	1.20	0.90	-	-	-
ULS-STR-052	1.35	1.50	1.01	-	-	-	-	-	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-053	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	-	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-054	1.35	1.50	1.01	-	1.35	-	-	-	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-055	1.35	1.50	-	1.01	-	1.35	-	-	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-056	1.35	1.50	1.01	-	-	-	1.35	-	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-057	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	1.35	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-058	1.35	1.50	1.01	-	-	-	-	-	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-059	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	-	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-060	1.35	1.50	1.01	-	1.35	-	-	-	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-061	1.35	1.50	-	1.01	-	1.35	-	-	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-062	1.35	1.50	1.01	-	-	-	1.35	-	1.35	0.90	1.50	-	-	-
ULS-STR-063	1.35	1.50	-	1.01	-	-	-	1.35	1.35	0.90	1.50	-	-	-

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	36 di 88

SISM-STR-064	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	1.00	0.30	1.00
SISM-STR-065	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	1.00	0.30	1.00
SISM-STR-066	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	0.30	0.30	1.00
SISM-STR-067	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	0.30	0.30	1.00
SISM-STR-068	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	1.00	0.30	1.00
SISM-STR-069	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	1.00	0.30	1.00
SISM-STR-070	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	0.30	0.30	1.00
SISM-STR-071	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	0.30	0.30	1.00
SISM-STR-072	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	0.30	1.00	1.00
SISM-STR-073	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	0.30	1.00	1.00
SISM-STR-074	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	0.30	1.00	1.00
SISM-STR-075	1.00	1.00	0.20	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	0.30	1.00	1.00
SLS_C-STR-001	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_C-STR-002	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-003	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-004	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-	-	-
SLS_C-STR-005	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-	-	-
SLS_C-STR-006	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-007	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-008	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-	-	-
SLS_C-STR-009	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-	-	-
SLS_C-STR-010	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_C-STR-011	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_C-STR-012	1.00	1.00	0.75	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_C-STR-013	1.00	1.00	-	0.75	-	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_C-STR-014	1.00	1.00	0.75	-	-	-	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_C-STR-015	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-
SLS_C-STR-016	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-017	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-018	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-019	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-020	1.00	1.00	0.75	-	1.00	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-021	1.00	1.00	-	0.75	-	1.00	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-022	1.00	1.00	0.75	-	-	-	1.00	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-023	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	1.00	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-024	1.00	1.00	0.75	-	1.00	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-025	1.00	1.00	-	0.75	-	1.00	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-026	1.00	1.00	0.75	-	-	-	1.00	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-027	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	1.00	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-028	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-029	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-030	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-031	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-032	1.00	1.00	0.75	-	1.00	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-033	1.00	1.00	-	0.75	-	1.00	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-034	1.00	1.00	0.75	-	-	-	1.00	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-035	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	1.00	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-036	1.00	1.00	0.75	-	1.00	-	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-037	1.00	1.00	-	0.75	-	1.00	-	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-038	1.00	1.00	0.75	-	-	-	1.00	-	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-039	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	1.00	1.00	0.60	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-040	1.00	1.00	0.75	-	-	-	-	-	1.00	1.00	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-041	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	-	1.00	1.00	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-042	1.00	1.00	0.75	-	-	-	-	-	1.00	1.00	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-043	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	-	1.00	1.00	0.60	-	-	-
SLS_C-STR-044	1.00	1.00	0.75	-	-	-	-	-	1.00	0.60	1.00	-	-	-
SLS_C-STR-045	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	-	1.00	0.60	1.00	-	-	-
SLS_C-STR-046	1.00	1.00	0.75	-	-	-	-	-	1.00	0.60	1.00	-	-	-
SLS_C-STR-047	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	-	1.00	0.60	1.00	-	-	-

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	37 di 88

SLS_F-STR-001	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_F-STR-002	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_F-STR-003	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	0.60	-	-	-
SLS_F-STR-004	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	0.60	-	-	-
SLS_F-STR-005	1.00	1.00	0.75	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_F-STR-006	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_F-STR-007	1.00	1.00	0.75	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	-	-	-
SLS_F-STR-008	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	-	1.00	-	0.50	-	-	-
SLS_F-STR-009	1.00	1.00	0.75	-	-	-	-	-	1.00	1.00	0.50	-	-	-
SLS_F-STR-010	1.00	1.00	-	0.75	-	-	-	-	1.00	1.00	0.50	-	-	-
SLS_F-STR-011	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	-	-	-
SLS_F-STR-012	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	-	-	-
SLS_Q-STR-001	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-
SLS_Q-STR-002	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	0.50	-	-	-
SLS_Q-STR-003	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	0.50	-	-	-

dove:

**PERM** : carichi permanenti strutturali

**PERM-G2** : carichi permanenti non strutturali

**Q1-M** : carichi da traffico concentrato (disposizione per massimizzare il momento)

**Q1-T** : carichi da traffico concentrato (disposizione per massimizzare il taglio)

**Q2M** : carichi longitudinale di frenatura (disposizione sulla corsia 1 del carico Q1-M)

**Q2T** : carichi longitudinale di frenatura (disposizione sulla corsia 1 del carico Q1-T)

**Q3** : azione centrifuga

**SPT** : spinta del terreno sulla parete

**TERM** : termica

**RITIRO** : ritiro

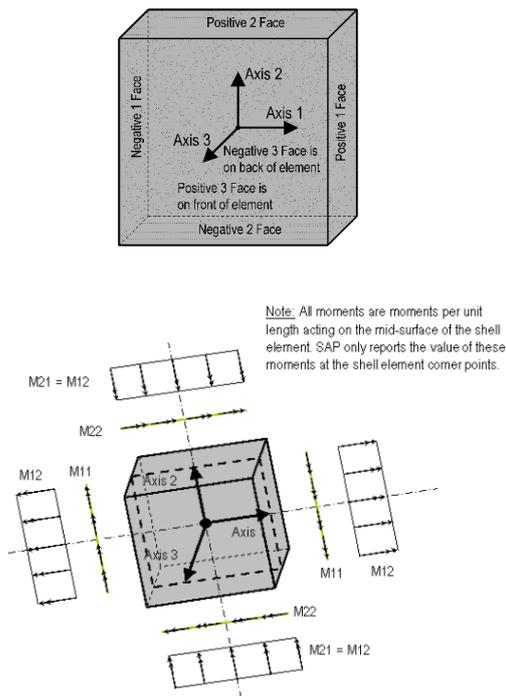
**SISMAH\_X\_SLV** : azione sismica in direzione x

**SISMAH\_Y\_SLV** : azione sismica in direzione y

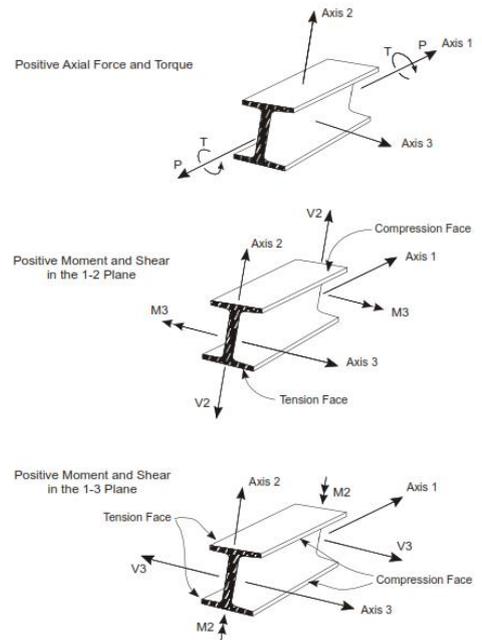
**SISDX** : incremento sismico della spinta del terreno

### 9.4 Sollecitazioni

Si considera un sistema di riferimento cartesiano ortogonale avente il piano XY orizzontale, con l'asse X longitudinale e l'asse Y trasversale; l'asse Z, verticale e diretto verso l'alto, chiude la terna levogira.



CONVENZIONI ELEMENTI SHELL



CONVENZIONI ELEMENTI SHELL

Si riportano delle immagini rappresentative dell'andamento delle sollecitazioni nel modello.

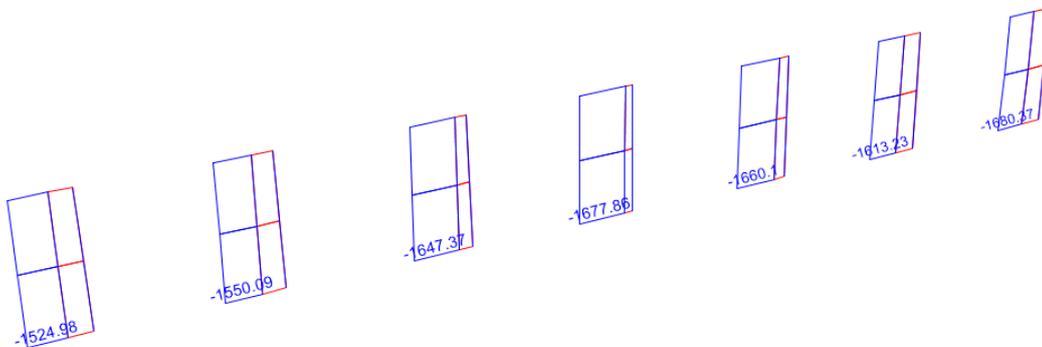


Figura 9.10 - Pilastrini involuppo SLU- Sforzo Normale  $N_{min} = -1524.98$  kN

Relazione di calcolo vasca

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	39 di 88

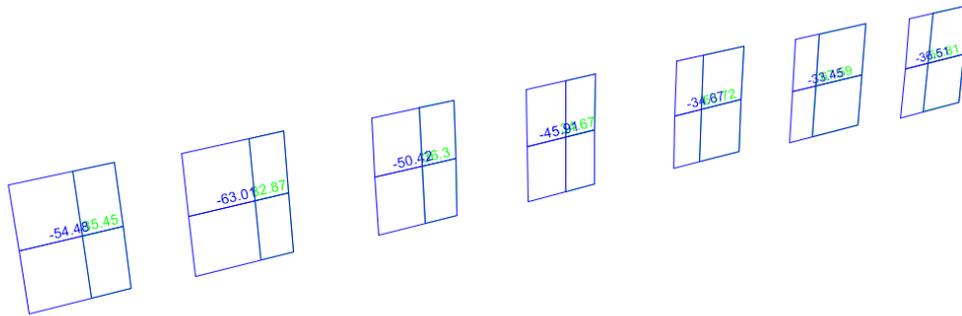


Figura 9.11 - Pilastrini involucro SLU- Taglio  $V_{2_{max}} = -63 \text{ kN}$

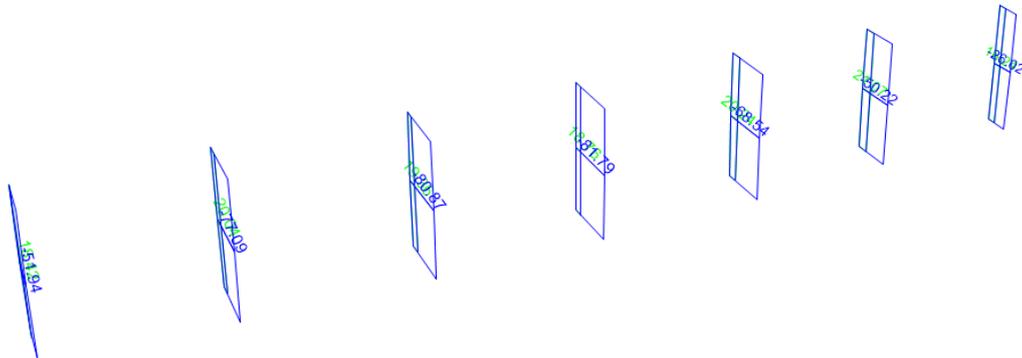


Figura 9.12 - Pilastrini involucro SLU- Taglio  $V_{3_{max}} = -81.79 \text{ kN}$

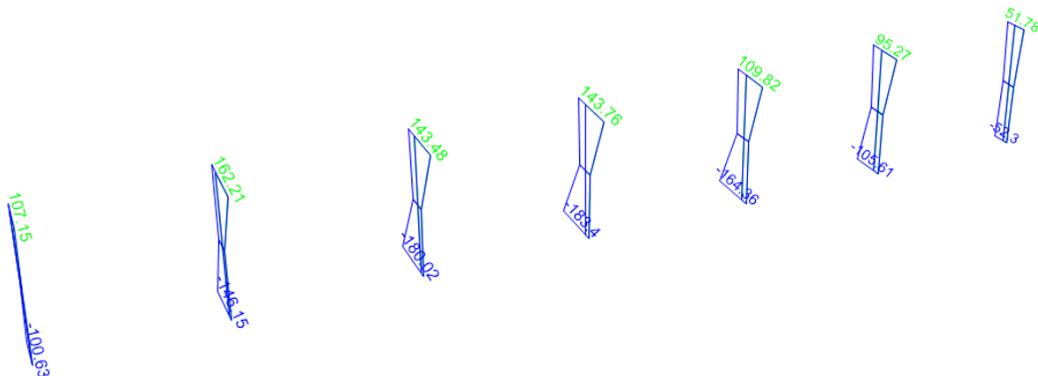


Figura 9.13 - Pilastrini involucro SLU- Momento flettente  $M_{2_{max}} = -183.4 \text{ KNm}$

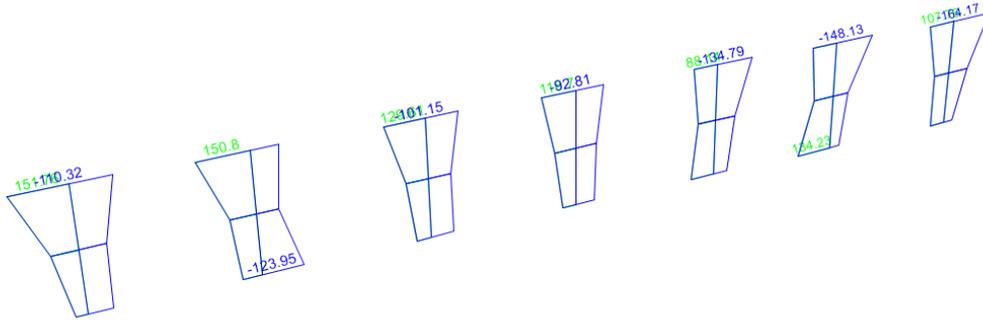


Figura 9.14 - Pilastri inviluppo SLU- Momento flettente  $M_{3_{max}} = -164 \text{ kNm}$

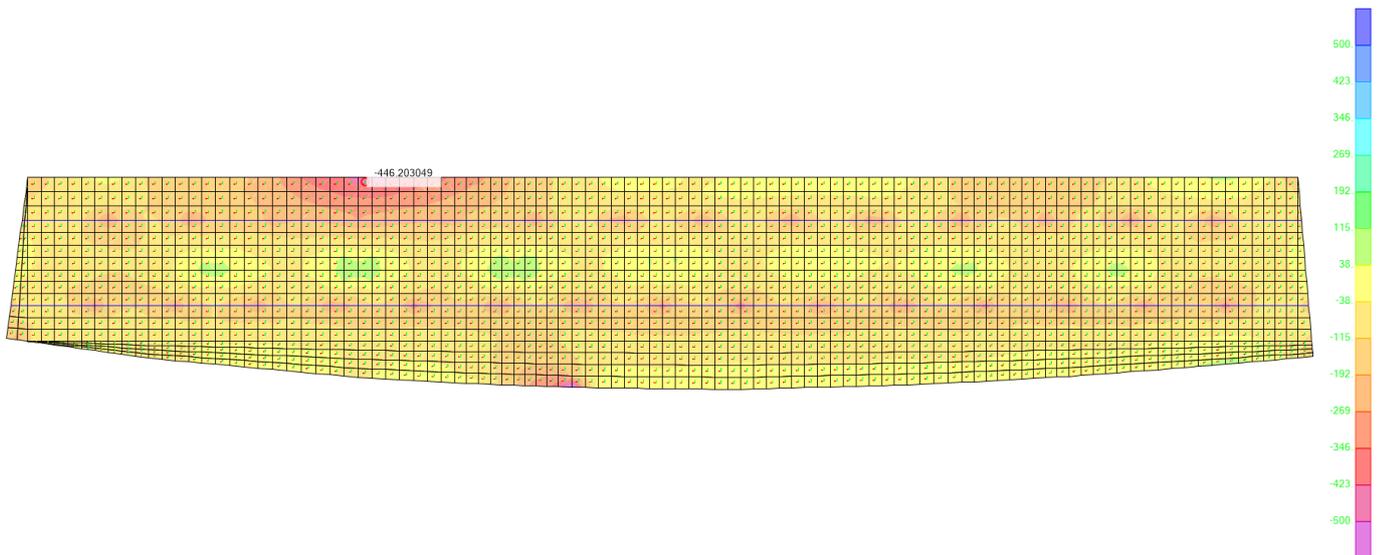


Figura 9.15 – Soletta superiore – Inviluppo SLU Momento  $M_{22_{min}} = -446.20 \text{ kNm/m}$   
(tese le fibre superiori)

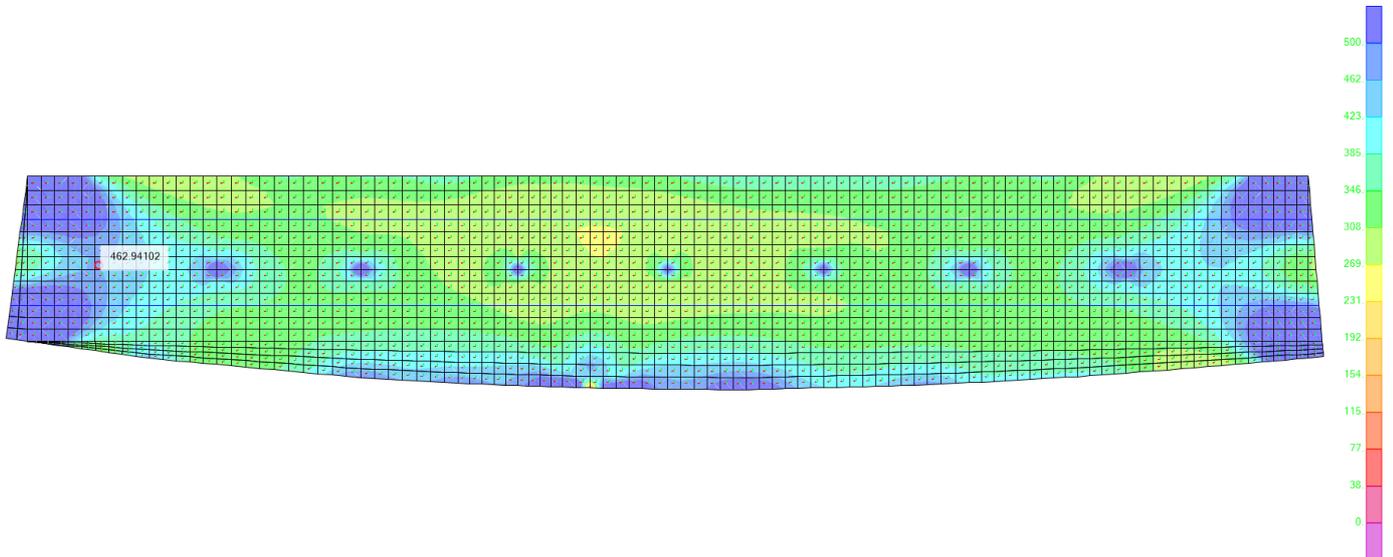


Figura 9.16 – Soletta superiore – Inviluppo SLU Momento  $M22_{max} = 462.94 \text{ kNm/m}$   
(tese le fibre inferiori)

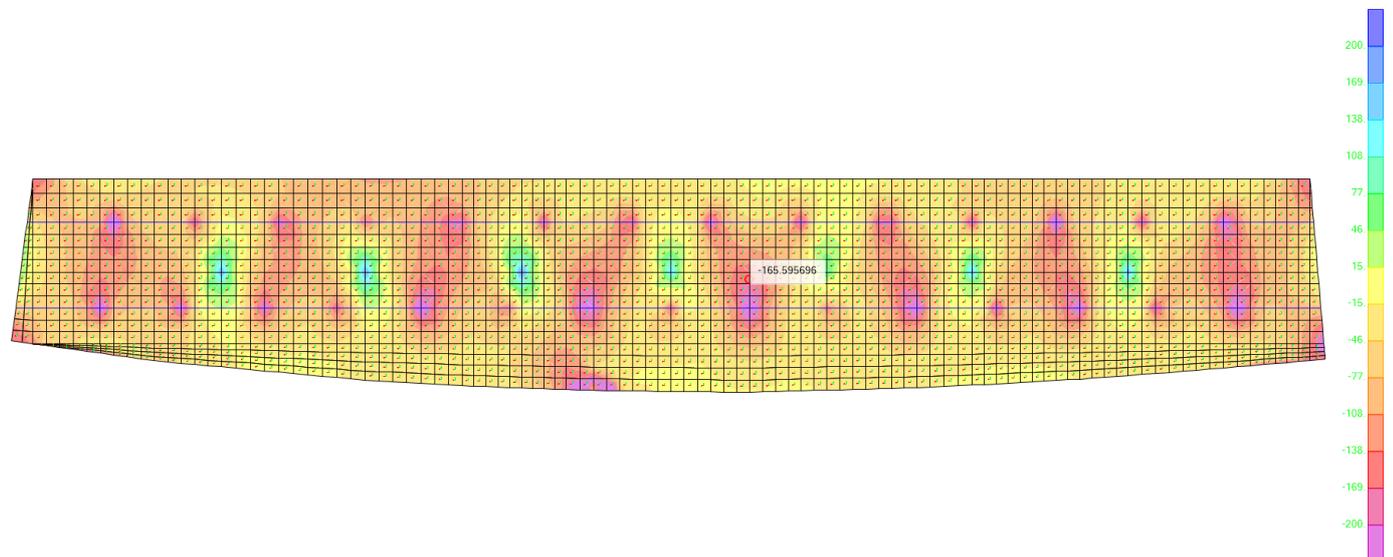


Figura 9.17 – Soletta superiore – Inviluppo SLU Momento  $M11_{min} = -165.60 \text{ kNm/m}$   
(tese le fibre superiori)

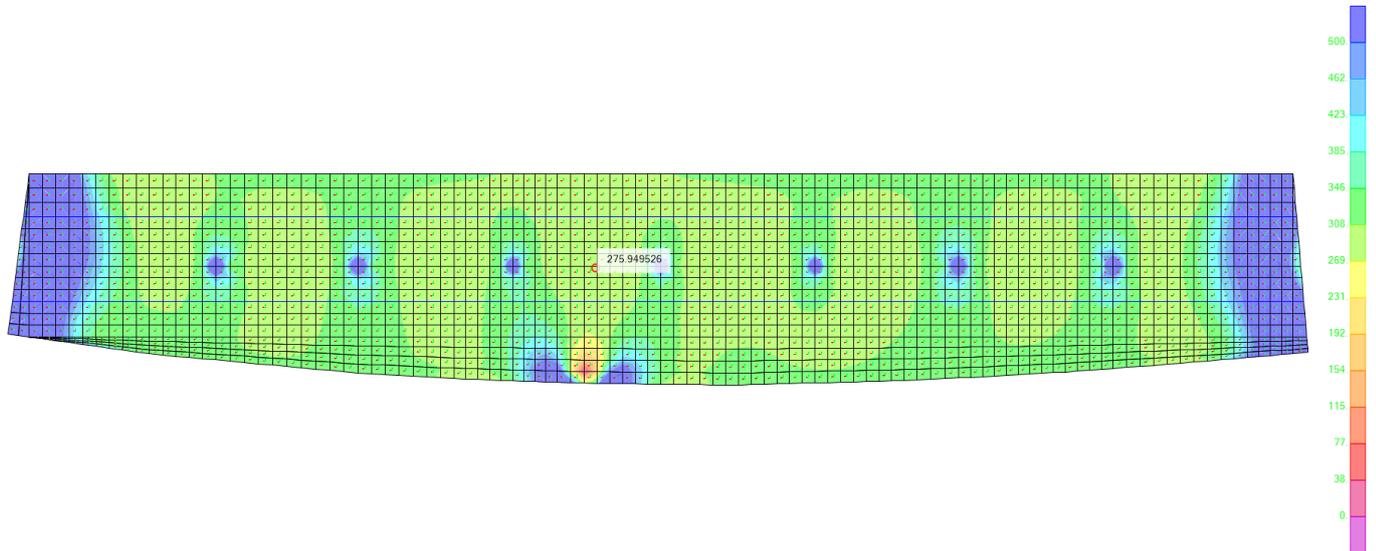


Figura 9.18 – Soletta superiore – Involuppo SLU Momento  $M11_{max} = 275.94 \text{ kNm/m}$   
(tese le fibre inferiori)

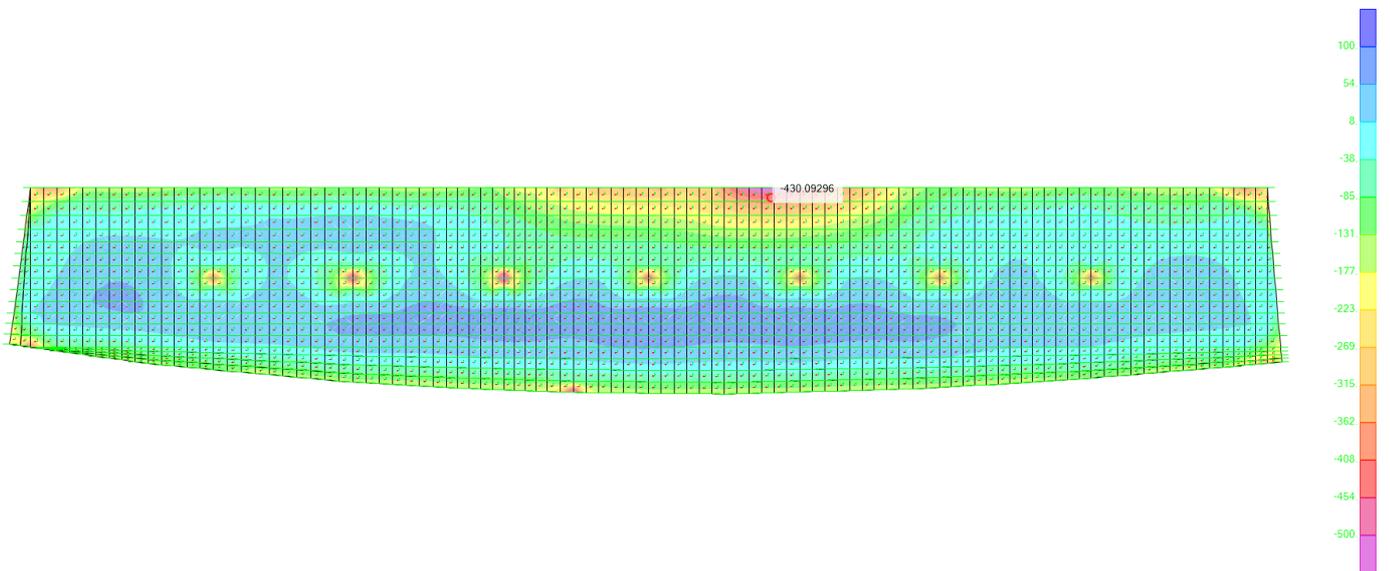


Figura 9.19 – Soletta di fondazione – Involuppo SLU Momento  $M22_{min} = -430.09 \text{ kNm/m}$   
(tese le fibre inferiori)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

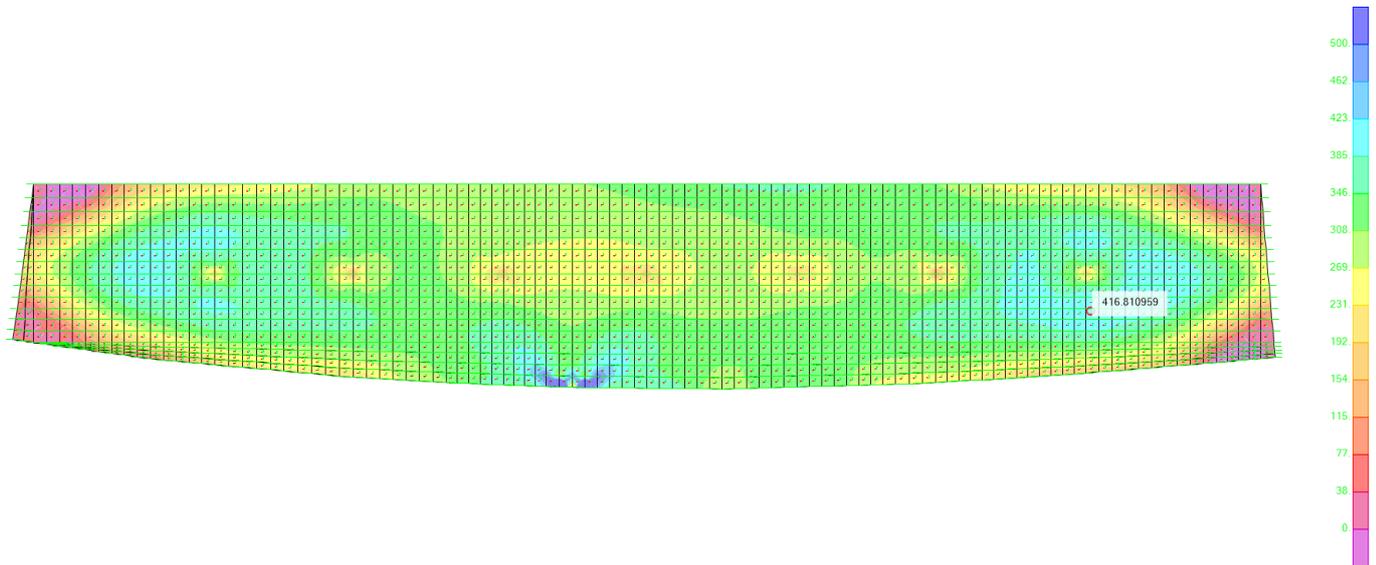


Figura 9.20 – Soletta di fondazione – Involuppo SLU Momento  $M22_{max} = 416.8 \text{ kNm/m}$   
 (tese le fibre superiori)

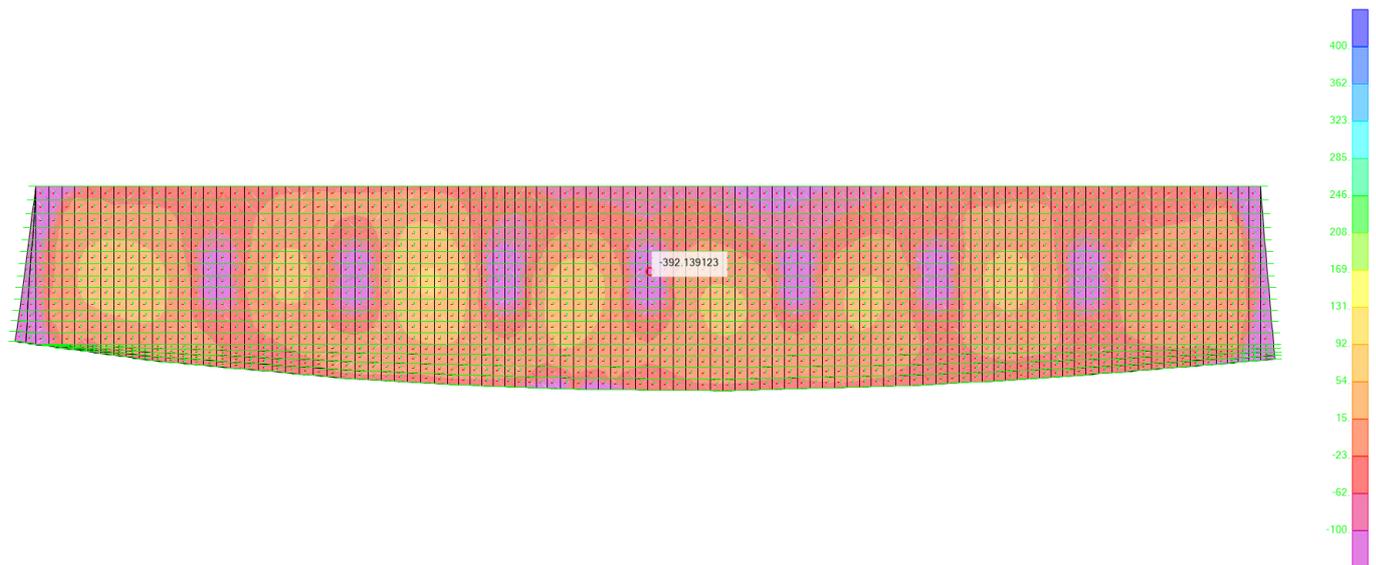


Figura 9.21 – Soletta di fondazione – Involuppo SLU Momento  $M11_{min} = -392.14 \text{ kNm/m}$   
 (tese le fibre inferiori)

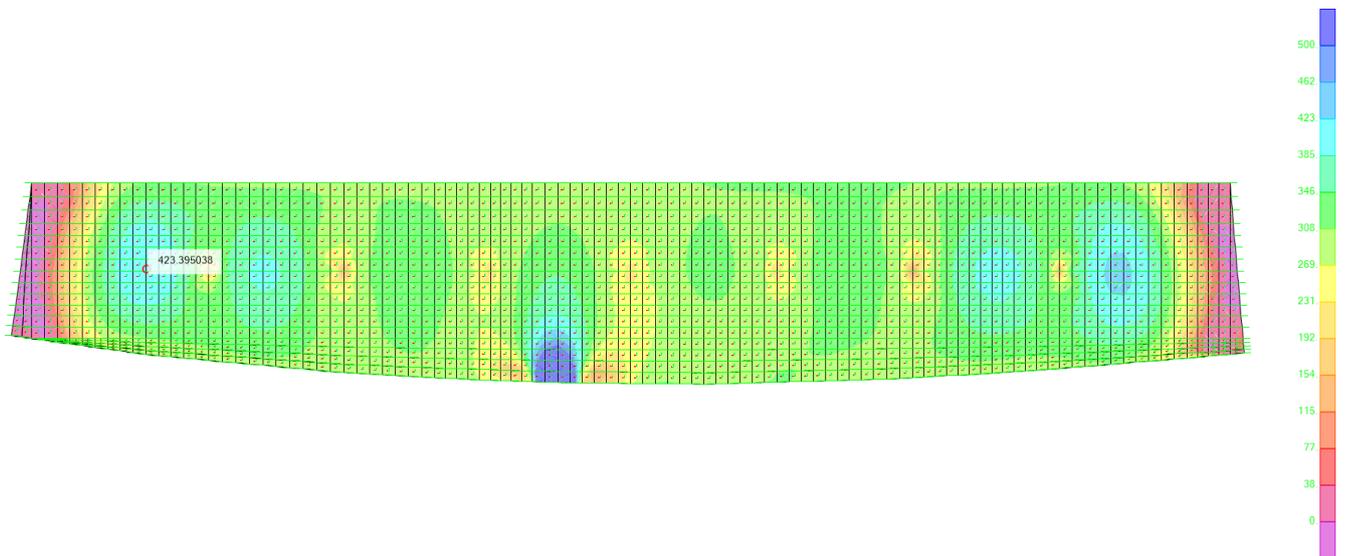


Figura 9.22 – Soletta di fondazione – Inviluppo SLU Momento  $M11_{max} = 423.39 \text{ kNm/m}$   
(tese le fibre superiori)

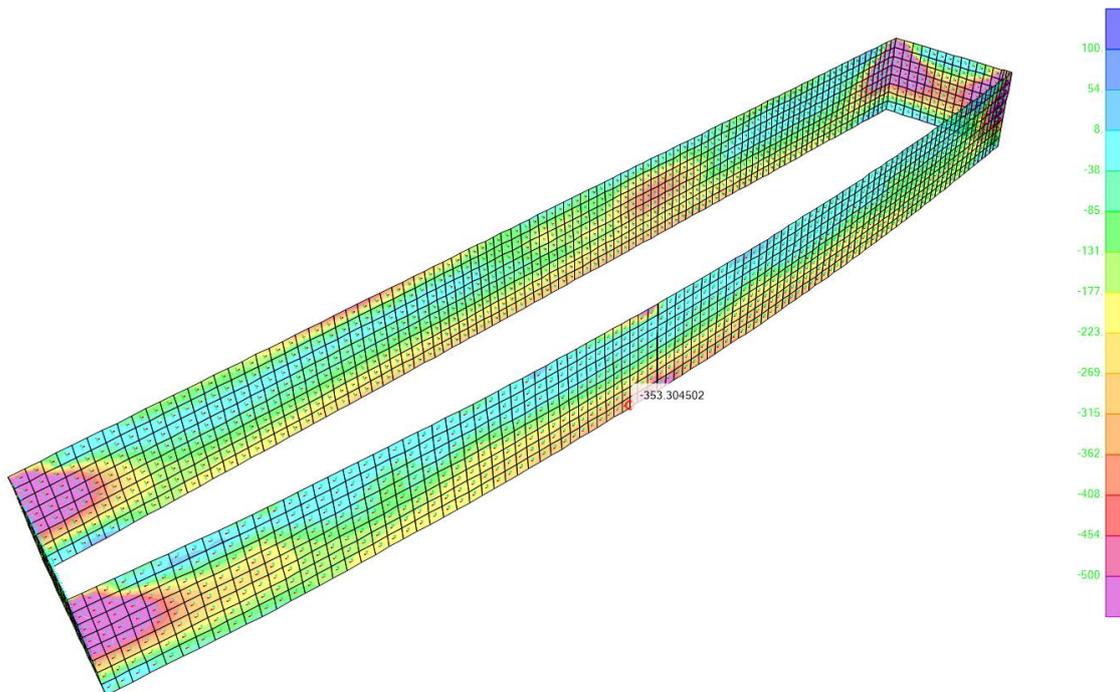


Figura 9.23 – Pareti – Inviluppo SLU Momento  $M22_{min} = -353.30 \text{ kNm/m}$   
(tese le fibre esterne verticali)

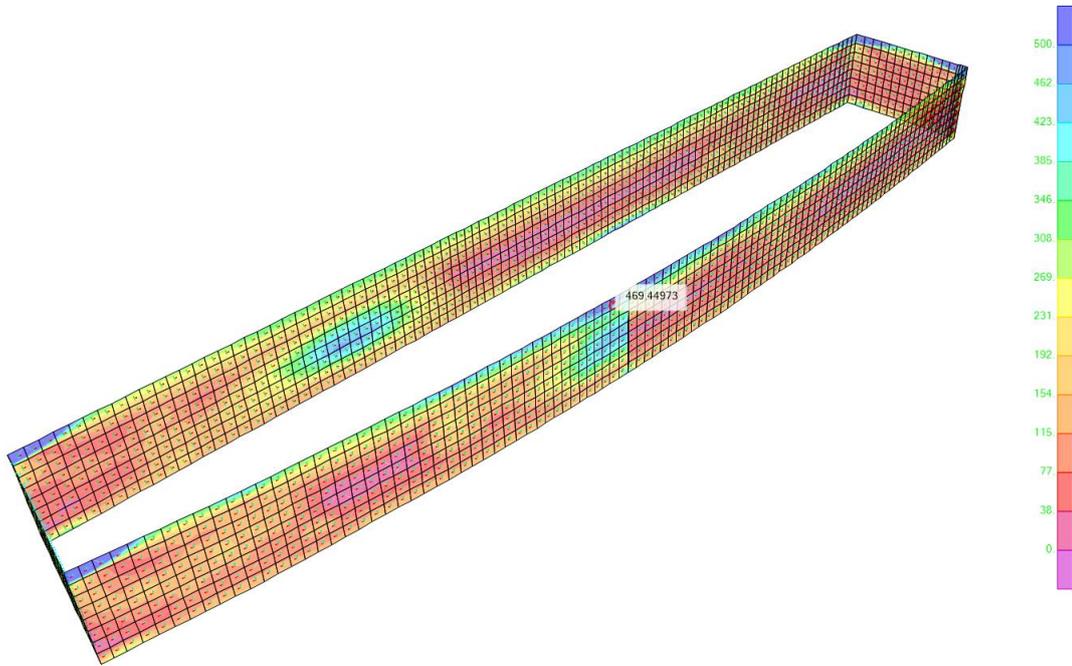


Figura 9.24 – Pareti – Inviluppo SLU Momento  $M_{22_{max}} = 469.45 \text{ kNm/m}$   
(tese le fibre interne verticali)

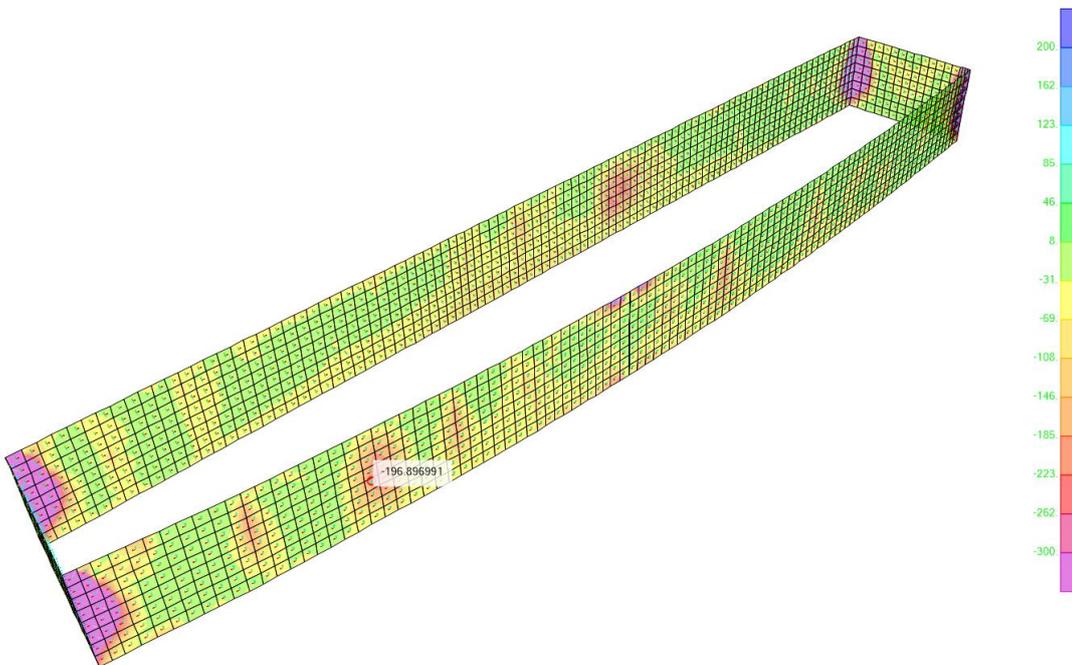


Figura 9.25 – Pareti – Inviluppo SLU Momento  $M_{11_{min}} = -196.90 \text{ kNm/m}$   
(tese le fibre interne orizzontali)

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

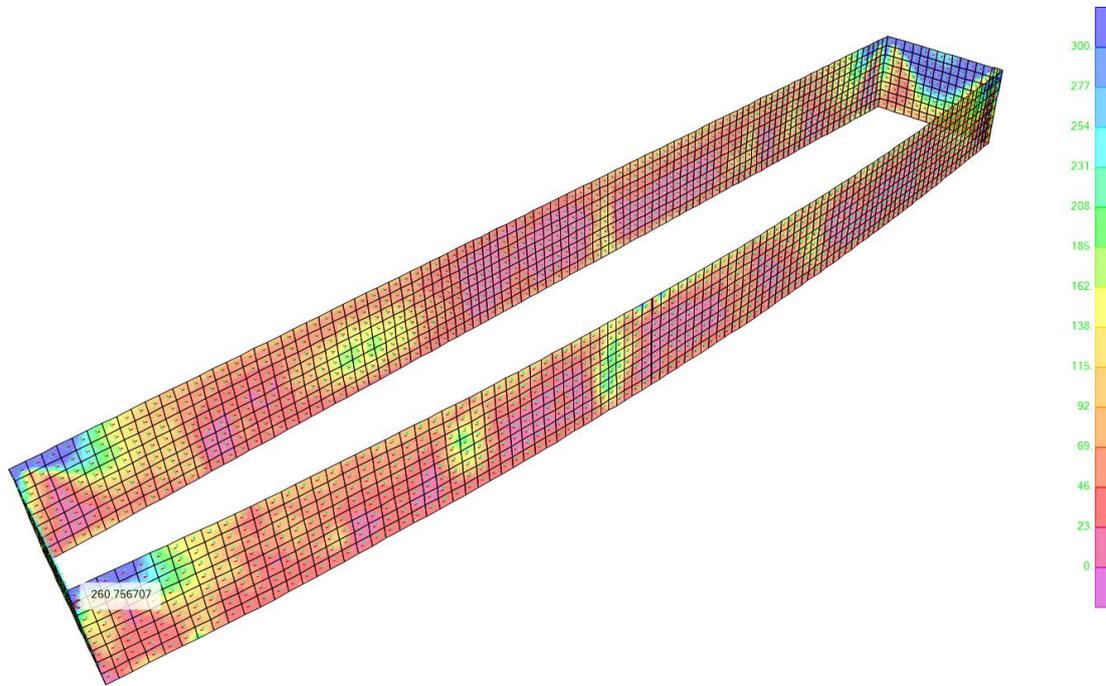


Figura 9.26 – Pareti – Involuppo SLU Momento  $M11_{min} = 260.76 \text{ kNm/m}$   
 (tese le fibre interne orizzontali)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

## 10. VERIFICHE STRUTTURALI

### 10.1 Verifica pareti

#### 10.1.1 Verifica armatura verticale - M22

**Sezione: 60 x 100 cm**

Armatura a flessione:

- Sommità (Pied-Sommità)

Armatura tesa

φ 28/20 cm

Armatura compressa

φ 28/20 cm

- Spiccato (Pied-Spice)

Armatura tesa

φ 22/20 cm

Armatura compressa

φ 22/20 cm

Armatura a taglio:

Spille φ 12/20x40 cm.





 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se  $V_{Ed} < VR_{d1}$  la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se  $V_{Ed} < VR_{d2}$  la verifica è soddisfatta.

#### Calcestruzzo

Tipo	C32/40	
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$\alpha_{cc}$	0.85	
$f_{cd}$	18.8	N/mm <sup>2</sup>

#### Acciaio

$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>

#### Sollecitazioni

$V_{Ed}$	kN	<b>290</b>	<b>560</b>
$N_{Ed}$	kN	<b>0</b>	<b>0</b>

#### Piedritto somm Piedritto spicc

#### Armatura a taglio

Diametro	mm	12	12
Numero barre		2.5	2.5
$A_{sw}$	cm <sup>2</sup>	2.83	2.83
Passo s	cm	20	20
Angolo $\alpha$	°	90	90

#### Armatura longitudinale

$n_1$		5	5
$\varnothing_1$	mm	28	22
$n_2$			
$\varnothing_2$	mm		
Asl	cm <sup>2</sup>	30.79	19.01

#### Sezione

$b_w$	cm	100	100
H	cm	60	60
c	cm	7.6	7.3
d	cm	52.4	52.7
k	N/mm <sup>2</sup>	1.62	1.62
$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>	0.41	0.41
$\rho$		0.0059	0.0036
$\sigma_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>	0.00	0.00
$\alpha_c$		1.00	1.00

#### Resistenza senza armatura a taglio

$V_{Rd}$	kN	<b>274</b>	<b>234</b>
----------	----	------------	------------

#### Resistenza con armatura a taglio

Inclinazione puntone $\theta$	°	<b>21.8</b>	<b>21.8</b>
$V_{RSd}$	kN	652	656
$V_{RCd}$	kN	1530	1538
$V_{Rd}$	kN	<b>652</b>	<b>656</b>

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	51 di 88

• Verifica a fessurazione spiccato (Pied-Spicc)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>237.57</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>147.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>124.07</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>147.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tammm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{sammm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	19.01	cm <sup>2</sup>	5 Ø 22	$c_{s1} = 7.3$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$c_{s2} = 8.4$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	19.01	cm <sup>2</sup>	5 Ø 22	$c_{t1} = 7.3$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$c_{t2} = 8.4$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	161.61	cm	> H/6	Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	131.61	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	15.46	cm		
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6532.19	cm <sup>2</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2093817.88	cm <sup>4</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id+}$	537517.80	cm <sup>4</sup>		

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>6.22</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>224.69</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{sammm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	84.40	cm	> H/6	Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	54.40	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	17.33	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6532.19	cm <sup>2</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2093817.88	cm <sup>4</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id+}$	558832.28	cm <sup>4</sup>		

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tammm}$ )	$M_{fess}$	217.08	kNm	La sezione è fessurata
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e$ ( $M_{fess}$ )	147.67	cm	
Distanza sforzo N dal bordo sezione per $M=M_{fess}$	$u$ ( $M_{fess}$ )	117.67	cm	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y$ ( $M_{fess}$ )	15.64	cm	
Compressione massima nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cf}$	5.69	N/mm <sup>2</sup>	
Trazione nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sf}$	202.14	N/mm <sup>2</sup>	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.40</b>	-	
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	14.79	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.09	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	19.01	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	1478.66	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0129	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.0004	-	
Copriferro netto	$c'$	5.00	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr edi armatura	$\phi_{eq}$	22.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	460.96	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	271.15	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.11	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.19</b>	mm	

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	52 di 88

• Verifica a fessurazione sommità (Pied-Sommità)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>312.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>147.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>213.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>147.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{dk}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tammm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm	
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	30.79	cm <sup>2</sup>	5 Ø 28 $C_{s1} = 7.6$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $C_{s2} = 9.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	30.79	cm <sup>2</sup>	5 Ø 28 $C_{t1} = 7.6$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $C_{t2} = 9.0$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	212.24	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	182.24	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	17.56	cm	
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6862.05	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2263439.71	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	786894.95	cm <sup>4</sup>	

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>6.56</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>195.05</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	144.90	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	114.90	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	18.31	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6862.05	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2263439.71	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	794264.32	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tammm}$ )	$M_{fess}$	233.85	kNm	La sezione è fessurata
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e$ ( $M_{fess}$ )	159.08	cm	
Distanza sforzo N dal bordo sezione per $M=M_{fess}$	$u$ ( $M_{fess}$ )	129.08	cm	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y$ ( $M_{fess}$ )	18.10	cm	
Compressione massima nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cf}$	4.94	N/mm <sup>2</sup>	
Trazione nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sf}$	140.58	N/mm <sup>2</sup>	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.40</b>	-	
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	13.97	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.09	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	30.79	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	1396.78	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0220	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.0003	-	
Copriferro netto	$c'$	5.00	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barre di armatura	$\phi_{eq}$	28.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	385.95	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	227.03	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.08	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.13</b>	mm	

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>					
	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A	FOGLIO 53 di 88

### 10.1.2 Verifica armatura orizzontale - M11

**Sezione: 60 x 100 cm**

Armatura a flessione:

- Orizzontale (Pied-Orizzontale)

Armatura tesa

φ 20/20 cm

Armatura compressa

φ 20/20 cm

- Zone d'angolo (Pied-Angolo)

Armatura tesa

φ 20/20 cm

Armatura compressa

φ 20/20 cm





**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	56 di 88

- Verifica a fessurazione (Pied-Angolo)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>189.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>0.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>142.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>0.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tamm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm	
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b> $C_{s1} = \blacktriangleleft$ <b>7.2</b> cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $C_{s2} = \blacktriangleleft$ <b>8.3</b> cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b> $C_{t1} = \blacktriangleright$ <b>7.2</b> cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $C_{t2} = \blacktriangleright$ <b>8.3</b> cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	12.75	cm	
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6439.82	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2044968.83	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	454280.92	cm <sup>4</sup>	

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>5.30</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>249.93</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	12.75	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6439.82	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2044968.83	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	454280.92	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tamm}$ )	$M_{fess}$	196.67	kNm	La sezione non è fessurata
---	------------	--------	-----	----------------------------

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	57 di 88

- Verifica a fessurazione (Pied-Orizzontale)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>78.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>0.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>47.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>0.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tamm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b>	$C_{s1} = \mathbf{7.2}$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{s2} = \mathbf{8.3}$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b>	$C_{t1} = \mathbf{7.2}$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{t2} = \mathbf{8.3}$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	12.75	cm	
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6439.82	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2044968.83	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	454280.92	cm <sup>4</sup>	

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>2.19</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>103.15</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	12.75	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6439.82	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2044968.83	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	454280.92	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tamm}$ )	$M_{fess}$	196.67	kNm	La sezione non è fessurata
---	------------	--------	-----	----------------------------

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

## 10.2 Verifica soletta superiore

### 10.2.1 Verifica direzione Y – M22

**Sezione: 60 x 100 cm**

Armatura a flessione:

- Appoggio (Solsup-App)

Armatura tesa

φ 28/20 cm

Armatura compressa

φ 28/20 cm

- Campata (Solsup-Camp)

Armatura tesa

φ 28/20 cm

Armatura compressa

φ 28/20 cm

Armatura a taglio:

Spille φ 12/20x40 cm.





	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se  $V_{Ed} < V_{Rd1}$  la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se  $V_{Ed} < V_{Rd2}$  la verifica è soddisfatta.

**Calcestruzzo**

Tipo	C32/40	
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$\alpha_{cc}$	0.85	
$f_{cd}$	18.8	N/mm <sup>2</sup>

**Acciaio**

$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>

**Sollecitazioni**

$V_{Ed}$	kN	<b>218</b>
$N_{Ed}$	kN	<b>0</b>

**Soletta sup**

**Armatura a taglio**

Diametro	mm	12
Numero barre		2.5
$A_{sw}$	cm <sup>2</sup>	2.83
Passo s	cm	20
Angolo $\alpha$	°	90

**Armatura longitudinale**

$n_1$		5
$\varnothing_1$	mm	28
$n_2$		
$\varnothing_2$	mm	
Asl	cm <sup>2</sup>	30.79

**Sezione**

$b_w$	cm	100
H	cm	60
c	cm	7.6
d	cm	52.4
k	N/mm <sup>2</sup>	1.62
$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>	0.41
$\rho$		0.0059
$\sigma_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>	0.00
$\alpha_c$		1.00

**Resistenza senza armatura a taglio**

$V_{Rd}$	kN	<b>274</b>
----------	----	------------

**Resistenza con armatura a taglio**

Inclinazione puntone $\theta$	°	<b>21.8</b>
$V_{RSd}$	kN	652
$V_{RCd}$	kN	1530
$V_{Rd}$	kN	<b>652</b>

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	63 di 88

- Verifica a fessurazione appoggio (Solsup-App)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>50.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>0.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>20.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>0.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tamm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	30.79	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>28</b>	$C_{S1} = 7.6$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{S2} = 9.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	30.79	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>28</b>	$C_{I1} = 7.6$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{I2} = 9.0$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	16.05	cm	
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6862.05	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2263439.71	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	780997.40	cm <sup>4</sup>	

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>1.03</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>34.91</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	16.05	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6862.05	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2263439.71	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	780997.40	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tamm}$ )	$M_{fess}$	217.69	kNm	La sezione non è fessurata
---	------------	--------	-----	----------------------------

• Verifica a fessurazione campata (Solsup-Camp)

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tamm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	30.79	cm <sup>2</sup>	5 Ø 28	$c_{s1} = 7.6$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$c_{s2} = 9.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	30.79	cm <sup>2</sup>	5 Ø 28	$c_{t1} = 7.6$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$c_{t2} = 9.0$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sfrozo normale	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	16.05	cm		
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6862.05	cm <sup>2</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2263439.71	cm <sup>4</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	780997.40	cm <sup>4</sup>		

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>6.66</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>226.19</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sfrozo normale	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	16.05	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6862.05	cm <sup>2</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2263439.71	cm <sup>4</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	780997.40	cm <sup>4</sup>		

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tamm}$ )	$M_{fess}$	217.69	kNm	La sezione è fessurata
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e ( $M_{fess}$ )	∞	cm	
Distanza sforzo N dal bordo sezione per $M=M_{fess}$	u ( $M_{fess}$ )	∞	cm	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y ( $M_{fess}$ )	16.05	cm	
Compressione massima nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cf}$	4.47	N/mm <sup>2</sup>	
Trazione nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sf}$	151.97	N/mm <sup>2</sup>	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.40</b>	-	
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	14.65	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.09	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	30.79	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	1464.94	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0210	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.0004	-	
Copriferro netto	$c'$	5.00	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr edi armatura	$\phi_{eq}$	28.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	396.49	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	233.23	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.09	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.15</b>	mm	

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>					
	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A	FOGLIO 65 di 88

### 10.2.2 Verifica direzione X – M11

**Sezione: 60 x 100 cm**

Armatura a flessione:

- Appoggio (Solsup-App)

Armatura tesa

φ 20/20 cm

Armatura compressa

φ 20/20 cm

- Campata (Solsup-Camp)

Armatura tesa

φ 20/20 cm

Armatura compressa

φ 20/20 cm

Armatura a taglio:

Spille φ 12/20x40 cm.





**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	68 di 88

- Verifica a fessurazione appoggio (Solsup-App)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>177.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>0.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>128.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>0.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tamm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b>	$C_{S1} = 7.3$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{S2} = 8.7$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b>	$C_{I1} = 7.3$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{I2} = 8.7$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	12.75	cm	
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6439.82	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2042824.69	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	452136.78	cm <sup>4</sup>	

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>4.99</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>234.59</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	12.75	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6439.82	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2042824.69	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	452136.78	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tamm}$ )	$M_{fess}$	196.47	kNm	La sezione non è fessurata
---	------------	--------	-----	----------------------------

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	69 di 88

- Verifica a fessurazione campata (Solsup-Camp)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>172.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>0.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>122.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>0.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tamm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$A_{S1'}$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b>	$C_{S1} = 7.3$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$A_{S2'}$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{S2} = 8.7$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$A_{S1}$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b>	$C_{I1} = 7.3$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$A_{S2}$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{I2} = 8.7$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	12.75	cm	
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6439.82	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2042824.69	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	452136.78	cm <sup>4</sup>	

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>4.85</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>227.96</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	12.75	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6439.82	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2042824.69	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	452136.78	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tamm}$ )	$M_{fess}$	196.47	kNm	La sezione non è fessurata
---	------------	--------	-----	----------------------------

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

### 10.3 Verifica soletta inferiore

#### 10.3.1 Verifica direzione Y – M22

**Sezione: 60 x 100 cm**

Armatura a flessione:

- Appoggio (Solinf-App)

Armatura tesa

φ 28/20 cm

Armatura compressa

φ 28/20 cm

- Campata (Solinf-Camp)

Armatura tesa

φ 28/20 cm

Armatura compressa

φ 28/20 cm

Armatura a taglio:

Spille φ 12/20x20 cm.





	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>					
	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A	FOGLIO 73 di 88

- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se  $V_{Ed} < V_{Rd1}$  la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se  $V_{Ed} < V_{Rd2}$  la verifica è soddisfatta.

### Calcestruzzo

Tipo	C32/40	
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$\alpha_{cc}$	0.85	
$f_{cd}$	18.8	N/mm <sup>2</sup>

### Acciaio

$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>

### Sollecitazioni

$V_{Ed}$	kN	<b>697</b>
$N_{Ed}$	kN	<b>0</b>

### Soletta inf

### Armatura a taglio

Diametro	mm	12
Numero barre		5
$A_{sw}$	cm <sup>2</sup>	5.65
Passo s	cm	20
Angolo $\alpha$	°	90

### Armatura longitudinale

$n_1$		5
$\varnothing_1$	mm	28
$n_2$		
$\varnothing_2$	mm	
$A_{sl}$	cm <sup>2</sup>	30.79

### Sezione

$b_w$	cm	100
H	cm	60
c	cm	7.6
d	cm	52.4
k	N/mm <sup>2</sup>	1.62
$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>	0.41
$\rho$		0.0059
$\sigma_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>	0.00
$\alpha_c$		1.00

### Resistenza senza armatura a taglio

$V_{Rd}$	kN	<b>274</b>
----------	----	------------

### Resistenza con armatura a taglio

Inclinazione puntone $\theta$	°	<b>21.8</b>
$V_{RSd}$	kN	1305
$V_{RCd}$	kN	1530
$V_{Rd}$	kN	<b>1305</b>

- Verifica a fessurazione appoggio (Solinf-App)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>92.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>0.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>87.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>0.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tamm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm			
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm			
Armatura compressa (1° strato)	$A_{S1'}$	30.79	cm <sup>2</sup>	<b>5</b>	$\emptyset$ <b>28</b>	$C_{S1} = 7.6$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$A_{S2'}$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b>	$\emptyset$ <b>0</b>	$C_{S2} = 9.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$A_{S1}$	30.79	cm <sup>2</sup>	<b>5</b>	$\emptyset$ <b>28</b>	$C_{I1} = 7.6$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$A_{S2}$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b>	$\emptyset$ <b>0</b>	$C_{I2} = 9.0$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6	Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	16.05	cm		
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6862.05	cm <sup>2</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2263439.71	cm <sup>4</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	780997.40	cm <sup>4</sup>		

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>1.89</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>64.23</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6	Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	16.05	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6862.05	cm <sup>2</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2263439.71	cm <sup>4</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	780997.40	cm <sup>4</sup>		

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tamm}$ )	$M_{fess}$	217.69	kNm	La sezione non è fessurata
---	------------	--------	-----	----------------------------

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	76 di 88

• Verifica a fessurazione campata (Solinf-Camp)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>259.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>0.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>185.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>0.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tamm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	30.79	cm <sup>2</sup>	5 Ø 28	$C_{S1} = 7.6$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$C_{S2} = 9.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	30.79	cm <sup>2</sup>	5 Ø 28	$C_1 = 7.6$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$C_2 = 9.0$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6	Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	16.05	cm		
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6862.05	cm <sup>2</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2263439.71	cm <sup>4</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id+}$	780997.40	cm <sup>4</sup>		

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>5.32</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>180.81</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6	Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	16.05	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6862.05	cm <sup>2</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2263439.71	cm <sup>4</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id+}$	780997.40	cm <sup>4</sup>		

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tamm}$ )	$M_{fess}$	217.69	kNm	La sezione è fessurata
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
Distanza sforzo N dal bordo sezione per $M=M_{fess}$	$u$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y$ ( $M_{fess}$ )	16.05	cm	
Compressione massima nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cf}$	4.47	N/mm <sup>2</sup>	
Trazione nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sf}$	151.97	N/mm <sup>2</sup>	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.40</b>	-	
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	14.65	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.09	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	30.79	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	1464.94	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0210	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.0004	-	
Copri ferro netto	$c'$	5.00	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barre di armatura	$\phi_{eq}$	28.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	396.49	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	233.23	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.09	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.15</b>	mm	

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

### 10.3.2 Verifica direzione X – M11

**Sezione: 60 x 100 cm**

Armatura a flessione:

- Appoggio (Solinf-App)

Armatura tesa

φ 22/15 cm

Armatura compressa

φ 22/15 cm

- Campata (Solinf-Camp)

Armatura tesa

φ 22/15 cm

Armatura compressa

φ 22/15 cm

Armatura a taglio:

Spille φ 12/20x20 cm.





**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	80 di 88

• Verifica a fessurazione appoggio (Solinf-App)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>283.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>0.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>201.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>0.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tammm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{sammm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm	
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	26.61	cm <sup>2</sup>	7 Ø 22 $c_{s1} = 7.6$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $c_{s2} = 9.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	26.61	cm <sup>2</sup>	7 Ø 22 $c_{t1} = 7.6$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $c_{t2} = 9.0$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	15.31	cm	
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6745.06	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2200544.32	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id+}$	692429.87	cm <sup>4</sup>	

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>6.26</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>227.37</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{sammm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	15.31	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6745.06	cm <sup>2</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2200544.32	cm <sup>4</sup>	
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id+}$	692429.87	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $\sigma_{tammm}$ )	$M_{fess}$	211.64	kNm	La sezione è fessurata
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
Distanza sforzo N dal bordo sezione per $M=M_{fess}$	$u$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y$ ( $M_{fess}$ )	15.31	cm	
Compressione massima nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cf}$	4.68	N/mm <sup>2</sup>	
Trazione nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sf}$	170.03	N/mm <sup>2</sup>	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.40</b>	-	
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	14.90	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.09	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	26.61	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	1489.57	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0179	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.0004	-	
Copriferro netto	$c'$	5.00	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr edi armatura	$\phi_{eq}$	22.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	379.36	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	223.15	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.09	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.16</b>	mm	

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	81 di 88

- Verifica a fessurazione campata (Solinf-Camp)

**Sollecitazioni**

Momento flettente - Combinazione rara	$M_R$	<b>141.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione rara	$N_R$	<b>0.00</b>	kN
Momento flettente - Combinazione frequente	$M_F$	<b>103.00</b>	kNm
Sforzo normale - Combinazione frequente	$N_F$	<b>0.00</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>33.20</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33642.78	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di compressione calcestruzzo	$\sigma_{camm}$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione calcestruzzo	$f_{ctm}$	3.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione calcestruzzo	$f_{ctk}$	2.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile di trazione calcestruzzo	$\sigma_{tamm}$	2.89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>360.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo	$n$	<b>15.00</b>	-

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>60.00</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100.00</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	26.61	cm <sup>2</sup>	<b>7</b> Ø <b>22</b>	$C_{s1} = 7.6$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{s2} = 9.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	26.61	cm <sup>2</sup>	<b>7</b> Ø <b>22</b>	$C_{t1} = 7.6$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{t2} = 9.0$ cm

**Proprietà sezione in combinazione rara**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6	Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	15.31	cm		
Area ideale (sezione interamente reagente)	$A_{id}$	6745.06	cm <sup>2</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2200544.32	cm <sup>4</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	692429.87	cm <sup>4</sup>		

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>3.12</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>113.28</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

**Proprietà sezione in combinazione frequente**

Eccentricità dello sforzo normale	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6	Sez. parzializzata
Distanza sforzo N dal bordo sezione	$u$ (M)	$\infty$	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	15.31	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	6745.06	cm <sup>2</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	2200544.32	cm <sup>4</sup>		
Momento di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	692429.87	cm <sup>4</sup>		

**Verifica a fessurazione**

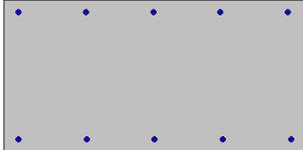
Momento di fessurazione ( $\sigma_{tamm}$ )	$M_{fess}$	211.64	kNm	La sezione non è fessurata
---	------------	--------	-----	----------------------------

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	82 di 88

### 10.4 Pilastri

Sezione: 50 x 100 cm



Armatura a flessione:

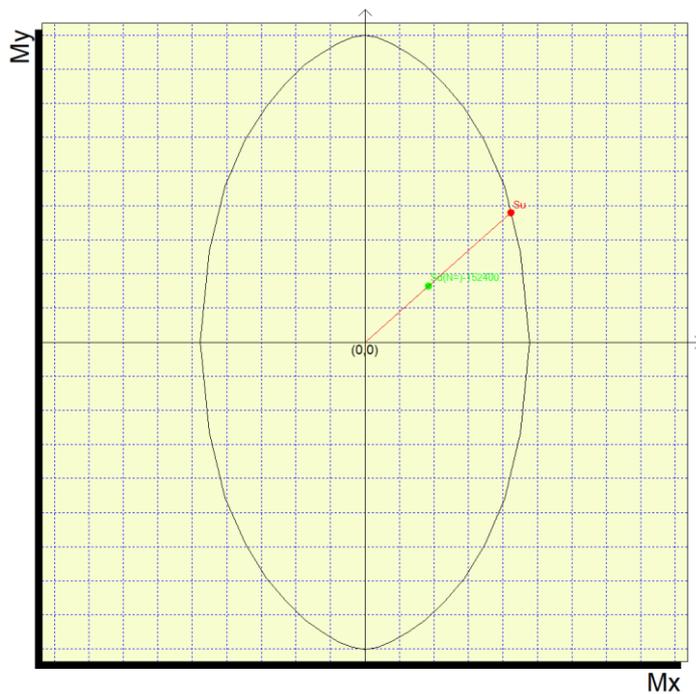
5+5 $\phi$  16

Armatura a taglio:

Staffe  $\phi$  12/20 cm

- Verifica a pressoflessione

Comb.	Mx(daN*cm)	My(daN*cm)	N(daN)	CS,Mx/My cost
1	1834000	1641700	-152400	3.027>1



Il minimo coefficiente di sicurezza è pari ad 3.026, la verifica è soddisfatta.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A

- Verifiche a fessurazione

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx	My	N	Es/Ec	Wm(mm)	Wk(mm)	Sm(mm)	Epsilon	fctd	K1	K2	Beta1	Beta2
0	967600	0	15	0	0	0	0.0000E00	14.5	0.8	0	1	0.8

A valle dei risultati ottenuti, la verifica risulta essere soddisfatta.

- Verifica a taglio

La trave è armata con staffe  $\Phi 12/20$ .

Si riportano di seguito gli esiti delle verifiche svolte:

	Mx (daN*cm)	My (daN*cm)	N (daN)	Tx (daN)	Ty (daN)	bwx (cm)	hux (cm)	bwy (cm)	huy (cm)	Asl,x [cmq]	Asl,y [cmq]
1	1834000. 0	1641700. 0	- 152400.0	6300.0	8200.0	50.	76.65	100.	46.	4.0	10.1

	Aswx [cmq/m]	Aswy [cmq/m]	Sig,cp	fck	GammaC	fywk	GammaS	Vrd,x (daN)	Vrd,y (daN)	
1	11.3	11.3	-30.5	311.3	1.5	3913.0	1.2	31419.3	40231.4	non serve armatura a taglio

La verifica è soddisfatta.

## 10.5 Verifica a punzonamento

### CASO 1

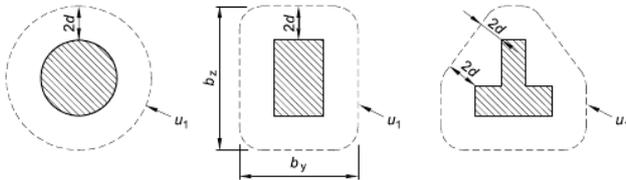


Fig. 6.13 - da UNI EN 1992-1-1:-2005

altezza utile soletta in direzione y	$d_y =$	600 mm
altezza utile soletta in direzione z	$d_z =$	600 mm
altezza utile (effettiva) soletta:	$d \equiv d_{\text{eff}} = 0,5 \cdot (d_y + d_z) =$	600 mm
distanza 2d da area perif. applic. forza:	$2d =$	1200 mm
perimetro di verifica di base:	$u_1 =$	10540 mm (CASO 1)

### PILASTRO RETTANGOLARE:

lato // eccentricità carico:  $c_1 =$  500 mm

lato  $\perp$  eccentric. carico:  $c_2 =$  1000 mm

$$u_1(\text{rettangolare}) = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 2\pi \cdot 2d = 10540 \text{ mm}$$

### CASO CONSIDERATO ?

CASO 1

relativo perimetro di verifica: 10539.82 mm  
altezza utile media: 600 mm

CASO 1

(vedere foglio "Dati geometria")

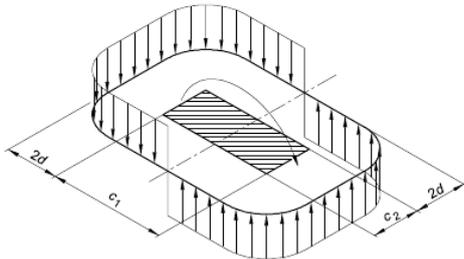


Fig. 6.19 - da UNI EN 1992-1-1:-2005

### SOLLECITAZIONI DI CALCOLO BASE PILASTRO

Taglio:  $V_{Ed} =$  1680.37 kN = 1.68E+06 N

Flettente:  $M_{Ed} =$  183.40 kNm = 1.83E+08 Nmm  
(flettente attorno all'asse d'inerzia  $\perp$  al lato  $c_1$  come da figura EC2)

### GRANDEZZE DERIVATE:

$M_{Ed}/V_{Ed} =$  109 mm

### GEOMETRIE PILASTRO

(Pilastro circolare:  $D = c_1 = c_2$ )

### geometria sezione pilastro:

$c_1 =$  500 mm (dimensione del pilastro // all'eccentricità del carico)

**Nota: verificare il verso dell'azione flettente!**

$c_2 =$  1000 mm (dimensione del pilastro  $\perp$  all'eccentricità del carico)

grandezza derivata: distanza  $2d =$  1200 mm

rapporto  $c_1/c_2$  (prosp. 6.1-EC2):  $c_1/c_2 =$  0.50 (adim.)

parametro k (prosp. 6.1-EC2):  $k =$  0.450

Pilastro circolare interno:  $D =$  500 mm

Calcolo parametro  $W_1$  per pilastro rettangolare:

$$W_1 = 10669956 \text{ mm}^2 = 10.67 \text{ m}^2$$

(scelta sezione pilastro rettangolare/quadrata).

**Relazione di calcolo vasca**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09D26	CL	VI04E0001	A	85 di 88

**DATI DI PROGETTO SCELTI**

Forza tagliante/punzonamento applicata  $V_{Ed} = 1680.37 \text{ kN} = 1.68E+06 \text{ N}$

Resistenza cls (caratteristica)  $f_{ck} = 32 \text{ MPa} \rightarrow f_{cd} = 18.13 \text{ MPa}$

Resistenza acciaio armature (caratt.)  $f_{yk} = 450 \text{ MPa} \rightarrow f_{yd} = 391 \text{ MPa}$

Altezza utile assunta:  $d = 600 \text{ mm}$

larghezze di calcolo piastre (EC2 - 6.4.4(1))

$b_{V/c1} = 4100 \text{ mm}$   
(larghezza parallela a lato  $c_1$ )

$b_{V/c2} = 4600 \text{ mm}$   
(larghezza parallela a lato  $c_2$ )

**ARMATURA PRESENTE (complessiva)**

Armatura (totale) tesa dal punzonamento dir.  $\perp c_1$ :  $A_{\perp c1} = 10264 \text{ mm}^2$

Armatura (totale) tesa dal punzonamento dir.  $\perp c_2$ :  $A_{\perp c2} = 14162 \text{ mm}^2$

Dimensioni pilastro (scelte)

$c_1 = 500 \text{ mm}$

$c_2 = 1000 \text{ mm}$

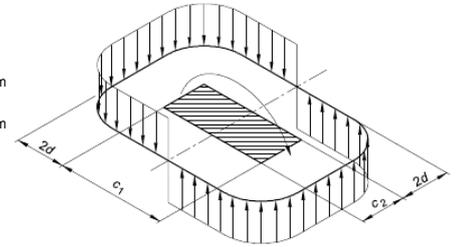


Fig. 6.19 - da UNI EN 1992-1-1:-2005

Percentuale geometrica di armatura (tesa):  $\rho_l = \sqrt{\rho_{\perp c1} \cdot \rho_{\perp c2}} = 0.004627 \leq 0,02 \rightarrow$  valore assunto,  $\rho_l = 0.004627$

Forza longitudinale (nella piastra) dir.  $\perp c_1 \rightarrow N_{\perp c1} = 0 \text{ kN} = 0.00E+00 \text{ N}$  Tensione nella piastra su  $A_{c1} \rightarrow \sigma_{\perp c1} = N_{\perp c1}/A_{c1} = 0.00 \text{ MPa}$

Forza longitudinale (nella piastra) dir.  $\perp c_2 \rightarrow N_{\perp c2} = 0 \text{ kN} = 0.00E+00 \text{ N}$  Tensione nella piastra su  $A_{c2} \rightarrow \sigma_{\perp c2} = N_{\perp c2}/A_{c2} = 0.00 \text{ MPa}$

Tensione di compressione/precompressione (media):  $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{\perp c1} + \sigma_{\perp c2}}{2} = 0.00 \text{ MPa}$

**MODULO DI CALCOLO N. 1**

**RESISTENZA A PUNZONAMENTO DI PIASTRE E FONDAZIONI DI PILASTRI PRIVE DI ARMATURE AL TAGLIO (EC2 - 6.4.4) - (1)**

valore coefficiente:  $\gamma_c = 1.5 \rightarrow C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0.12$   $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \rightarrow k = 1.577$   $k_1 = 1$   $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.39 \text{ MPa}$

$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} = 0.46 \text{ MPa}$  Limite inferiore da rispettare:  $V_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) = 0.39 \text{ MPa}$

Valore da assumere per le verifiche:  $V_{Rd,c} = \max\{[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}]; v_{min}\} = 0.46 \text{ MPa} \geq v_{Ed} = 0.28 \text{ MPa}$  Casi 1 a 3B?

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>					
	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A	FOGLIO 86 di 88

## 11. INCIDENZA SCATOLARE

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

Piedritti	<b>150 kg/mc</b>
Soletta superiore	<b>170 kg/mc</b>
Soletta inferiore	<b>210 kg/mc</b>
Pilastro 50x100	<b>90 kg/mc</b>

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> LOTTO 9 VI04E0 – VASCA DI LAMINAZIONE ACQUE VIA DEI CANIANA					
	<b>Relazione di calcolo vasca</b>					
	COMMESSA NB1R	LOTTO 09D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI04E0001	REV. A	FOGLIO 87 di 88

## 12. DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2)

### 12.1 Tipo di analisi svolte

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. L'analisi strutturale è condotta con l'analisi statica, utilizzando il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato limite indotto dai carichi statici. L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti, schematizzando la struttura in elementi lineari e nodi. Le incognite del problema sono le componenti di spostamento in corrispondenza di ogni nodo (2 spostamenti e 1 rotazioni).

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

### 12.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo

Titolo: SAP2000 Ultimate  
 Versione: 21.0.2  
 Produttore: CSI Computers and Structures, Inc.

### 12.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a valutazione che ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali.

Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.